

INSTRUÇÃO NORMATIVA MMA 2/09 - MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO DO GRAU RELEVÂNCIA DE CAVERNAS APLICADO AO LICENCIAMENTO AMBIENTAL: UMA PRÁTICA POSSÍVEL?

FEASIBILITY OF BRAZILIAN NORMATIVE ACT "MMA 2/09" FOR CLASSIFICATION OF DEGREE OF RELEVANCE OF CAVES IN THE CONTEXT OF ENVIRONMENTAL LICENSING

Myllène Berbert-Born¹

Serviço Geológico do Brasil – SGB-CPRM – Departamento de Gestão Territorial, Brasília-DF.

Contatos: mylene@df.cprm.gov.br.

Resumo

A instrução normativa MMA 2/09 estabelece o método para avaliação do grau de relevância de cavernas no âmbito dos processos de licenciamento ambiental. A relevância é determinada a partir da avaliação do nível de importância de 45 atributos biológicos, físicos e culturais associados à cavidade, examinados sob enfoque local e regional. Busca-se reconhecer nessas situações de notoriedade, singularidade, expressividade, representatividade e significância, que traduzam valores ecológicos, científicos e culturais a serem preservados ou compensados. O tratamento não sistêmico dos atributos, incertezas, subjetividade, arbitrariedade e precariedade temporal dos estudos são alguns dos problemas detectados, que prejudicam a caracterização do ambiente e distorcem os valores ajuizados. Princípios do processo de licenciamento tais como a viabilidade, exatidão e veracidade dos estudos, assim como potencialização de alternativas, delimitação precisa dos elementos sob risco e decisões seguras ficam comprometidos. Cavernas de relevância máxima não podem sofrer impactos negativos irreversíveis, enquanto as de alta, média e baixa relevância admitem impactos de qualquer magnitude, condicionados à compensação ambiental (Decreto 6640/08). Danos a cavernas de alta relevância estão condicionados a medidas que preservem outras duas similares na região do empreendimento. Essa solução será frequentemente inviável porque os atributos raros, acentadamente importantes ou fortemente influentes, que qualificam a alta relevância, dificilmente estarão replicados.

Palavras-Clave: Licenciamento ambiental; critérios de relevância; ambientes cársticos; cavernas.

Abstract

The Normative Act "MMA 2/09" establishes a tentative methodology for the evaluation of the degree of relevance of caves in the context of environmental licensing. This relevance is determined by establishing the independent importance of forty-five biological, physical and cultural attributes of the cave, evaluated with both a regional and a local focus. It attempts to identify outstanding characteristics, as well as uniqueness expressiveness and representativeness in relation to ecological, scientific and cultural values that should be preserved, or compensated for if damaged. The problems detected include the non-systemic treatment of attributes, temporal insufficiency of the studies, uncertainty in values, and arbitrarily subjective decisions, and these have led to imprecise delimitation of threatened elements and overall unreliable decisions. Moreover, the exact nature of environmental hazards and the potential loss of the natural heritage remain uncertain. In agreement with Decree 6640/08, caves of maximum relevance must not be submitted to irreversible negative impacts, whereas damage to those of high, medium or low relevance is accepted if compensated for. Moreover, damage to caves of high relevance must be compensated for by measures to preserve two other similar caves in the same region, but this solution will frequently be unfeasible because, in general, rare or especially important attributes will have no equivalents.

Keywords: Environmental licensing; Relevance criteria; Karst environment; caves.

Eixo temático: Opinião
Recebido em: 31.ago.2010

Aprovado em: 11.set.2010

1. Introdução

A Instrução Normativa MMA nº 2 de 20 de agosto de 2009 (IN 2/09, Ministério do Meio Ambiente) estabelece o método para a classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas (cavernas), aplicado ao processo de licenciamento ambiental. A norma regulamenta o artigo 2 do Decreto 99.556/90 (redação alterada pelo Decreto 6.640/08) que prevê:

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

Art. 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.

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.

O presente trabalho faz uma análise da IN 2/09 enfatizando sua abordagem ao meio físico, e algumas repercussões sobre aspectos bióticos e socioeconômicos. A análise está particularmente focada nas aplicações do método em ambientes de rochas carbonáticas (cársticos). A pretensão é avaliar sua eficácia aos objetivos do licenciamento ambiental, considerando os seguintes aspectos:

1. *a exequibilidade do método*: sua viabilidade técnica e implicações financeiras;
2. *a exatidão e veracidade dos estudos*: se o método garante a descrição e qualificação satisfatória da realidade ambiental, apartando subjetividade, omissão, parcialidade ou distorção da realidade;

3. *o risco de perdas ambientais inadmissíveis*: se a aplicação do método (classificação da relevância e impactos permitidos) contempla e potencializa alternativas viáveis, e se delimita com precisão situações que não possam ser mitigadas ou justamente compensadas;
4. *o julgamento fidedigno do órgão licenciador*: se as condições de análise e compreensão dos estudos são favoráveis à decisão.

2. Princípios e estrutura da IN 2/09, comentados

2.1. Atributos de análise

A essência da IN 2/09 está em reconhecer o nível de importância que determinados componentes ambientais – chamados *atributos* – detêm individualmente num determinado espaço formalmente delimitado. O elenco de atributos a serem analisados encontra-se listado na figura 1.

Além de componentes materiais (sedimentos, espécies animais, fósseis etc.), há atributos que procuram expressar processos e fenômenos físicos e biológicos ativos e inativos, que dizem respeito à configuração atual e evolutiva do ambiente espeleológico: os atributos “*gênese, função ecológica, especialização, modelagem, influência*” são aqui compreendidos como expressão de processos; e os atributos “*diversidade, configuração, singularidade, excepcionalidade*” entendidos como fenômenos (ou “padrões”).

Atributos que retratam o cognitivo social sobre esse ambiente ou paisagem – os chamados *atributos culturais* – também encontram variáveis para efeito de ponderação. Os atributos culturais são tratados sob dois aspectos:

- a) quanto às expressões de natureza imaterial – hábitos contemplativos, educativos, recreativos, religiosos (crenças, tradições e rituais) associados ao lugar, textualmente definidos como “reconhecimento do valor, uso e visitação”;
- b) quanto aos bens materiais de caráter arqueológico que atestam ou compõem significação cultural, artística ou histórica.

ATRIBUTO	VARIÁVEL	NÍVEL DE IMPORTÂNCIA		
		Regional	Local	Relevância
- Localidade tipo	- presente	- acentuada	acentuada	Alta
- Espécies com função ecológica importante	- presente	- acentuada	acentuada	Alta
- População residente de quirópteros (por pelo menos 1 ano)	- presente	- baixa	acentuada	Média
- Local de nidificação de aves silvestres	- uso constatado	- baixa	acentuada	Média
- Diversidade de substratos orgânicos (aquáticos / terrestres)	- alta - baixa	- baixa - baixa	acentuada significativa	Média Baixa
- Táxons novos	- presente	- acentuada	acentuada	Alta
- Riqueza de espécies (número de espécies)	- alta - média - baixa	- acentuada - baixa - baixa	acentuada acentuada significativa	Alta Média Baixa
- Abundância relativa de espécies (quantidade de indivíduos)	- alta - média - baixa	- acentuada - baixa - baixa	acentuada acentuada significativa	Alta Média Baixa
- Composição singular da fauna (grupos pouco comuns)	- presente	- acentuada	acentuada	Alta
- Troglóbios	- presente	- acentuada	acentuada	Alta
- Espécies troglomórficas	- presente	- acentuada	acentuada	Alta
- Troglóxeno obrigatório	- presente	- acentuada	acentuada	Alta
- População excepcional em tamanho	- presente	- acentuada	acentuada	Alta
- Espécies migratórias	- presente	- baixa	acentuada	Média
- Singularidade dos elementos faunísticos (enfoque local)	- presente	- baixa	<i>acentuada</i>	Média
- Singularidade dos elementos faunísticos (enfoque regional)	- presente	- significativa	significativa	Média
- Espécie rara	- presente	- acentuada	acentuada	Alta
- Projeção horizontal (em relação à média)	- alta - média - baixa	- acentuada - significativa - baixa	acentuada significativa baixa	Alta Média Baixa
- Desnível (em relação à média)	- alto - baixo	- significativa - baixa	significativa baixa	Média Baixa
- Área da projeção horizontal (em relação à média)	- alta - média - baixa	- acentuada - significativa - baixa	acentuada significativa baixa	Alta Média Baixa
- Volume (em relação à média)	- alto - médio - baixo	- acentuada - significativa - baixa	acentuada significativa baixa	Alta Média Baixa
- Estruturas espeleogenéticas	- raras com presença significativa - raras	- acentuada - significativa	acentuada significativa	Alta Média
- Estruturas geológicas de interesse científico	- presente	- baixa	acentuada	Média
- Água de percolação ou condensação	- com influência acentuada - com influência	- baixa - baixa	acentuada significativa	Média Baixa
- Lago ou drenagem subterrânea	- perene com influência acentuada - intermitente com influência acentuada - intermitente com influência significativa	- acentuada - baixa (!) - significativa	acentuada acentuada significativa	Alta Média Média
- Diversidade da sedimentação química	- muitos tipos e processos - muitos tipos ou processos - poucos tipos e processos	- acentuada - significativa - baixa	acentuada significativa significativa	Alta Média Baixa
- Configuração dos espeleotemas	- notável	- acentuada	acentuada	Alta
- Sedimentação clástica ou química	- presente com valor científico ou didático	- significativa	significativa	Média
- Registros paleontológicos (fósseis animais ou vegetais)	- presente	- baixa	acentuada	Média
- Influência sobre o sistema	- alta	- acentuada	acentuada	Alta
- Inter-relação da cavidade com alguma de relevância máxima	- presente	- acentuada	acentuada	Alta
- Reconhecimento do valor estético / cênico	- nacional ou mundial - regional - local	- acentuada - significativa - baixa	acentuada significativa acentuada	Alta Média Média
- Uso educacional, recreativo ou esportivo	- constante / periódico / sistemático - esporádico / casual	- significativa - baixa	significativa significativa	Média Baixa
- Visitação pública (interesse difuso)	- periódica / sistemática - esporádico / casual	- acentuada - baixa	acentuada significativa	Alta Baixa

Figura 1. Atributos, variáveis e respectivos níveis de importância para classificação de cavidades naturais subterrâneas nos graus de relevância alto, médio e baixo.

Enquanto a qualificação dos bens materiais requer instrumentos formais de reconhecimento, vez que são remetidos “ao juízo da autoridade competente” (art. 17), as variáveis que qualificam as expressões de natureza imaterial não seguem formalidades. Para estas está valorizado, por convenção, o uso sistemático (ou periódico) sobre o uso esporádico (ou casual), e o quão abrangente do ponto de vista territorial é a “a visitação pública” e o “reconhecimento do valor estético/cênico”.

2.2. Nível de importância dos atributos

Pelo método, o grau de relevância de uma cavidade é sustentado na importância individual dos atributos que a constituem. A importância de cada atributo é aferida como “acentuada, significativa ou baixa”, relativamente a dois cenários territoriais: (i) a importância do atributo *para* ou *no* contexto do local onde está a cavidade, em alguns casos admitindo ser estritamente no contexto da própria caverna e da sua área de influência (enfoque local), e (ii) a importância do atributo *para* ou *no* contexto de uma região mais ampla em que está situada a cavidade (enfoque regional).

A análise sob enfoque local considera a “unidade geomorfológica”, expressamente compreendida como aquela que apresente continuidade espacial e que contemple, no mínimo, a área de influência da cavidade² (§2 art. 14); a análise sob enfoque regional leva em consideração o cenário da “unidade espeleológica”, formalmente definida como “área com homogeneidade fisiográfica (...) que pode congrega diversas formas de relevo cárstico e pseudocárstico (...), delimitada por um conjunto de fatores ambientais específicos para a sua formação” (§3 art. 14).

A aceção dessas unidades territoriais de análise no âmbito da norma será examinada mais detalhadamente à frente. Mas está implícito que há sobreposição dos cenários, já que o contexto regional engloba o cenário local. Em razão disso, as análises são forçosamente vinculadas: se determinado atributo é importante num cenário abrangente, será uma distorção considerá-lo menos importante num contexto local que compõe o cenário maior. O oposto não é necessariamente verdadeiro, pois um atributo

pode ser muito importante num contexto pequeno sem representar algo significativo para um cenário mais amplo.

A análise circunstancial da importância do atributo implica bom conhecimento espacial e um controle estatisticamente significativo de todas as variáveis envolvidas na ponderação do atributo, entre as quais, o tempo. A existência de *espeleotemas únicos* (pouco comuns ou excepcionais no contexto de cada enfoque) só é creditada com o apanhado abrangente de espeleotemas de toda a região enfocada. O mesmo ocorre para todos os atributos cuja importância seja função de “singularidade, excepcionalidade, raridade, abundância relativa, dimensão relativa à média, notabilidade, destaque, frequência”.

Analogamente, o *isolamento geográfico* só estará garantido com varredura prospectiva adequada de todo o território em questão, o mesmo valendo para o *endemismo* em suas diferentes escalas, que requer o traçado de toda a geografia da distribuição dos elementos faunísticos e suas determinantes ecológicas. A noção precisa da influência que “uma cavidade” pode exercer sobre um sistema também pressupõe a compreensão global do sistema; e, a própria delimitação do cenário local de análise por definição requer o reconhecimento de toda a área de influência da cavidade, sob os aspectos físicos, bióticos e socioculturais.

Além disso, a presença ou ausência de determinado atributo – por exemplo um componente da fauna ou aspectos da sua ecologia – pode ser casual ou forte função temporal, de toda maneira requerendo suficiência do tempo de observação (Trajano, 2009).

Portanto, toda análise circunstancial demanda ampla e segura investigação espaço-temporal. A realidade é que, para muitas regiões do país o nível ou amplitude atual do conhecimento – formado sob bases técnicas sistemáticas – ainda está longe de permitir a caracterização ambiental da chamada “unidade espeleológica”. Em vista disso há um trabalho dispendioso e intenso preliminar às análises de valoração, o que motiva extrema urgência no detalhamento e implementação das ações e estratégias do Programa Nacional de Conservação do Patrimônio Espeleológico (instituído pela Portaria nº 358/2009 do MMA),

em particular relativas ao “Componente 1 – Conhecimento do Patrimônio Espeleológico”.

2.3. Variáveis para classificação do nível de importância contextual dos atributos

O nível de importância dos atributos em cada cenário territorial é definido consoante seu enquadramento em determinados “pré-requisitos” chamados *variáveis*. Essas variáveis visam simplesmente caracterizar a presença ou ausência do atributo (“presente/ausente”), ou ainda qualificá-lo, por exemplo, segundo opções do tipo “baixo / médio / alto”, “significativo / não significativo”, “muitos / poucos”, “constante / periódico / esporádico”. Alguns exemplos são comentados abaixo.

Estruturas geológicas de interesse científico ou *espécies raras* têm um grau de importância exato pelo simples fato de existirem: caso estejam presentes, as estruturas geológicas terão importância acentuada no enfoque local, mas apenas para este enfoque; ao passo que a presença de espécies raras tem importância acentuada tanto no enfoque local como também no regional. Dois aspectos sobressaem:

- (a) Esse tipo de enquadramento evidencia uma hierarquia entre os atributos. No caso, espécies raras são consideradas mais importantes do que estruturas geológicas de interesse científico porque estas últimas não teriam – no entendimento da norma – significância regional.
- (b) Uma questão importante deve ser considerada especialmente quando se trata desses atributos cujo julgamento se dá apenas pela constatação da sua presença: a plena segurança da sua ausência. Tomando-se o exemplo do atributo *registros paleontológicos* (fósseis de animais e vegetais): qual tipo de estratégia ou método de abordagem paleontológica será exigido para que se garanta a sua ausência? Algumas situações serão facilmente resolvidas, outras não. No caso dos fósseis, seria mais prudente adotar dois tipos de variáveis, uma categorizando um “potencial esgotado” (ausência segura de fósseis, salvamento concretizado ou importância *ex situ*), e outra um “potencial não esgotado” (elevada complexidade exigida para a pesquisa ou valor paleontológico *in situ*).

Logicamente, esta última mais restritiva frente possíveis impactos. Em se tratando de atributo representativo da fauna viva, que requer uma amplitude temporal adequada de observação, essa questão se tornará ainda mais crítica: a ausência de uma espécie rara poderá ser seguramente garantida a partir das observações realizadas em apenas um ciclo hidrológico? Interações ecológicas incomuns, espécies não comumente cavernícolas, entre outros, poderão ser firmemente descartados do ambiente em análise no curto período em que serão realizados os levantamentos?

O nível de importância do atributo *riqueza de espécies* por sua vez varia se a quantidade de espécies presentes for considerada alta, média ou baixa, por comparação a outras cavidades do enfoque local: se houver “alta riqueza”, isso terá importância acentuada para os dois enfoques territoriais; mas se a riqueza for considerada média, sua importância será acentuada apenas sob enfoque local. Há um fundamento nessa assunção territorial: generalizadamente, alta riqueza de espécies é uma situação pouco comum no ambiente cavernícola, de forma que se torna uma condição progressivamente mais importante na medida em que aumente a abrangência espacial.

As *estruturas espeleogenéticas* também serão consideradas mais ou menos importantes a depender de sua raridade e se ocorrem de maneira expressiva. Se além de raras forem “significativas”, retratarão atributo de importância acentuada em âmbito local e também regional; mas se não estiverem presentes de modo significativo, a sua importância deixa de ser acentuada em qualquer dos enfoques, passando ao nível de “importância significativa”. As implicações dessa convenção serão discutidas de modo particular no próximo item.

Apenas dois conjuntos de atributos – os que se referem às dimensões da cavidade e o parâmetro de abundância relativa de espécies – possuem quantificação numérica (metros, metros quadrados/cúbicos, média, desvio-padrão, quantidade de indivíduos). Porém, seu enquadramento não é absoluto (importância alta/média/baixa relativamente a um conjunto de dados). Ou seja, são os únicos atributos tratados como variável quantitativa (contínua), embora sejam classificados como variável

qualitativa (ordinal). Os atributos “quantitativos” são comentados a seguir:

No caso da *abundância relativa de espécies*, a qualidade de “alta abundância de espécies” requer a condição em que pelo menos 30% das espécies existentes na cavidade possuam efetivamente abundância alta, determinada pela comparação à abundância constatada em outras cavidades na mesma unidade geomorfológica (excepcionalmente, na mesma unidade espeleológica – §6 art. 16). Do que se depreende, se a cavidade for povoada, por exemplo, por dez diferentes espécies, a “abundância relativa das espécies” só poderá ser considerada “alta” se pelo menos três dessas espécies apresentarem uma quantidade de indivíduos que possa ser considerada abundante tendo em vista a quantidade de indivíduos dessas mesmas espécies em outras cavidades próximas.

Esse critério pressupõe certo nível de homogeneidade na composição faunística do conjunto observado. Em vista disso, pode não ser aplicável em contextos pequenos (enfoque local) que apresentem diversidade microambiental (compartimentos ou domínios ambientais). Como hipótese, é possível que uma “serra calcária” compartimentada em domínio úmido (base do maciço), domínio seco semiconfinado e domínio aberto (respectivamente zonas em contato restrito com o ambiente externo e zonas altas expostas), apresente cavidades com ocupações faunísticas distintas. O critério de ponderação exige alguma superposição das composições faunísticas do conjunto, e a despeito do valor de diversidade ambiental e da alta abundância que possa estar realmente expressa em alguns componentes da biota, seu valor estará reduzido quanto a esse quesito. Lembrando que o art. 16 (§9) requer que a quantificação biológica seja estabelecida a partir de “métodos consagrados cientificamente”.

As *dimensões da cavidade* em termos de projeção horizontal³, área, volume e desnível por sua vez podem ser consideradas “altas, médias ou baixas”, no sentido de “grande, média, pequena”, sempre em função das grandezas médias delineadas no conjunto das ocorrências da unidade espeleológica (tratado como “amostra” estatística). O critério de classificação é balizado por uma medida da

dispersão ou variabilidade dos valores de “tamanho” observados no conjunto em análise – o desvio padrão –, sobrevivendo três categorias dimensionais: (i) tamanho maior que a média e acima do desvio padrão da amostra (variável *alta*); (ii) tamanho mais próximo à média no intervalo de um desvio padrão (variável *média*); e (iii) tamanho menor que a média com valor abaixo do desvio padrão da amostra (variável *baixa*). Implicações práticas dessa matemática também serão discutidas à frente, de modo destacado.

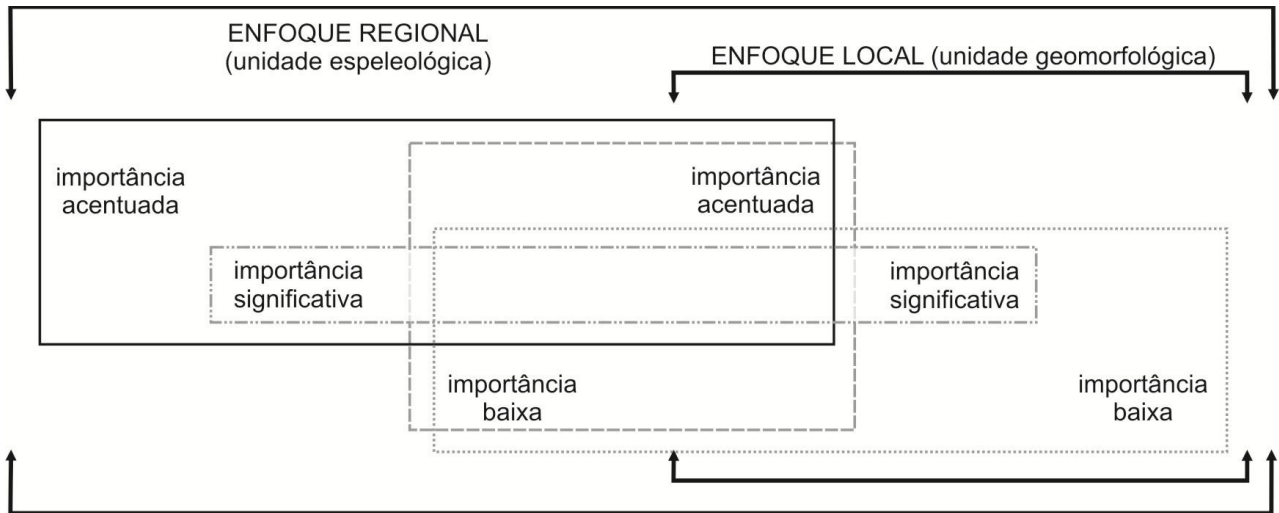
A figura 1 apresenta as variáveis relativas a cada atributo, cujo enquadramento define o nível de importância do atributo para o enfoque regional e para o enfoque local.

2.4. Classificação da relevância da caverna: combinando a importância dos atributos em dois contextos territoriais

A relevância da caverna é por fim estipulada como “alta, média e baixa” aplicando-se regras que combinam o nível de importância dos atributos para cada uma dos cenários de análise, tal como demonstrado na figura 2.

A observação (nota) contida nessa figura trata de combinações não previstas na análise, precisamente combinações em que os atributos admitem nível de importância local menor do que o nível de importância regional. Essas situações são ilógicas, tendo em vista que a unidade geomorfológica é um segmento da unidade espeleológica, conforme já expresso anteriormente (um atributo que seja importante para a região como um todo não pode ser menos importante para a parte que constitui a própria região).

Com o propósito de sanar essas situações, o artigo 13 da IN 2/09 determina que a importância dos atributos seja definida primeiramente no enfoque regional, ou seja, no contexto da unidade espeleológica. O nível de importância definido nessa primeira análise é determinante para a etapa seguinte, uma vez que este será considerado o nível mínimo de importância dos atributos no enfoque local (contexto da unidade geomorfológica). O procedimento segue a “chave de classificação” apresentada na figura 3.



Grau de relevância	Nível de importância
RELEVÂNCIA ALTA	acentuada regional e acentuada local significativa regional e acentuada regional
RELEVÂNCIA MÉDIA	baixa regional e acentuada local
RELEVÂNCIA MÉDIA	significativa regional e significativa local
RELEVÂNCIA BAIXA	baixa regional e significativa local baixa regional e baixa local

Nota:
Algumas combinações não estão contempladas:

- (a) significativa local e acentuada regional
- (b) baixa local e acentuada regional
- (c) baixa local e significativa regional

Para esses casos, o artigo 13 (parágrafo único) da IN 2/09 faz equiparar a importância local do atributo à sua importância regional. Assim:

- (a) e (b) acentuada local e regional = RELEVÂNCIA ALTA
- (c) significativa local e regional = RELEVÂNCIA MÉDIA

Figura 2. Grau de Relevância resultante das combinações entre o nível de importância de atributos nos enfoques regional e local.

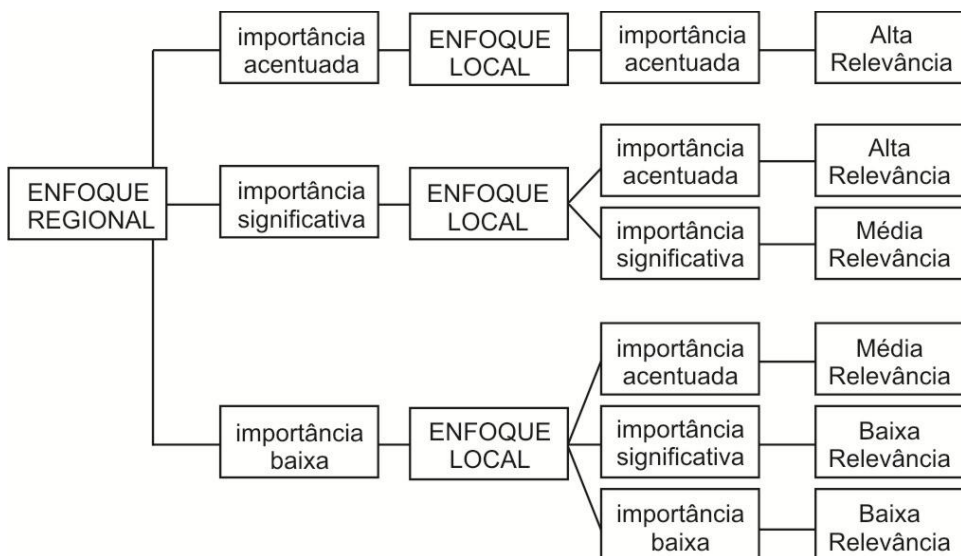


Figura 3. Chave de classificação do grau de relevância, segundo método estabelecido pela IN 2/09 MMA.

Além das classes de relevância alta, média e baixa, também está prevista a categoria de grau “relevância máxima”, a qual tem pressupostos especiais no licenciamento ambiental: uma caverna com esse status e a sua área de influência não podem ser objeto de impactos negativos irreversíveis (art. 3 do Decreto 99.556/90 alterado); portanto sua existência frente a determinadas intervenções pode determinar a inviabilidade ambiental do empreendimento pretendido.

A relevância máxima é alcançada quando exista pelo menos um dos atributos de especial interesse destacados na figura 4, considerados essenciais ou notáveis pela raridade, especificidade, representatividade ou por sua importância ambiental, científica ou cultural. Pelos termos normativos, o destaque do atributo é examinado frente ao universo do entorno da cavidade, seja a escala local ou regional (art. 2 IN 2/09).

Interessante que a chave de classificação (figura 3) seja entendida como uma aplicação global do método, ilustrando o nível geral de importância do conjunto de atributos presentes, e não mero enquadramento de um ou outro atributo. Cada atributo revela em si um grau “parcial” de relevância da cavidade, embora a classificação final possa ser prontamente definida a partir de um único atributo cujos níveis de importância regional e local alcancem a combinação de melhor qualificação (maior relevância).

Atributos considerados especialmente relevantes

- Gênese única ou rara
- Morfologia única
- Dimensões notáveis em extensão, área ou volume
- Espeleotemas únicos
- Isolamento geográfico
- Abrigo essencial para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais.
- Habitat para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de troglóbios endêmicos ou relictos
- Habitat de troglóbio raro
- Interações ecológicas únicas
- Cavidade testemunho
- Destacada relevância histórico-cultural religiosa

Figura 4. Elenco dos atributos que conferem grau de relevância máximo.

O que se quer enfatizar é que existe uma diferença substancial no valor ambiental de uma cavidade que apresente um grande elenco de atributos que lhe atribuem alta e média relevância comparativamente a uma cavidade que tenha um único atributo determinante de alta relevância entre outros de baixa relevância, apesar da classificação final ser a mesma para ambas: “alta relevância”.

Os estudos ambientais devem caracterizar o ambiente, buscando entender o seu comportamento frente a possíveis intervenções. Mesmo sendo o óbvio, pois estaria prejudicado o artigo 16 da IN 2/09, vale registrar que os esforços não podem ser descontinuados quando constatado determinado atributo que já imponha algum condicionante ao licenciamento, sob o argumento da economicidade. A classificação isolada em um único atributo de maior valor não é parâmetro suficiente à decisão no âmbito do processo de licenciamento, porque todos os possíveis valores perdidos devem ser justamente compensados (princípio da “recuperação e indenização” dos danos causados ao meio ambiente impostas ao poluidor e ao predador – art. 4, VII da Lei 6.938/81).

3. Defeitos de ordem lógica e vícios conceituais da IN 2/09

Como visto, o procedimento metodológico da IN 2/09 está fundamentado no julgamento do nível de importância de atributos, sendo essa importância teoricamente definida conforme a notoriedade, singularidade, fragilidade ou significância dos atributos para dois contextos territoriais, um mais abrangente e outro mais restrito espacialmente. A seguir serão discutidos aspectos que prejudicam, conduzem a erro, e até mesmo inviabilizam esse julgamento.

3.1. Análise contextualizada por convenções controversas

3.1.1. Fundamentos da contextualização territorial e os seus desvios

A análise contextual do nível de importância dos atributos – essência da IN 2/09 – se desenvolve sob dois fundamentos aplicados simultaneamente:

(a) fundamento “discriminante”, que trata de “posicionar” um elemento dentro de um conjunto que tenha características comuns e incomuns plenamente conhecidas. Por esse princípio, a importância do atributo alcança destaque por sua raridade, expressão ou grandeza, enfim, motivada por uma condição especial ou de evidência no conjunto analisado. Embora não seja uma situação explorada na IN 2/09, o “valor de (do) conjunto” torna-se factível na medida em que conjuntos sejam avaliados em contextos espaciais progressivamente maiores.

(b) fundamento “hierárquico”, pelo qual os atributos são organizados em “blocos de importância” escalonados por convenções que devem estar sustentadas em conceitos científicos e culturais consagrados. No caso da IN 2/09, os atributos que qualificam relevância máxima à cavidade estão no topo hierárquico simplesmente porque são reconhecidos como essenciais do ponto de vista ambiental, cultural ou científico, ou porque são particularmente notáveis em relação aos demais elementos (atributos) de avaliação. Abaixo desse bloco há outros cinco níveis hierárquicos essencialmente atrelados à noção de *representatividade espacial*: dois conjuntos de atributos concebidos como mais importantes por sua importância em escala regional; e outros três conjuntos abaixo destes, reunindo os atributos de baixa importância regional. Esses seis níveis de importância dos atributos constituem as quatro classes de relevância que classificam as cavidades – baixa, média, alta e máxima – conforme ilustrado na figura 5.

A dificuldade envolvendo o “fundamento discriminante”, já destacada anteriormente, está na premissa de que o conjunto tratado seja suficientemente conhecido. No que se refere ao “fundamento hierárquico”, as convenções buscam reconhecer a *função* do atributo ou a sua *significância* para o contexto territorial, como se requer. Mas na realidade isso não se efetiva para a maior parte das situações tratadas, com prejuízo ao propósito conceitual da IN, conforme a discussão que segue.

Ser uma *localidade tipo* é atributo de importância acentuada para qualquer recorte territorial, em razão do valor científico implícito,

não contextual. É uma convenção que atende a sua função científica. *Trogloxenos obrigatórios* também têm importância sempre acentuada, seja em âmbito local ou regional; nesse caso, mesmo que se trate de espécie regionalmente ou localmente comum (também ocorra em outras cavidades), portanto fugindo às circunstâncias específicas do contexto territorial tratado. Aqui, está em questão a importância que a caverna pode ter para esses organismos, que dela dependem; e ao mesmo tempo, o importante papel que esses organismos podem desempenhar para a organização trófica, tendo em vista o aporte de nutrientes associado à sua dinâmica de entrada e saída do ambiente. De modo similar, *populações de grupos faunísticos normalmente incomuns em cavernas* são sempre consideradas atributo de importância acentuada, ainda que tais populações venham a ser frequentes no universo específico de cavernas da região em análise. Os atributos citados têm o tratamento de “importância intrínseca” e a sua importância contextual é meramente convencional.

Também é mera convenção que os atributos físicos (i) *estruturas geológicas de interesse científico* (estruturas na “rocha matriz”) e (ii) *registros paleontológicos* sejam ponderados apenas em escala *local* (o artigo 12 lhes imputa baixa importância regional). Esses dois atributos então detêm importância acentuada somente em nível local, mesmo que se trate, por exemplo, (i) de uma estrutura geológica determinante para a organização hidrogeológica e espeleológica regional (tem uma “função” regional), ou (ii) de um elemento de importância taxonômica (e/ou paleoecológica) em âmbito nacional (tem um “significado” regional).

Sedimentação clástica ou química com valor científico ou didático por sua vez alcança importância apenas significativa na análise regional, como também na local. Em termos práticos essa convenção desdenha sua real valia e compromete a sua avaliação porque:

- a sedimentação clástica e química no ambiente subterrâneo é um processo geológico regionalmente singular, se comparado aos processos sedimentares que ocorrem em outros domínios geoambientais, notadamente quanto à precipitação química secundária (“supergênica”);

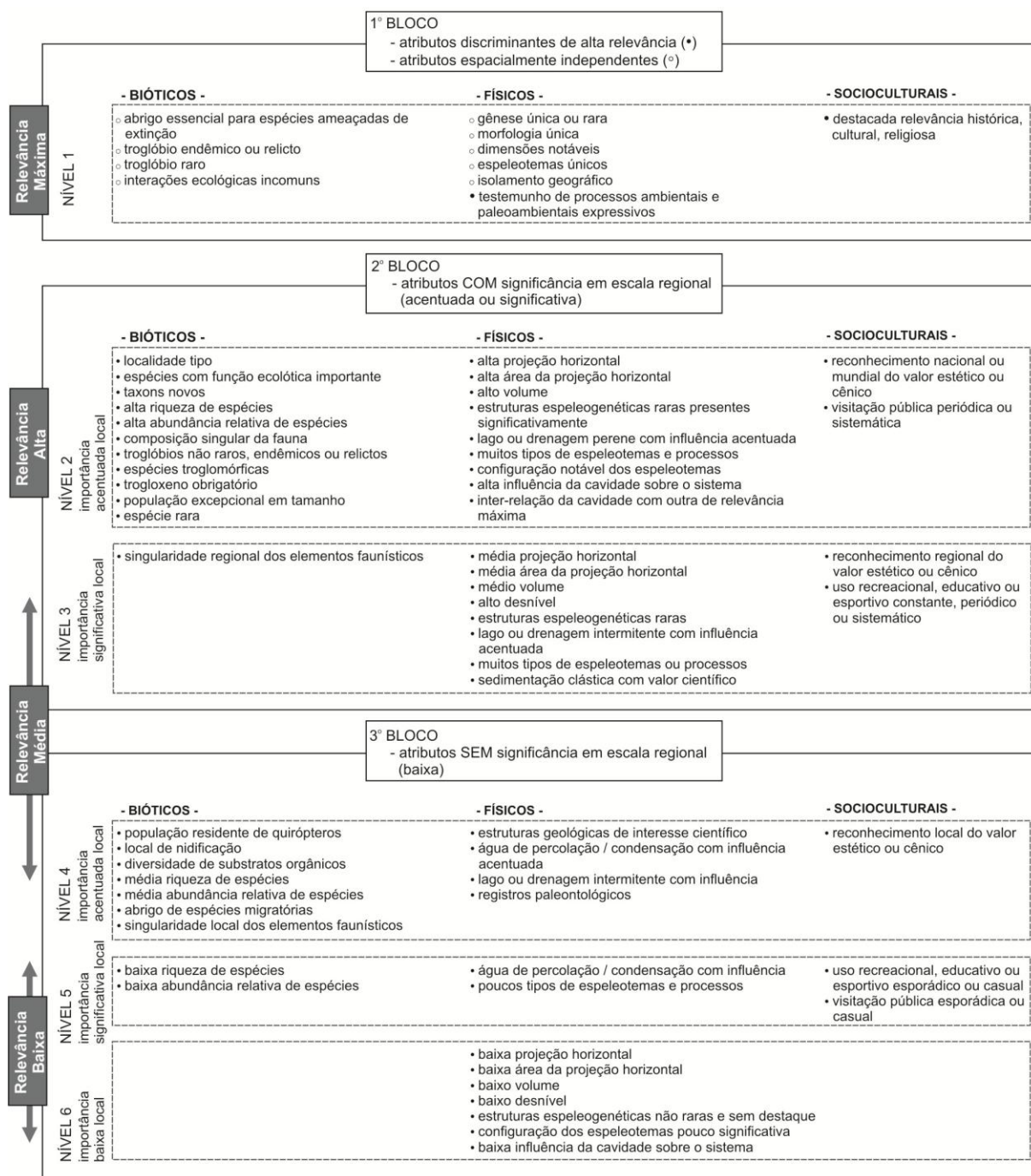


Figura 5. Organização dos atributos de análise em blocos de importância contextual.

– os minerais neoformados (carbonatos) guardam sinais geoquímicos, orgânicos e isotópicos da água a partir da qual foram precipitados, estando estes sinais vinculados às condições climáticas vigentes – variações de temperatura, períodos mais secos ou mais úmidos relacionados a dinâmicas climáticas globais ou locais – fatores que determinam a cobertura vegetal e estrutura do solo, taxas de produtividade orgânica, evaporação, tempo de residência da água. O grande diferencial está na forma

como esses depósitos se organizam, com estratigrafia e microestratigrafia que permitem visualizar os padrões de atividade da água com uma altíssima resolução temporal (décadas, anos, e até mesmo flutuações sazonais), tendo a especial vantagem da amarração cronológica absoluta, em razão do decaimento radioativo do urânio que fica “preso” de maneira seletiva junto aos carbonatos recristalizados (método U/Th). Ver aplicações climáticas e paleoclimáticas de

alguns trabalhos desenvolvidos no Brasil, e referências associadas, em Auler & Smart (2001), Sondag et al. (2003), Cruz Jr. et al. (2006a,b), Wang et al. (2006), Cruz Jr. et al. (2007).

- os depósitos clásticos, peculiarmente distribuídos e conservados em condição privilegiada, também registram amplo espectro de situações ambientais e/ou paleoambientais, que precisa ser rotineiramente analisado no âmbito de “mosaico de ocorrências”; ou seja, é no conjunto (de cavidades) que muitas vezes reside o valor e entendimento dos depósitos sedimentares. Ver exemplo de abordagem regional em Auler et al. (2009).

Essa condição territorial não encontra reconhecimento e amparo na IN, pelo reduzido nível de importância que foi convencionado ao material e à sua função. Além disso, é muito subjetivo definir a “dimensão do valor científico ou didático” que possa ser diferenciado daquilo que define as *cavidades testemunhos* (testemunhos de processos ambientais ou paleoambientais “expressivos”), estas últimas consideradas de relevância máxima.

Uma questão curiosa que vale destacar é a dissociação da análise dos registros *paleontológicos* da análise da sedimentação clástica e química correspondente. Um jazigo fóssilífero não é tratado propriamente como um atributo, pois é examinado de maneira “compartimentada”: o jazigo terá importância acentuada em âmbito local – e baixa importância regional – em decorrência exclusiva dos seus fósseis; por outro lado, em nível regional alcançará apenas importância significativa, não pelos fósseis, mas em razão dos sedimentos hospedeiros; ainda que o significado científico seja único ao jazigo como um todo! Essa “ambiguidade” retrata alguma falha da estrutura filosófica do método, a saber, a valoração individual de elementos que mantêm relação causal entre si.

É evidentemente impróprio qualificar a importância de um sedimento fóssilífero diferentemente da importância do próprio conteúdo fóssilífero, já que a importância deste último não se restringe à significância taxonômica do fóssil. Outras questões inerentes à importância dos fósseis – o contexto ambiental e ecológico quando vivos, indicadores de biocenose⁴, os parâmetros

determinantes ao transporte, deposição e transformações pós-morte, amarras temporais, enfim aspectos paleoecológicos e paleoambientais – em geral não estão guardados nos fósseis em si, mas nos sedimentos em que estão abrigados.

Além disso, os fósseis podem eventualmente descrever padrões regionais de ocupação biológica, em especial os fósseis vegetais, enquanto seus sedimentos hospedeiros demonstram um processo deposicional estritamente local, por exemplo, um depósito de tálus. De forma que convencionar a importância dos fósseis a uma escala local, e os *sedimentos clásticos e químicos de interesse/importância científica ou didática* a uma escala regional é um juízo questionável.

Alguns outros exemplos em que as convenções são irreais quanto ao significado ou importância territorial do atributo seguem abaixo.

Estruturas espeleogenéticas (morfortipos da dissolução) são atributos de valor somente se forem “raras” em âmbito regional. Mas o critério de aferição vai além da sua raridade: se ocorrerem de modo “significativo” (estruturas raras e significativas) detêm importância acentuada em âmbito regional e local (= cavidade de alta relevância); se não forem “significativamente” presentes, embora permaneçam com o status de raras em âmbito regional, as estruturas passam ao nível de importância significativa (= cavidade de relevância média).

A importância das *estruturas espeleogenéticas* sob cada enfoque é mera convenção que nem sempre retrata o processo genético propriamente dito, quanto ao seu significado, expressão, amplitude, temporalidade e vínculo com os demais componentes do sistema ambiental em análise. Para estruturas que indiquem, por exemplo, ocorrência de fenômeno paragenético, fica claro que o elemento de avaliação de importância (atributo de relevância) são as estruturas e não o fenômeno paragenético em si. Pois, caso sejam estruturas indicativas de uma paragénese bem restrita ou local, tal como paragénese remontante a um ponto de barramento sazonal em um conduto subterrâneo, desde que sejam expressivas (significativas) em tamanho ou abundância, ganham importância acentuada para todo o

contexto regional; por outro lado, se algumas estruturas paragenéticas mais sutis (não expressivas) forem encontradas ocasionalmente, seu nível de importância é considerado menor que o caso anterior, mesmo que sejam evidências de um fenômeno ou evento paragenético de escala ou abrangência regional.

Além disso, pode-se considerar que *estruturas genéticas raras* são elementos de uma *gênese única ou rara*, senão, uma *morfologia única*, os quais por sua vez perfazem o elenco de atributos que dão à cavidade grau de relevância máxima. É temeroso que diferenças tão sutis e questionáveis sejam critérios que irão distinguir três classes de valores – máxima, alta e média relevância.

Também é reservada uma especial menção ao atributo *diversidade da sedimentação química*, cujo grau de importância é função da diversidade de minerais precipitados a partir das soluções que chegam à cavidade, e também da diversidade de processos determinantes à precipitação química secundária.

Pelo método, situações em que há “muitos tipos de espeleotemas e (também) processos deposicionais” representados são consideradas de importância acentuada para os contextos regional e local; mas, quando há “muitos tipos de espeleotemas ou (então) processos deposicionais”, a situação já não confere status de importância acentuada, caindo para importância de grau significativo em âmbito regional e local. Estas também são convenções que nem sempre encontram justificativas em termos de expressão dos processos envolvidos na conformação do atributo.

O critério que trata particularmente a importância dos *espeleotemas* é o seguinte: se numa cavidade há muitos tipos de espeleotemas (diversidade) e estes, embora diversos, tenham sido formados pelo mesmo tipo de processo (por exemplo, associados a *gotejamento da água*), então se trata de um atributo de importância significativa; por outro lado, se há pouca variedade de espeleotemas, mas os poucos tipos existentes resultam de diferentes tipos de processos (*gotejamento/escorrimento, pequeno fluxo laminar, empoçamento, exsudação...*), então o atributo “*sedimentação química*” também é

qualificado como de importância significativa. Porém, se os espeleotemas apresentam diversidade tipológica resultante da ação de diferentes processos de formação, justifica-se qualificá-los como atributo de importância acentuada.

O sentido prático desse critério está originalmente na noção da complexidade da atuação da água no ambiente, já que a diversidade de espeleotemas é função da atividade e composição da água em suas mais variadas possibilidades (o que não guarda necessariamente nexos com a significância espacial). Em outras palavras, a diversidade tipológica de espeleotemas advém de diversidade genética, sendo então difícil conceber “muitos tipos de processos” (atividade da água) gerando “poucos tipos de espeleotemas”. As conclusões baseadas nos critérios colocados irão variar conforme sutilezas, conforme exemplo abaixo:

Seja a diversidade de espeleotemas resultante de processo considerado “único” (“muitos” tipos e poucos processos): estalactites, estalagmites, colunas, velas, canudos e cortinas formados pelo processo de *gotejamento da água*. O atributo tem importância local e regional significativa. Pela regra, se alguns coralóides e um ou outro travertino de menor expressão forem agregados àquele elenco, justifica-se a maior qualificação dos espeleotemas (muitos tipos de espeleotemas e pelo menos três processos de deposição). Mas na realidade ambiental, coralóides e travertinos são espeleotemas muito comuns e frequentes, e resultam de atividade hídrica que pode ser considerada discreta. Portanto, não há justificativa real para a condição de importância regional acentuada.

Ainda sobre os espeleotemas, restam também imprecisos os qualificadores “muitos” e “diversidade”, bem como tudo o que poderá ser considerado “notável” quanto à *configuração dos espeleotemas*, outro atributo que pretende aferir importância ao seu “aspecto, arranjo e abundância”.

3.1.2. Hierarquia de atributos inerente às convenções territoriais

A hierarquização dos elementos da análise, ou seja, o “escalonamento” da importância relativa *entre* atributos foi uma consequência inevitável das convenções

estipuladas para a o grau de importância ou significado territorial desses atributos. Para muitos casos, essa hierarquia não tem qualquer princípio lógico, portanto fugindo a um “fundamento hierárquico sustentado”. É entendida, então, como uma “convenção condicionada”. Seguem alguns exemplos.

Uma *estrutura espeleogenética rara* impressa na rocha é resultado de dissolução; uma *estrutura geológica de interesse científico* impressa na rocha pode ser determinante à dissolução. Embora a qualificação desses atributos conduza a cavidade a um mesmo grau de relevância (médio), a importância regional assumida para cada um deles é arbitrariamente distinta e ajuizada de maneira imprecisa, conforme discutido anteriormente.

No estrito nível dos atributos, a estrutura espeleogenética é considerada mais importante do que a estrutura geológica, porque a primeira concebe significativa importância regional enquanto a segunda compreende baixa importância regional. Uma está no “nível 3” do esquema da figura 5 (regional significativa e local significativa), e a outra no “nível 4” (regional baixa e local acentuada).

Outro exemplo é aquele que atribui valoração diferente para a água intermitente e para a água perene. Dados os valores territoriais estipulados a água perene é considerada mais importante que a água intermitente. Esse atributo será tratado com particular destaque em item subsequente.

Ainda sobre aspectos físicos, dentre os atributos que descrevem dimensão e organização no espaço rochoso, *área/extensão em projeção horizontal* e *volume* são atributos que sempre alcançam maior qualificação em detrimento da amplitude do *desenvolvimento vertical*, desse modo perdendo-se o valor da diversidade estratigráfica (e morfológica) mais comumente associada às cavernas de maior desnível.

Como exemplo de atributo biológico, *espécies com função ecológica importante* (polinizadoras, dispersoras, morcegos insetívoros) relacionadas a determinada cavidade têm importância regional (e local) acentuada e por isso tal cavidade tem alta relevância; mas, a cavidade utilizada por *espécies migratórias* ou *para nidificação* tem relevância média porque está compreendido

que este outro atributo tem importância apenas sob enfoque local. E assim, está expressamente admitido que espécies com função ecológica importante são mais importantes que espécies migratórias e outras aves da região, à margem de qualquer outro tipo de significância regional que estas últimas possam deter.

Finalmente, a importância territorial conforme os tipos de uso e interesse: a IN convencional que a *visitação pública sistemática (interesse difuso)* tem sempre importância acentuada (importância regional se a abrangência é regional, importância local se a abrangência é local), enquanto o *uso constante, periódico ou sistemático para fins educacionais, recreativos ou esportivos* alcança, no máximo, importância significativa (regional e local). A qualificação que dará peso final à relevância está então na finalidade do uso, e não na dimensão da frequência ou da sistemática do uso; o que traduz um demérito das finalidades e interesses educativos e desportivos.

Vale mencionar um erro presente nas variáveis relacionadas ao atributo *visitação pública*: a visitaçao “com Plano de Manejo aprovado ou em elaboração” não é uma variável prevista ou presente em qualquer dispositivo da IN. Pelos termos dos artigos 11 e 12, “quando a configuração de atributos sob enfoque local e regional não for considerada de importância acentuada ou significativa (quando não compreender nenhum dos incisos dos artigos 7, 8, 9 ou 10), será, por exclusão, considerada de importância baixa”. Na prática, isso significa dizer que uma cavidade importante ao ponto da visitaçao já encontrar manejo estabelecido ou em vias de se estabelecer tem baixa importância local e também regional, sendo portanto uma cavidade de baixa relevância – uma completa incoerência.

Na verdade, a variável que considera a existência de plano de manejo está necessariamente embutida na variável “visitação periódica ou sistemática”. Não se pode admitir visitaçao sistemática sem plano de manejo, pois é reconhecida como potencialmente lesiva ao patrimônio espeleológico e por isso sujeita ao licenciamento prévio, ainda que simplificado. Se a visitaçao sistemática ocorrer sem

previsão de adequado manejo, tem-se revelada uma situação irregular!

3.1.3. Restrição, especificidade, singularidade versus importância espacial – muitas incertezas

Além da lógica que arbitra a importância relativa entre os atributos, outros tratamentos merecem discussão. Pelo conceito da instrução normativa, a *singularidade dos elementos faunísticos* de uma cavidade denota “especificidade ou endemismo”, sendo tomada comparativamente aos elementos encontrados em outras cavidades, seja no contexto local ou no contexto regional. Mas, especificidade relativa a outras ocorrências e endemismo compreendem os mesmos aspectos?

Um organismo pode apresentar alguma “especificidade” em determinada área por ser incomum ou exclusividade dentre os demais parâmetros dessa área; mas, pode não ser incomum ou exclusividade no contexto de outras áreas. Então não se trata de *espécie rara* – que seria incomum em qualquer contexto – e também não se pode falar de “endemismo”, que conota isolamento e restrição. A fauna com endemismo em âmbito local e apenas local precisa ser encarada como atributo importante para o contexto local e mais importante ainda na medida em que os contextos territoriais sejam ampliados (o endemismo não tem a amplitude regional, é bastante restrita a um local ou sistema). Por outro lado, uma vez afirmado que certo organismo de uma caverna é regionalmente endêmico, não é razoável considerá-lo não endêmico em âmbito local só porque não foi encontrado nas cavidades próximas.

Vejamos ainda, no ensaio abaixo, uma possível “leitura” sobre o atributo *singularidade dos elementos faunísticos da cavidade* sob enfoques territoriais.

Seja o caso de três cavernas justapostas numa serra calcária (unidade geomorfológica), talvez (não se sabe ao certo) conectadas apenas por passagens intransponíveis ao homem; ou seja, três ocorrências distintas sob o ponto de vista legal. No caso sugerido, todas apresentam elementos bióticos idênticos, considerados singulares no âmbito da unidade espeleológica pois inexitem outras ocorrências similares na (macro) região. Mesmo assim, na análise regional este atributo

tem importância apenas significativa, como convenicionado. Entretanto, examinando cada caverna em comparação à outra, como a norma requer, pode-se dizer que não há singularidade individual sob enfoque local, pois todas as três cavernas têm os mesmos elementos faunísticos. Então pode-se concluir que o atributo tem baixa importância na escala local.

Pela combinação da importância do atributo “singularidade dos elementos da fauna” no enfoque regional e local, a relevância de todas as três cavidades em julgamento é considerada “média” (importância regional significativa, importância local baixa reorientada para significativa pela chave de classificação); pela regra, todas as três podem ser destruídas, não sendo exigível condicionante que garanta a conservação de ao menos um testemunho desse atributo, mesmo sendo reconhecidas como “únicas” em âmbito regional.

O quadro anterior pode ser o resultado de estudos específicos em um processo de licenciamento ambiental, estando duas das três cavidades hipotéticas da serra calcária na área de um único empreendimento, mas todas analisadas no âmbito de um mesmo estudo. Aqui está implícito que, para atender à contextualização regional das análises, os estudos relativos a esse licenciamento extrapolaram os limites estritos do empreendimento, avançando sobre terrenos de propriedade alheia.

Agora consideremos o licenciamento ambiental de dois empreendimentos (duas minerações contíguas, por exemplo) que abarcam essa mesma serra calcária, processos estabelecidos não sincronicamente. No suposto caso, o primeiro licenciamento prevê a perda imediata daquelas duas cavidades classificadas como de média relevância.

Concluído este licenciamento e a atividade operando, a consecução de outro processo e novos estudos sobre a área ainda não afetada motiva a revisão do grau de relevância do patrimônio restante, dada a nova realidade ambiental estabelecida. Se tiver sobrevivido, a fauna daquela cavidade remanescente (aquela dentre as três que não foi prontamente destruída) passará a ser singular no enfoque local pois já não existem as ocorrências similares, tornando-se portanto

um atributo de importância acentuada nesse contexto. Com efeito, a destruição das duas primeiras induziu maior qualificação àquela restante, que adquire nível de relevância alta no contexto do novo estudo (o atributo passou a ter importância significativa regional e acentuada local).

Cavernas de relevância alta por sua vez podem sofrer impactos desde que sejam preservadas outras duas cavidades com configurações similares (configuração dos mesmos atributos de importância acentuada). Ocorre que, para o caso aventado, cumprir essa condicionante tornou-se impossível em decorrência da própria norma. Isso demonstra que é um método “de auto-digestão”, em médio e longo prazo.

A preservação do exemplar restante dependerá de decisão mais subjetiva do órgão licenciador, pois “(já) 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” (§3 art.4 Decreto 99.556/90 alterado pelo Decreto 6.640/08). Ou fará daquela caverna uma “cavidade testemunho”, revertendo tardiamente a sua decisão inicial?

Na hipótese levantada, o atributo *singularidade dos elementos faunísticos* poderia ainda ser entendido e tratado de outra maneira, como elemento de um sistema local único (toda a serra calcária), pois a similaridade faunística resulta de fenômenos que transcendem o preceito da penetrabilidade dos espaços subterrâneos pelo homem. Aplicando-se os critérios da IN sob essa base conceitual – atributo de um fragmento conhecido do “sistema bioespeleológico”, toda a serra ascenderia ao status de relevância alta e não apenas uma ou outra cavidade.

Não havendo sistema semelhante na região, do ponto de vista da fauna singular, a serra como um todo poderia também ser compreendida como testemunho de processo ou condição ambiental, em âmbito regional, cabendo-lhe a defesa de que se trata de local de relevância máxima.

Esse exemplo mostra que, dependendo de como sucedem as formalidades processuais e o entendimento técnico, o licenciamento

ambiental pode redundar conclusões bastante diferentes para uma mesma situação ambiental. Também ilustra como a relatividade dos atributos, tal como são tratados, pode resultar distorções a respeito do real valor ambiental em julgamento.

3.1.4. A água: um atributo emblemático

A IN 2/09 avalia o atributo *água* de uma maneira muito peculiar. A *água perene* (lago ou drenagem) – apenas aquela que tenha influência acentuada sobre outros atributos que sejam (acentuadamente) importantes em âmbito regional – também é convencionalizada como de importância acentuada local e regional, ainda que corresponda a um pequeno tributário de uma rede hidrológica de expressão espacial irrisória. Pode ocorrer também que um *lago perene* seja um corpo isolado do contexto hidrológico regional, ou mesmo local, eventualmente mantido com um balanço equilibrado de influxo e defluxo vadoso pontual. Salientando, nenhuma definição é apresentada de modo a se caracterizar os tipos possíveis de “lagos subterrâneos”: o represamento em um grande travertino pode ser, afinal, considerado um lago?

Por outro lado, para a *água intermitente* só é consentida importância em nível local, e caso influencie parâmetros de importância local; ainda que essa intermitência (não necessariamente sazonalidade, dada a terminologia) seja um efeito regional e parâmetro de extrema relevância ecossistêmica.

Os exemplos acima são distorções da real significância territorial da *água*. Ao tratá-la, a norma entende que o caráter de intermitência tem significância territorial menor que o caráter de perenidade, pressupondo que a influência de um corpo hídrico intermitente só pode ser acentuada sobre outros atributos de importância estritamente local. Tal tratamento ignora outros parâmetros que condicionam um corpo aquoso e a sua funcionalidade ou finalidade, tais como:

- (i) o intercâmbio de energia com o ambiente externo ou importação de fontes energéticas que interessam especialmente a fauna: mesmo que intermitente, um corpo ou atividade hidrológica é normalmente parâmetro básico de sustento de todo um sistema biológico de importância acentuada;

- (ii) a diversidade de biótopos e a complexidade do sistema ambiental: da mesma forma, a organização do “espaço biológico”, a distribuição e mobilidade temporal das comunidades, assim como a estruturação trófica, estão vinculadas aos ciclos de aporte e consumo de recursos alimentares introduzidos sazonalmente;
- (iii) a dinâmica genética/evolutiva (física) do ambiente nas diferentes escalas espaciais e temporais, inclusive amarras climatológicas: um lago intermitente numa caverna pode ser expressão regional da variação do nível freático em razão do clima, com periodicidade curta ou de longo termo (cavidade em zona de oscilação freática).

Ocorre que, no método, o verdadeiro qualificador para o atributo *água* é ser perene ou intermitente, conforme textual nos artigos 7 a 10 da IN. Está dispensada apreciação que qualifique o seu vínculo ao contexto hidrogeológico envolvido, o qual prescreve o seu comportamento no ambiente em análise. A dinâmica de fluxo propriamente dita, amplitudes e temporalidade de cheias, seu alcance nos diferentes compartimentos da cavidade, dinâmica energética, bagagem detrítica e respostas físicoquímicas e biológicas de curto a longo prazo, bem como outros fenômenos vinculados a eventos climáticos determinantes da organização física e biológica do ambiente subterrâneo, não são levados à ponderação completa.

Isso pode ser seguramente afirmado porque, pelo método, a influência de um *rio ou lago perene* não alcança todo o elenco de atributos (incisos) que constitui os demais artigos, por exemplo, diversidade de substratos orgânicos, registros paleontológicos e sedimentação clástica e química. Assim como não está previsto que um *rio ou lago intermitente* possa ser influente sobre populações de espécies com função ecológica importante, ou sobre uma fauna de composição singular, troglóbios, espécies troglomórficas, troglótenos obrigatórios ou espécies raras, nem sobre o excepcional tamanho de uma população; não admite também que seja o agente responsável pela configuração notável de certos espeleotemas, ou que sejam os próprios agentes determinantes da diversidade de espeleotemas e processos de deposição, tampouco seja o elemento que mais vincule a cavidade ao

sistema cárstico, ou ainda o atrativo de uma visita sistemática.

A mesma reflexão se aplica à *água de percolação e de condensação*, que oferece condição de umidade ao ambiente: a norma não prevê que essa umidade seja considerada influente sobre algum aspecto de importância regional acentuada, como a fauna citada acima.

De qualquer maneira, uma abordagem mais ampla do comportamento hidrológico estaria prejudicada pela abrangência temporal pouca significativa que a IN requer, o que compromete a própria aferição da interdependência de atributos (influência sobre os atributos). E na prática, a importância dos parâmetros hídricos sequer pede avaliação, vez que está estritamente vinculada à influência que possa exercer sobre outros parâmetros cuja importância já qualifica por si determinado nível de importância.

De forma que a *água* – parâmetro mais importante da configuração e dinâmica dos ecossistemas cársticos – é “atributo morto” na IN 2/09.

Apenas para fins de registro, vale mencionar ainda que as variáveis previstas para a categorização do nível de importância de um lago ou rio constantes da Tabela II do Anexo I da IN diferenciam a situação em que um corpo hídrico intermitente seja influente sobre um sistema hidrológico ou biológico, da situação em que influencie apenas a cavidade. Essas diferentes variáveis não estão colocadas a termo nos artigos que classificam a importância local e regional dos atributos; e nem poderiam estar porque, se um corpo hídrico for influente sobre o sistema será automaticamente influente sobre a própria cavidade, não sendo, portanto, variáveis plenamente distintas.

3.2. Pressupostos da caracterização temporal dos sistemas cársticos na perspectiva hidrológica

Se por um lado a instrução normativa infere valores aos atributos rigorosamente dentro do conceito de representatividade espacial, por outro lado a carência de representatividade temporal dos atributos dinâmicos compromete muito a aferição de valores. A constatação ou a qualificação das

variáveis previstas para esses atributos dinâmicos (presença/ausência, perene/intermitente, constatação do uso por elemento da fauna, alta/média/baixa riqueza e abundância) pode ser inviável na pequena abrangência de tempo e frequência dos levantamentos requeridos aos estudos.

O artigo 15 da IN determina a coleta e análise de dados multitemporais; e o artigo 16 determina que as informações sejam “suficientes à compreensão do ecossistema cavernícola” (caput), pretendendo “minimamente revelar aspectos (biológicos) decorrentes da sazonalidade climática”. Ao mesmo tempo, esse mesmo artigo 16 admite que os aspectos sazonais sejam levantados em apenas duas amostragens estacionais abrangendo um único ciclo (hidrológico) anual (§2º). Examinado na íntegra, o artigo 16 corre grande risco de ser contraditório e inócuo, já que o mínimo exigido acaba sendo, na prática, o mínimo cumprido.

Exceto para situações ambientais mais simples, ou casos de ambientes secos muito confinados e aqueles que disponham de vasta informação prévia, a compreensão do ecossistema cavernícola não será seguramente alcançada com observações de um único ano hidrológico, pois:

- a) A temporalidade das observações está dirigida aos levantamentos biológicos sem que haja vinculação aos aspectos hidroclimatológicos locais e regionais. Via de regra, esses aspectos retratam variações significativas nos ciclos hidrológicos de pequeno, médio e longo termo (intrasazonais a interanuais) relacionadas a diferenças na intensidade, permanência e distribuição das chuvas no decorrer dos dias. Inclusive, não se poderia descartar a importância ecológica das variações hidrológicas de alta resolução temporal, ou seja, da ordem de poucas horas a alguns dias que requerem monitoramento contínuo de eventos de chuva, como será discutido e melhor exemplificado à frente;
- b) No rigor dos termos normativos, a abrangência das duas amostragens pode ser cumprida num intervalo de apenas cinco meses ou até menos, por exemplo uma amostragem em fevereiro (estação chuvosa) e outra no mês de julho subsequente (estação seca). Esse intervalo é insuficiente para a caracterização da

dinâmica ecológica – seus ritmos, padrões e extremos – pois casualmente pode revelar apenas uma condição mais extrema ou anômala do ciclo local e regional, portanto segmentada ou distorcida do padrão do sistema. De modo contrário, se não forem assinalados os eventos extremos de ciclos de maior termo, nada se saberá sobre a condição de resiliência do sistema, restando incerta a real fragilidade ecossistêmica.

- c) Sobre a periodicidade das amostragens, há outra lacuna que diz respeito ao “tempo de resposta” das variáveis ambientais frente às alterações sazonais; ou, como uma condição hidroclimática influencia ou se sobrepõe à outra. Conhecer o tempo de resposta e assim apurar a relação “situação-causa” requer acompanhar as mudanças graduais, considerando todo o ciclo de alterações até que haja reaproximação das condições originais (“iniciais”).

Não se pode perder de vista que o método de valoração das cavidades, escopo da IN 2/09, é apenas uma peça dos estudos ambientais realizados pelo empreendimento para efeito da licença ambiental. Em tese, esses estudos devem abordar análises estatísticas de dados hidroclimatológicos históricos (séries hidroclimatológicas) que permitam avaliar a variabilidade temporal (e espacial) de parâmetros como chuva e vazão de rios. Essas análises podem balizar a abrangência amostral do estudo espeleológico como um todo em função da complexidade do cenário envolvido frente ao tipo de intervenção prevista. A vinculação entre os estudos ambientais e a aplicação do método deveria, portanto, estar em destaque no enunciado deste artigo 16 em particular.

Mas amplas ressalvas devem ser consideradas a respeito de generalizações regionais, tendo em vista que as condições hidrometeorológicas, já naturalmente variáveis no tempo, poderão manifestar muitas particularidades em cada ambiente subterrâneo em exame (cavidade ou sistema) numa mesma região climática, inclusive no que diz respeito à dinâmica atmosférica e condições gerais de umidade internas ao ambiente considerado.

Os parâmetros físicoquímicos da água, volume, vazão, padrões de fluxo, abrangência espacial, permanência e flutuações temporais nos sistemas subterrâneos (ou no pequeno

“recorte” de uma cavidade acessível ao homem), são aspectos de alguma maneira vinculados às condições climáticas prevalentes; mas também dependem das características morfológicas e conteúdo dos condutos, bem como da configuração do pacote rochoso e pedológico acima e à montante do ponto em exame.

Ou seja, como a água se comporta e influencia outros parâmetros de um sistema subterrâneo em particular depende da estruturação da rocha aquífera (espessura, relações com outras litologias, composição-porosidade-textura-estruturas), bem como dos padrões de infiltração e escoamento superficial que caracterizam a recarga subterrânea. A infiltração e o escoamento (superficial e subterrâneo) por sua vez estão relacionados à geomorfologia e estrutura da bacia hidrográfica envolvida, à configuração do epicarste como zona de armazenamento e distribuição da água, bem como às características do solo e da cobertura vegetal sobrejacentes (White, 2002; Perrin et al., 2003a,b; Liu et al., 2004; Toran et al., 2006; White, 2007 e vasta literatura).

A respeito da variabilidade climatológica natural, toma-se o exemplo das chuvas na região cárstica de Sete Lagoas (MG), caracteristicamente bimodal com períodos seco e úmido muito bem delimitados. Séries históricas mostram a irregularidade da distribuição e intensidade dos eventos de chuva ao longo e entre os períodos úmidos⁵. A ampla variação de volumes anuais precipitados, retratada por um coeficiente de variação médio de 24% (Patrus, 1998), expõe a fragilidade de conclusões ecológicas que sejam baseadas em observações e amostragens muito pontuais e em tempo pouco abrangente.

A figura 6 destaca as médias mensais da precipitação nos anos 2000 a 2007 sobrepostas pelo número mensal de dias chuvosos e pela normal climatológica do período entre 1961-1990, dados da estação pluviométrica de Sete Lagoas (fonte www.inmet.gov.br). Muitas situações interessantes podem ser destacadas dos gráficos históricos apresentados, por exemplo:

- inconstância do início do período chuvoso, bem como distribuição amplamente variável ao longo dos meses chuvosos, de ano a

ano; é notável o contraste na distribuição das chuvas ocorridas no verão de 2005/2006 frente ao verão 2006/2007, por exemplo;

- os verões de 2001 e 2006 são marcados por taxas pluviométricas extremamente baixas, ambos precedidos ou sucedidos por verões de pluviosidade bem acima da normal pluviométrica; em 2006 as chuvas estiveram concentradas bem ao início e bem ao final do período úmido, com episódios intensos marcantes (padrão bimodal);

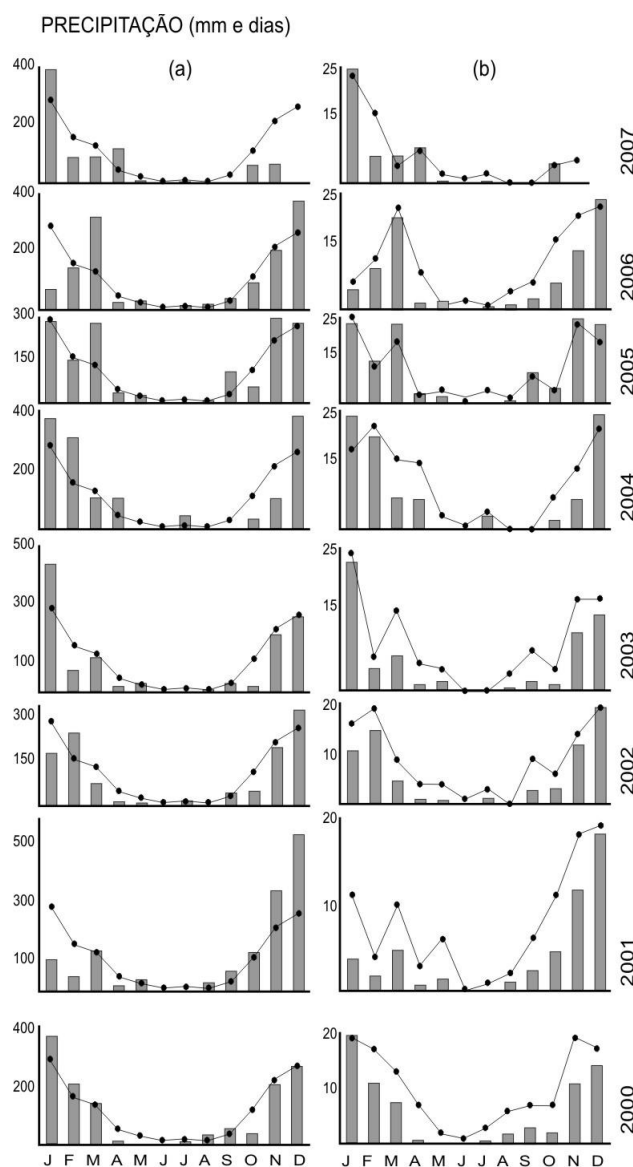


Figura 6. Gráfico das médias mensais de precipitação nos anos de 2000 a 2007 sobrepostas (a) pela normal climatológica do período 1961-1990 e (b) pelo número mensal de dias chuvosos, ano a ano. Estação pluviométrica de Sete Lagoas (MG). Fonte www.inmet.gov.br (consulta em 5/9/2010).

- taxas pluviométricas inesperadamente altas ocorreram ao final da primavera de 2001 e prosseguiram fortemente ascendentes caracterizando uma antecipação do volume de chuvas no verão 2001/2002 e um padrão hidrológico do tipo “avançado”.
- os volumes pluviométricos observados frente ao correspondente número de dias de chuva (figura 6b) falam sobre a intensidade e permanência dos episódios de chuva, evidenciando que determinado volume mensal pode decorrer tanto de chuvas pouco intensas porém bem distribuídas ao longo dos dias do mês, como também da ocorrência de temporais isolados em meio a uma situação generalizada de ausência de chuva no decorrer do mês. É o que está demonstrado no verão 2000/2001, marcado por muitos dias de chuva de menor intensidade, como se depreende dos volumes resultantes; por outro lado, em 2004 estão expressas chuvas mais intensas, dado o grande volume precipitado relativamente ao número de dias chuvosos assinalados.

A inconstância climática, notadamente da chuva, pode estar muito bem retratada em alguns compartimentos subterrâneos (domínios sensíveis às variações), não necessariamente com sincronismo aos eventos superficiais. Quando se trata de “domínio sensível” sob influência de um rio ou lago, dias de chuva amena prolongada provavelmente se manifestarão de modo diferente do que se pode esperar de eventos de chuva torrencial; não só pela amplitude que as cheias podem alcançar nos condutos e salões em função da capacidade de vazão ou descarga do sistema, como também pela maior carga detrítica normalmente introduzida ou remanejada em episódios de chuva mais energética. A composição e distribuição da fauna nesse ambiente tenderá ser distinta para cada situação aventada.

Há situações em que a resposta às variações se manifesta segundo pulsos, cíclicos ou não. Por exemplo, um compartimento pode “extravasar” somente quando atingido o limite da sua capacidade de armazenamento, periodicamente; trata-se de um efeito cumulativo. O “efeito pistão” é um comportamento frequente no epicarste: ocorre acúmulo progressivo de água na zona insaturada até um limite de armazenamento; a

precipitação de fortes chuvas pode causar sobrecarga hídrica e a água previamente estocada é injetada para o sistema aquífero subjacente (Clemens et al., 1999; Aquilina et al., 2006). Muitas vezes essas águas injetadas apresentam assinaturas geoquímicas e isotópicas não correspondentes à assinatura da chuva que está precipitando no período, demonstrando tempo prévio de armazenamento (Perrin et al., 2003b; Barbieri et al., 2005 e diversos).

Em outros casos, a variabilidade superficial é suavizada no ambiente subterrâneo e em razão de maior tempo de residência no sistema aquífero, grandes distâncias entre áreas de influxo e descarga associadas a baixa capacidade de vazão ao longo do percurso, mistura de águas de diferentes origens, ou simplesmente em resposta a uma lenta infiltração difusa em coberturas espessas com alta capacidade de estocagem.

Finalmente, há sistemas complexos com componentes que retratam todas as situações expostas.

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.

3.3. Delimitação das unidades espeleológica e geomorfológica – paradigmas territoriais

De acordo com a instrução normativa, os estudos biológicos devem necessariamente abarcar *“o sistema subterrâneo, do qual a cavidade faz parte”* (§1 art.16). Conforme o glossário (Anexo II), o sistema subterrâneo é compreendido pelo *“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”*.

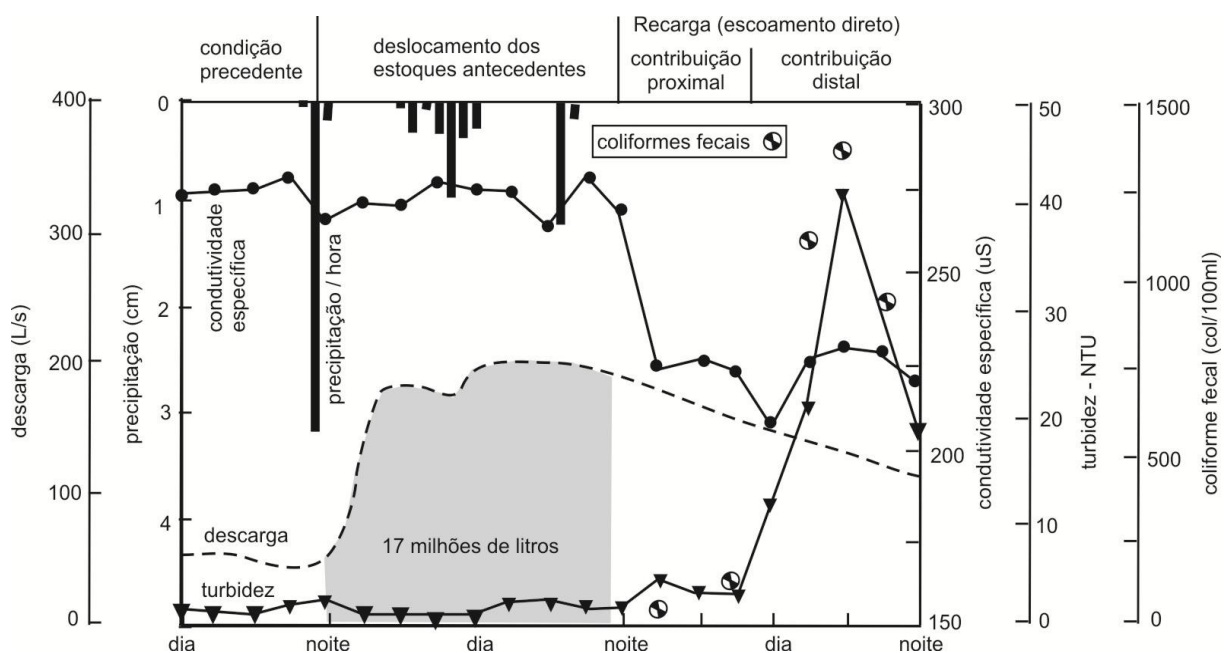


Figura 7. Hidrogramas e parâmetros químicos da nascente “Big Spring” (Kentucky, EUA) relativos a um evento de tempestade ocorrido em Setembro de 1992 (Ryan & Meiman, 1996).

A dificuldade está na impossibilidade de se fazer o “raio-x” dos espaços subsuperficiais inacessíveis que demonstre o alcance da sua conectividade. Ou seja, há grande incerteza nos limites do sistema subterrâneo definido como unidade elementar da análise biológica. Esse sistema poderá corresponder a todo um aquífero, extrapolando diversas bacias hidrográficas; em outras situações pode ser compreendido como uma subunidade geológica inteira de expressiva distribuição geográfica. Um paradigma extremo: qual a dimensão ecológica da influência que o sistema aquífero Urucuaia-Areado (granular-arenítico) pode exercer sobre o aquífero Bambuí (cárstico) subjacente, notadamente nas áreas cársticas e sistemas espeleológicos adjacentes àquelas coberturas cretácicas?

Sem perder de vista que, ao menos para os atributos biológicos, as pesquisas deverão abarcar todo o sistema subterrâneo, os estudos espeleológicos de uma maneira geral devem apresentar informações sob os enfoques local e regional, cujas delimitações estão definidas no art.14 e Anexo II da IN. A unidade elementar para as análises do enfoque local é a área de influência da cavidade, sendo eventualmente mais abrangente quando possível englobá-la em uma “*unidade geomorfológica que tenha continuidade espacial, podendo abranger feições como serras, morrotes ou sistema cárstico, o que for mais restritivo em termos de área (...)*” (§1 art.14).

As definições para sistema cárstico e área de influência da caverna encontram-se no glossário da instrução normativa:

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 lapieasados 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.

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.

As análises sob enfoque regional por sua vez devem observar os limites da unidade espeleológica, esta definida como “*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 à sua formação*” (§2,3 art.14).

De imediato sobressai a falta de clareza das terminologias adotadas, pois a unidade geomorfológica, sendo área espacialmente contínua que pode abranger todo o sistema cárstico, neste ponto se confunde com a unidade espeleológica. Um problema reside na inespecificidade de como um território – naturalmente diversificado – pode ser delimitado por um “conjunto de fatores ambientais específicos à sua formação”; outro problema talvez esteja na carência de um tratamento taxonômico formal dos elementos geomorfológicos (unidades morfoestrutural, morfoescultural, morfológica-padrões, formas-tipo, formas-vertente, formas-processos, por exemplo) e geológicos (supergrupo, grupo, formação, membro, fácies). Além dessas questões, a abordagem territorial proposta é colocada em dúvida quanto aos seus princípios, como discutido a seguir.

Tendo como base os conceitos explorados no tópico anterior (item 2.3), a definição de “sistema cárstico” presente no Anexo II da IN 2/09 nada mais é que o traçado elementar de uma bacia hidrográfica, cujo diferencial é estar – ao menos em parte – estabelecida em rochas solúveis; o sistema pode compreender áreas não cársticas se houver aporte hídrico alóctone ao compartimento carbonático propriamente dito. Ainda pela definição, a “paisagem cárstica”, com todas as suas possíveis formas superficiais e subterrâneas tais como serras, morrotes, dolinas, sumidouros, vales, maciços, lapiás e cavernas, é elemento indissociável do sistema (ou da bacia), ao tempo que naturalmente o descreve.

Seria uma concepção muito interessante adotar as sub-bacias cársticas como uma unidade de análise, e a área de influência da cavidade como outra unidade de análise, ambas complementares. Com esse sentido, o exame de cada cavidade deve iniciar pelo seu posicionamento na bacia hidrográfica, situando-a, numa perspectiva sistêmica, em determinado compartimento funcional dessa bacia. As principais variáveis ambientais que se interrelacionam com a cavidade – influenciam ou dependem dela – e o seu grau de complexidade ambiental já estariam delineados nesse momento da análise.

No entanto, uma confusão foi estabelecida quando a redação se desvia da percepção funcional da paisagem e foca elementos meramente descritivos: uma serra, morrote ou feição com continuidade espacial, o que for mais restritivo em termos de área. Esse reducionismo inclusive invalida completamente o envolvimento do “sistema cárstico” na análise, restando-lhe de concreto apenas sua definição no papel, sem qualquer efeito prático, já que a análise sempre estará recortada em um dos elementos constituintes desse sistema – aquele que for mais restritivo em termos de área. Em muitas situações a análise estará essencialmente reduzida à área de influência da caverna, que tanto pode ser ampla, como muito restrita.

Da maneira como estão postas, as contextualizações territoriais são mais uma expressão do caráter cartesiano da instrução normativa, preocupada em ponderar partes de um sistema à margem do peso e valor das suas interrelações em diferentes escalas. A IN 2/09 é um instrumento na contramão do pensamento sistêmico e processual, fugindo à matéria acolhida pelo próprio Ministério do Meio Ambiente:

"(...) Uma visão que considere apenas um aspecto é reduzida porque não leva em consideração o sistema, a organização, a heterogeneidade ou a complexidade do lugar. Não considera a dinâmica de funcionamento do espaço em que vivemos.(...) É nessa condição que usamos o termo complexidade do meio, ou seja, quando podemos constatar uma heterogeneidade de elementos estruturais e ligações funcionais de diversas ordens de intensidade dentro e entre os

subsistemas. Algumas vezes, a heterogeneidade medida pela quantidade de elementos que compõem o sistema é pequena numa dada região, mas ele apresenta um amplo espectro de respostas quando sofre um distúrbio. É por isso que precisamos observar a diferença entre sistema complexo e sistema de comportamento complexo.(...)" (do livro “Vulnerabilidade Ambiental - Desastres naturais ou fenômenos induzidos?” Publicação da SRH/MMA - Santos & Caldeyro, 2007, p. 20-21.).

Portanto, para se atribuir valor a um componente de determinado sistema ambiental, no caso, cavidades em um ambiente cárstico, é imprescindível que toda a sua cadeia relacional seja conhecida, de modo que seja possível avaliar quais parâmetros estão efetivamente associados a esse componente e o quanto esses parâmetros dependem ou influenciam o componente que está em juízo. Na perspectiva de interferências, seja possível responder às seguintes perguntas (Santos & Caldeyro, 2007):

"- Em que ponto do sistema estamos interferindo?

- Se provocarmos uma perturbação em uma dessas ligações (funcionais), qual a consequência para a cadeia?

- E se essa ligação for frágil?

- Qual a relação entre esses elos da cadeia, a persistência e a resiliência do meio que eu planejo?

- Qual o grau de desorganização que eu estou induzindo?

- É um sistema de comportamento complexo?(...)"

No sentido dessa análise, seria mais apropriado tratar o território em que está situada a cavidade na perspectiva dinâmica e organizacional de um “geossistema”, concepções de Sotchava (1977) e Bertrand (1972) – com suas respectivas subdivisões taxonômicas (zona, domínio, região, geossistema, geofácies, geótopo – Bertrand, 1972), condicionantes sociais, econômicos e técnicos (revisões em Rodrigues, 2001; Sales, 2004).

Resta saber se os Estudos de Impacto Ambiental terão a abrangência territorial/temporal, a profundidade e o dinamismo

suficientes para dar pleno suporte aos estudos espeleológicos.

3.4. O significado estatístico das variáveis de dimensão

Como já colocado, os atributos que descrevem as *dimensões* das cavidades subterrâneas (extensão, área, volume e desnível) são qualificados conforme os padrões percebidos no conjunto de cavidades que constituem o cenário da unidade espeleológica. Ou seja, as dimensões não são tratadas em função dos seus valores absolutos, mas em relatividade aos dados que descrevem a “população” (amostra) regional. Pelas regras da IN uma cavidade com 100 metros de extensão pode se destacar numa região de cavernas que tenham poucas dezenas de metros, enquanto em outra região seja apenas uma cavidade que está na média entre as demais ocorrências.

O critério para aferir se as dimensões são grandes, médias ou pequenas baseia-se estritamente em dois parâmetros descritivos do conjunto de dados: a média (aritmética) e o desvio padrão. Estes são parâmetros que delimitam, respectivamente, a tendência central do conjunto e a variabilidade ou dispersão dos dados (o quanto eles se distanciam da média). Quanto menor o desvio padrão, mais homogêneo é o conjunto tratado, e mais “representativa” é a média.

Porém, esses dois parâmetros não são capazes de descrever completamente as características do conjunto. É essencial considerar ainda a *amplitude* total dos dados e a *forma* como se dá a dispersão em relação à média (simetria e curtose). Estes últimos são especialmente determinantes para a análise de agrupamentos de cavernas quando se trata de verificar a extensão do desenvolvimento, pois tais agrupamentos em geral apresentam uma forte assimetria (positiva) dos valores, bem como valores muito extremos ao conjunto, que podem tornar a média e o desvio padrão impróprios como critérios de avaliação, como se verá nos exemplos a seguir.

São examinados cinco conjuntos de cavernas, cada qual em situação de ampla abrangência territorial e diversidade geomorfológica. Para efeito de ensaios, os conjuntos são representados pelas cavernas dos municípios de Pains (n=299) e Matozinhos

(n=217) em Minas Gerais; Mambai (n=63) em Goiás; São Desidério (n=40) e região da Serra do Ramalho englobando os municípios de Carinhanha, Coribe, Serra do Ramalho, Feira da Mata e ainda Santa Maria da Vitória e Santana (n=137), todos na Bahia. Os dados são oriundos do Cadastro Nacional de Cavernas da Sociedade Brasileira de Espeleologia (CNC-SBE, setembro/2010) e reportam a extensão das cavidades em termos do desenvolvimento linear ou da projeção horizontal de seus condutos e salões, conforme suas definições formais.

A figura 8 reúne todos os parâmetros descritivos dos conjuntos citados (medidas centrais, separatrizes, dispersão, assimetria e curtose) e respectivo desenho esquemático ou *Box Plot*, onde são mostrados os limites acima dos quais os dados são considerados estatisticamente discrepantes (*outliers*, acima de $[Q_3 + 1,5(Q_3 - Q_1)]$; $Q_1 = 1^\circ$ quartil, $Q_3 = 3^\circ$ quartil).

A tabela 1 apresenta os dados por distribuição de frequências de cada conjunto. Os dados mostram que as regiões diferem bastante:

- Pains apresenta-se como um conjunto de cavidades menores, apesar de ter a 3ª maior amplitude de valores (~3350 metros). As cavernas têm, em média, cerca de 70 metros de desenvolvimento, mas metade das 300 ocorrências registradas tem menos de 20 metros de extensão; 75% das cavernas têm menos de 40 metros, e 90% delas são menores que 150 metros.
- Matozinhos também retrata um conjunto de cavernas em geral pequenas; a distribuição também está concentrada nos valores pequenos: têm cerca de 100 metros de extensão em média, sendo que metade dos registros (110 registros) são cavidades menores que 50 metros, 75% menores que 100 metros e 90% menores que 250 metros. Sua amplitude alcança 2614 metros.
- Mambai já apresenta um conjunto de cavernas em geral um pouco maiores, tendo em média 200 metros de extensão; metade dos registros (31) tem menos de 80 metros de desenvolvimento; 75% têm menos de 300 metros e 90% das ocorrências não chega a 500 metros de extensão. É a população mais homogênea, com coeficiente de variação de 1,36% (menor

razão entre o desvio padrão e a média – σ/μ).

- São Desidério apresenta-se como um conjunto muito semelhante ao de Mambai em termos da posição da concentração, dispersão e assimetria, conforme demonstra o *Box Plot* da figura 8. Uma significativa diferença entre os dois conjuntos está na média dos valores, dado que para São Desidério as cavernas têm em média 500 metros de extensão. Ocorre que a amplitude dos valores deste conjunto, definida pela existência de cinco ocorrências consideradas discrepantes na população, com medidas entre 1945 e 4710 metros, é muito maior que a amplitude do conjunto de Mambai, que apresenta quatro valores considerados discrepantes, entre 756 e 1696 metros. Conseqüentemente, o desvio padrão expresso para a população de São Desidério é relativamente maior que na população de Mambai. O exame comparativo entre esses dois conjuntos é interessante, já que metade das cavidades de São Desidério tem no máximo 100 metros de extensão (104 metros, precisamente), enquanto 75% tem até 300 metros, praticamente os mesmos valores da população de Mambai. O valor de 1962 metros tabelado para o percentil P_{90} de São Desidério deve ser observado com cautela, pois se trata do 36º valor do rol; o 35º valor, que representa 87% do conjunto, é relativo a uma cavidade com “apenas” 700 metros de extensão, o que significa que 87% das cavidades desse mesmo conjunto têm no máximo 700 metros enquanto 85% têm menos de 500 metros – uma diferença absoluta importante (500 até 1962 metros), mas percentualmente inexpressiva (85 a 90%).
- Serra do Ramalho é evidentemente um conjunto de cavernas maiores, que apresentam cerca de 900 metros de desenvolvimento, em média; mas, como os demais conjuntos, também é constituído por uma boa proporção (50%) de cavidades relativamente menores, neste caso, com menos de 200 metros de desenvolvimento; aqui, 75% das cavernas têm menos de 600 metros e cerca de 90% das ocorrências têm menos de 2000 metros (apenas 15 dos 137 registros têm mais que 2000 metros). A presença de cinco cavernas que estão no

elenco das 20 maiores do Brasil (mais de 7000 metros de extensão) dá ao conjunto uma amplitude muito grande de valores, com implicações óbvias sobre a média regional e o desvio padrão da população.

	Pains	Matozinhos	Mambai	S.Desidério	Sa.Ramalho
A	3347	2614	1693	4705	16395
μ	68	106	212	501	926
Md	20	35	90	104	200
σ	233	248	289	1023	2437
cv	2,33	3,41	1,36	2,04	2,63
dm	79	110	192	618	1170
Q1	12	20	42	42,5	47
Q3	40	100	276	300	590
dq	28	80	234	257,5	543
Ls	82	220	626	687	1405
out (>)	292	340	510	1587,5	3305
out (%)	3,37	5,50	8,06	12,5	5,84
P10	7	10	30	20	20
P90	150	245	462	1962	2164
K	0,098	0,170	0,270	0,066	0,127

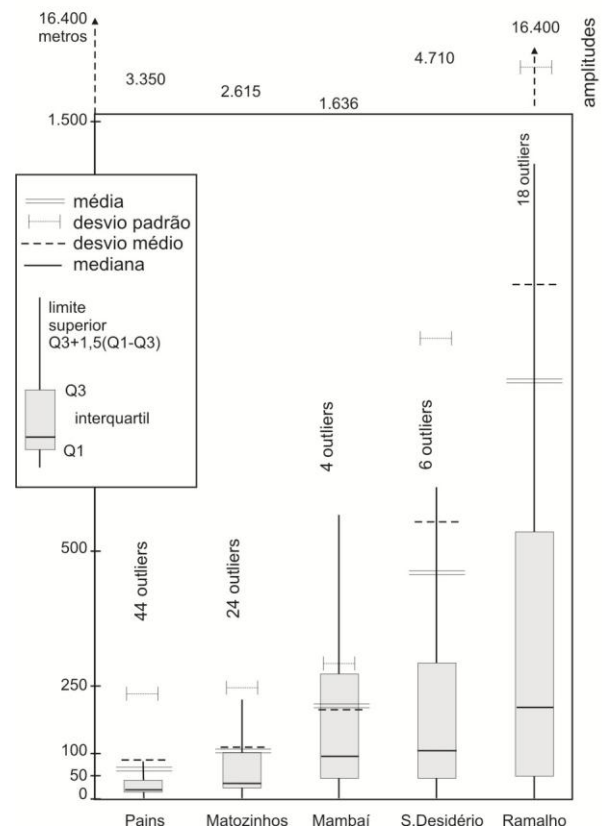


Figura 8. Parâmetros descritivos da extensão (DL/PH) de cavernas e *Box Plot* ilustrando a posição, dispersão, assimetria e caudas dos dados tabelados, para cinco regiões cársticas. Amplitude (A); média (μ); mediana (Md); desvio padrão (σ); coeficiente de variação (cv); desvio médio (dm); primeiro quartil (Q₁); terceiro quartil (Q₃); desvio interquartilício (dq); limite superior (Ls); valores discrepantes (out.); percentil 90º (P₉₀); percentil 10º (P₁₀); curtose (K).

Tabela 1: Dados da extensão (DL/PH) de cavernas em cinco cenários territoriais diferentes, organizados por distribuição de frequências.

valor (m)	freq.abs	freq.acum	freq.relat	freq.relat.acum
Pains				
1 ---25	181	181	60,54	60,54
25 ---50	61	242	20,40	80,94
51 ---100	18	260	6,02	86,96
101 ---200	21	281	7,02	93,98
201 ---500	15	296	5,02	99,00
501 ---1000	1	297	0,33	99,33
1001 ---2000	1	298	0,33	99,67
> 2000	1	299	0,33	100,00
Matozinhos				
1 ---50	132	132	60,83	60,83
51 ---100	38	170	17,51	78,34
101 ---150	14	184	6,45	84,79
151 ---200	9	193	4,15	88,94
201 ---300	8	201	3,69	92,63
301 ---500	11	212	5,07	97,70
501 ---1000	2	214	0,92	98,62
1000 ---2000	2	216	0,92	99,54
>2000	1	217	0,46	100,00
Mambaí				
1 ---50	28	28	44,44	44,44
51 ---100	6	34	9,52	53,97
101 ---250	13	47	20,63	74,60
251 ---500	11	58	17,46	92,06
501 ---1000	4	62	6,35	98,41
> 1000	1	63	1,59	100,00
São Desidério				
1 ---50	11	11	27,50	27,50
51 ---100	9	20	22,50	50,00
101 ---250	8	28	20,00	70,00
251 ---500	6	34	15,00	85,00
500 ---1000	1	35	2,50	87,50
1001 ---2000	1	36	2,50	90,00
2001 ---4000	3	39	7,50	97,50
> 4000	1	40	2,50	100,00
Serra do Ramalho				
0 ---50	40	40	29,20	29,20
51 ---100	15	55	10,95	40,15
101 ---200	18	73	13,14	53,28
201 ---500	27	100	19,71	72,99
501 ---1000	14	114	10,22	83,21
1001 ---2000	8	122	5,84	89,05
2001 ---5000	10	132	7,30	96,35
5001 ---10000	2	134	1,46	97,81
> 10000	3	137	2,19	100,00

Uma característica comum a todos os conjuntos é a forte assimetria da distribuição dos dados (figura 8), que afasta significativamente a média da mediana. Ou seja, a maior parte dos dados é constituída por valores pequenos, e a média, como o desvio padrão, são “puxados” por uma cauda conformada por poucos elementos que têm grande peso. A forte concentração de valores em torno da mediana (centro da distribuição) está bem retratada em quatro conjuntos, que têm padrão de leptocúrtico ($K < 0,263$).

Como um breve parêntese, vale lembrar que o alto índice de pequenas cavernas é inerente a qualquer região cárstica carbonática, tendo em vista a própria questão conceitual da origem e desenvolvimento das cavidades por dissolução (ver interessante definição em White, 2002, p. 85 1º parágrafo).

Aplicando os critérios adotados pela IN 2/09, em que três classes dimensionais são definidas pelos intervalos “[pequena $< (\mu - \sigma)$]; [($\mu - \sigma$) $<$ média $<$ ($\mu + \sigma$)]; [grande $>$ ($\mu + \sigma$)]”, sendo μ = média populacional e σ = desvio padrão populacional, a classificação das cavidades para os conjuntos examinados é a que está retratada na tabela 2.

Alguns pontos aparecem críticos a partir desses resultados:

- a) Considerando o padrão de assimetria positiva e forte peso caudal típico das regiões cársticas, em geral não será possível aplicar o critério que classifica as cavidades pequenas, pois o valor resultante de $(\mu - \sigma)$ é menor que o limite inferior populacional. A adoção de parâmetros como a mediana ou então o desvio médio (tratado em módulo) ao invés do desvio padrão poderia ser uma alternativa. Como se sabe, o desvio padrão é calculado a partir do quadrado dos desvios em torno da média, o que eleva desproporcionalmente os desvios relacionados aos valores extremos; a mediana, por sua vez, não é influenciada pelos extremos.

Tabela 2. Aplicação dos critérios da IN 2/09 para classificação dimensional de cavidades no âmbito de cinco “regiões cársticas”.

Região	n	μ	σ	$\mu + \sigma$	n° grandes	$\mu - \sigma$	pequenas
Pains	299	68	233	301	11 (3,7%)	n.a.	-
Matozinhos	217	106	248	354	12 (5,5%)	n.a.	-
Mambaí	63	212	289	501	5 (8,1%)	n.a.	-
São Desidério	40	501	1023	1524	5 (12,5%)	n.a.	-
Serra do Ramalho	137	926	2437	3363	8 (5,8%)	n.a.	-

- Grandes $> (\mu + \sigma)$; Pequenas $< (\mu - \sigma)$; Médias no intervalo $(\mu - \sigma)$ e $(\mu + \sigma)$.

- b) Em razão de valores muito extremos geralmente presentes na população, o resultado de $(\mu + \sigma)$ tende a classificar como grandes apenas aquelas cavidades que têm valores (dimensões) muito discrepantes da população (nos exemplos, de três a nove vezes o desvio interquartilico ($Q_3 - Q_1$) acima do 3º quartil). Sendo uma população mais homogênea, somente Mambaí teve ocorrências classificadas como “grandes” dentro do intervalo de dados não discrepantes; ainda assim, abarcando um universo de menos de 10% das cavidades da região (cavernas maiores que 500 metros).
- c) É especialmente crítica a situação em que, abstraindo-se um único valor discrepante (o valor mais extremo), haja mudança expressiva na classificação das ocorrências. É o que ocorre, por exemplo, para o conjunto de Pains: desconsiderando o valor da maior caverna registrada, que tem 3350 metros de extensão, a média e o desvio padrão para o conjunto caem de 68 (μ) e 233 (σ), para 57 e 136 respectivamente. Aplicando os critérios da IN, essa alteração implicaria classificar como “grandes” todas as cavidades maiores que 193 metros ao invés de maiores que 301 metros tal como antes, ampliando para 20 cavernas o universo antes constituído por 11 – uma diferença significativa com conseqüências práticas muito importantes.
- d) Os dados da região de Serra do Ramalho podem ser reorganizados em apenas cinco classes de frequência: (1|--500m: n=100); (501|--2000m: n=22); (2001|--4000m: n=9); (4001|--10000m: n=3); e (>10000: n=3). Se as três cavidades maiores que 10000 metros (2,2% da população) forem abstraídas da estatística, as cavernas consideradas grandes passam a ser aquelas que tiverem mais de 1783 metros ao invés de 3363 metros, dessa forma englobando 13 cavidades, 9,7% do “novo” conjunto – um cenário bem diferente do anterior. Nesse contexto da Serra do Ramalho, estabelecido até certo ponto de modo conveniente ao presente ensaio, apenas seis cavernas têm mais de 5000 metros de extensão (4,4% da população). Se este pequeno subconjunto de seis também puder ser abstraído sob algum argumento contextual (individualização de subunidade territorial, por exemplo), cavernas com mais de 1200 metros passariam a ser consideradas grandes, totalizando 21 cavidades, 15,3% da população considerada – um cenário absolutamente diferente daquele de apenas 2,2% considerado originalmente. De forma que, por causa das características que normalmente envolvem os dados espeleológicos, a depender de como o conjunto ou a população é identificada e interpretada como tal, uma pequena diferença da abordagem pode levar a resultados práticos significativamente diferentes. O maior inconveniente disso é a tendencialidade da informação para favorecer algum tipo de interesse.
- e) Essa mesma região da Serra do Ramalho poderia ser alternativamente tratada segundo duas populações distintas, por exemplo, individualizando as ocorrências dos municípios de Santa Maria da Vitória e Santana que estão deslocados um pouco mais a norte. Esse novo conjunto a norte totalizaria 32 cavidades distribuídas em classes da seguinte maneira: (20|--150m, n=15); (200|--900m, n=9); (1000|--3000m, n=6); e (>3000m, n=1, Gruta do Padre com 16400m). Pelo critério da IN, considerando $\mu=985$ e $\sigma=2893$, todas as cavidades seriam consideradas “médias”, exceto a própria Gruta do Padre. Por outro lado, esta caverna atende ao critério que lhe permite ser classificada em grau máximo, dadas as suas *dimensões notáveis em extensão, relativas ao enfoque local e regional* (art. 3º, III). Aqui parece natural admitir que esta

cavidade seja excluída da análise estatística, tendo em vista não ter efeito classificá-la como grande (importância acentuada local e regional = relevância alta) e ao mesmo tempo como de relevância máxima. O mesmo raciocínio terá então que ser aplicado para o grupo restante a sul, cuja população ainda contém duas cavernas muito grandes, com 15170 e 13880 metros; assim como justifica-se que o mesmo raciocínio seja aplicado para todos os demais grupos. Enfim, diversas nuances podem envolver o tratamento de determinada população de cavernas, com rebatimentos de difícil domínio. De tal forma que, algo que foi construído buscando afastar subjetividades se vê forçado a um exame caso-a-caso.

- f) Outro detalhe que também tem perspectiva prática importante diz respeito à precisão das medidas. O tratamento estatístico nem sempre pode ser tomado na “frieza dos números”, pois se trata de uma ferramenta de auxílio ao tratamento da informação e às interpretações. No caso do tratamento regional de dados de dimensão de cavidades naturais, além do aspecto da precisão das medidas tomadas em campo, não se pode abstrair o próprio “significado” dos números, ou seja, a sua “ordem de grandeza”. Tomando-se apenas um entre tantos exemplos que poderiam ser levantados, o critério de classificação da IN aplicado à região de Matozinhos trata como “grandes” as cavidades com 380 e 360 metros e como “médias” as cavidades com 350 e 330 metros. O mesmo ocorre para vários outros divisores de classe estabelecidos na estrita aplicação metodológica. Neste ponto, é evidente que a diferença de uma caverna com 360 metros para uma de 350 ou mesmo de 330 metros é irrelevante em termos do seu significado ambiental. Os próprios métodos topográficos adotados dão uma boa dose de liberdade à caracterização cartográfica das cavidades, ocorrendo invariavelmente diferenças significativas entre mapas elaborados por diferentes grupos de topografia que se utilizaram das mesmas convenções técnicas. Lembrando ainda que uma grande parte das cavidades mapeadas e registradas com efeito nas análises estatísticas regionais ainda encontram sua topografia em aberto, uma vez que não foi

esgotada a exploração de todas as suas galerias e possíveis conexões com outras cavidades do conjunto.

- g) O “esforço amostral”, mais especificamente o método de *prospecção* das cavidades é outra questão que pode fazer uma grande diferença na configuração dos padrões regionais, sendo oportuno salientar que na verdade não estão sendo tratadas populações de dados, mas somente amostras populacionais. A grande quantidade de pequenas cavernas que caracteriza a região de Pains, conforme visto, pode expressar justamente um diferencial prospectivo envolvendo a região, que já algum tempo tem sido alvo de levantamentos espeleológicos de detalhe no âmbito de estudos ambientais das minerações em processo de licenciamento. Matozinhos também recebeu uma atenção mais sistemática em termos de abrangência territorial e densidade prospectiva (método em CPRM/IBAMA, 1998). Sistemáticas similares de abordagem territorial ainda não ocorreram na maior parte do país, onde o trabalho prospectivo geralmente prioriza as indicações advindas da população residente, o que normalmente privilegia as cavernas de maior expressão regional (as que demandam maior tempo nas atividades internas de exploração e topografia, em prejuízo da prospecção em superfície).

Por fim, é importante considerar que, havendo atenção à distribuição das cavidades no espaço, poderá ser perceptível uma organização de “classes de valores” dimensionais em função de determinada espacialização geológica, geomorfológica e hidrogeológica no âmbito da “unidade espeleológica”. Como se sabe, os gradientes hidráulicos e padrões de fluxo – determinados pela organização das áreas de recarga e descarga, bem como pelas texturas ou estruturas particularizadas em litofácies e tectofácies locais – são parâmetros determinantes do padrão dissolutivo que se estabelece numa região (White, 2002). É isto que conduz à configuração morfológica, dimensional e espacial das cavernas, assumindo tendência de maior ou menor anisotropia: condutos únicos contínuos ou descontínuos; cavernas reticulares ou reticulados de cavernas individualizadas sob o ponto de vista do acesso humano; redes anastomóticas mais ou menos complexas,

enfim, padrões morfológicos que têm implicações sobre a continuidade e, conseqüentemente, sobre as dimensões contabilizadas.

Em vista disso, cada “classe de valor” poderia (e deveria) ser tratada no âmbito do seu respectivo “sistema genético”, inclusive observando-se covariância com padrões morfológicos. Importante ressaltar que as dimensões consideradas nessas classes de valores precisam descrever os sistemas, e não os fragmentos dos sistemas: a sequência de cavernas ao longo do rio João Rodrigues na região de São Desidério, por exemplo, deve ser considerada como “dimensão única”, não sendo conveniente que segmentos menores desse sistema espeleológico sejam diminuídos em importância no quesito dimensão em razão de seus próprios “pares” – os trechos (cavidades) maiores do mesmo sistema.

Em outras palavras, o que deveria ser buscado é a representatividade dos exemplares ao seu contexto morfogenético particular, em que também pesam as características morfológicas e a articulação geométrica dos condutos no espaço – atributos relegados pela IN 2/09 – derivando-se de uma análise puramente dimensional para uma análise provida de sentido ambiental real. Importante considerar que, tal como para outros atributos, uma análise desse tipo requer estatística multivariada e a caracterização prévia das “unidades geoambientais” em diferentes escalas, unidades estas bem distintas das chamadas “unidades geomorfológicas e espeleológicas” que contextualizam a aplicação da IN.

3.5. Qualificadores subjetivos “significativo, notável, único, expressivo, importante, com valor”

Dos quarenta e cinco atributos que precisam ser examinados no escopo da IN 2/09, nove são identificados ou avaliados com base em qualificativos subjetivos, não mensuráveis.

Eleger *dimensões* que sejam *notáveis* dentro de um contexto territorial em princípio não parece ser algo tão difícil. Mas complica quando se trata, por exemplo, de uma população de caráter bimodal, como se pode dizer do caso da região da Serra do Ramalho apresentado anteriormente, em que 95% das

cavidades têm menos de 5000 metros de extensão, enquanto as cinco maiores se distanciam bastante desse padrão, com 7020, 7560, 13880, 15170 e 16400 metros. Todas as cinco são notáveis no contexto da região? Apenas as três maiores? A maior de todas? Ou nenhuma delas, pois deixam de ser “notáveis” em meio à existência de um número significativo de ocorrências grandes?

Espeleotemas únicos, individualmente ou em conjunto, são aqueles pouco comuns ou excepcionais em tamanho, composição, tipo, beleza e profusão. Serem pouco comuns ou excepcionais também pode ser algo bem perceptível quando se tem um conjunto relativamente homogêneo. No caso dos espeleotemas únicos, o que mais dificulta a aferição da excepcionalidade são os qualificativos tamanho, profusão e beleza. Os critérios tamanho e profusão podem ser tabelados, com certo grau de arbitrariedade; mas beleza... Quando se trata da avaliação de “conjuntos de espeleotemas” o nível de subjetividade é certamente maior para alguns desses qualificativos. A instrução normativa também requer que seja averiguada se a configuração dos espeleotemas é notável ou pouco significativa quanto ao seu “aspecto, maturidade e abundância”.

A expressividade de processos ambientais e paleoambientais também guarda dose de subjetividade, enquanto não houver alguma orientação adicional que fale, por exemplo, sobre a escala espacial e temporal desses processos. A importância científica como qualificador precisa encontrar-se em um contexto científico bem estabelecido, o que se aplica à “expressividade de processos”, às “estruturas geológicas presentes” e à “sedimentação e precipitação química secundária”.

Também pode ser difícil ajuizar qual a medida em que passa a ser significativa a presença de algo considerado raro. Distinguir o quanto um fator é mais ou menos significativo ou influente sobre outro fator também pode ter limiares sutis, normalmente requerendo apuração criteriosa e sistemática.

4. O ponto crítico

A definição do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas aplica-se essencialmente ao processo de licenciamento

ambiental. A classificação decorrente do licenciamento ambiental pode até estar a serviço de um programa de levantamento do patrimônio espeleológico, já que o reconhecimento dos valores de determinada região em processo de licenciamento acaba por traçar o perfil do patrimônio dessa região, destacando aptidões e vulnerabilidade. Mas a qualificação dos elementos do patrimônio espeleológico ora discutida não foi concebida para a finalidade de um inventário geral e diagnóstico.

Na perspectiva de dano frente algum uso ou atividade pretendida, o grau de relevância é simplesmente o fator que orienta as restrições, mitigações, condicionantes e compensações impostas à pretensa atividade, tendo em vista especificamente os valores que estão sob risco. Nesta perspectiva, a classificação do grau de relevância trata de critérios básicos de “indenização”.

Por isso pode-se dizer que o novo conjunto da legislação sobre o patrimônio espeleológico (IN 2/09, Decretos 99.556/90, 6.640/08 e Resolução Conama 347/04) configura, na essência, uma normatização específica de condicionantes do licenciamento; mais precisamente, compensação através de investimentos voltados à conservação e uso do próprio patrimônio espeleológico. Esses investimentos compensatórios vêm figurando como “instrumento de proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional”; o que é uma distorção, pois condicionar uma atividade à compensação ambiental atende acima de tudo ao princípio da “recuperação e indenização” dos danos causados ao meio ambiente impostas ao poluidor e ao predador (art. 4, VII da Lei 6.938/81).

Diversas fragilidades e falhas no percurso que leva até o reconhecimento e pontuação dos valores dos elementos espeleológicos têm sido levantadas; por exemplo, valores subestimados de atributos examinados à margem da sua cadeia relacional e, principalmente, a dimensão do que não estará sendo detectado ou percebido pelos estudos, em função do seu caráter parcamente científico. Mas no que interessa ao destino dos valores que venham ser detectados, o ponto mais sensível é o que consta nos parágrafos 1º a 3º do artigo 4 do Decreto 6.640/2008: a admissão de impacto

negativo irreversível sobre cavidades de alto grau de relevância. Como compensação de uma perda dessa ordem, a preservação permanente de outras duas cavidades similares.

Sendo verdade que muitos constituintes ambientais de acentuada importância podem ser subestimados e mesmo relegados pela IN 2/09, por outro lado não se pode dizer que o método proceda em superestimar ou supervalorizar atributos. Pelo contrário, os critérios que levam ao enquadramento dos atributos ao nível de acentuada importância territorial – qualificadores de alta relevância – abarcam apenas um rol que se destaca em significância ecológica, científica ou cultural. Incluem termos como *função importante, alta riqueza, alta abundância, alta diversidade, alta influência, singularidade, elementos especiais, raridade, excepcionalidade, altos padrões, presença significativa, configuração notável, grande abrangência, interesse científico, reconhecimento do valor*. Para alcançar status de importância acentuada, alguns desses atributos estão adicionalmente condicionados a um estado de particular expressividade, abundância ou valor secundário agregado: não basta que uma estrutura espeleogenética seja rara, também é preciso que se manifeste de modo significativo; a água, princípio de toda fenomenologia cárstica, só é elemento de importância territorial caso exerça influência acentuada e permanente sobre atributos considerados acentuadamente importantes; e assim o método prossegue em sua filosofia mecanicista.

Elementos qualificados como “raros”, “singulares”, “excepcionais”, “de interesse específico” evidentemente não são elementos frequentes; muitos desses atributos dificilmente se replicarão no território examinado, dada sua própria condição. De forma que localizar – em dobro – ocorrências similares na área do empreendimento a fim de compensar a perda desses elementos não será tarefa fácil. Não estando replicados, sua perda será uma pena muito alta. O agravante vem do parágrafo 3º do citado artigo, que abre alternativas de compensação que não necessariamente garantam a conservação de testemunhos dos atributos perdidos.

Este ponto traz à luz a questão do “ganho coletivo” em que pesa, no balanço dos interesses econômicos, a natureza jurídica que

a Constituição Federal (1988) confere às cavidades naturais subterrâneas (art. 20, X): um bem (natural) da União, estando implícito o “interesse difuso”. Qualquer discussão que permeie a importância ou relevância das cavernas em função de valores que lhes estejam agregados, sejam históricos, paisagísticos, arqueológicos, paleontológicos, ecológicos ou científicos, deve considerar o que já está consolidado no ordenamento jurídico que trata do “patrimônio cultural brasileiro” – suas normas e instrumentos de gestão específicos – dado o involuntário *status* também determinado pela CF/88, artigo 216, V:

Constituem patrimônio cultural brasileiro os bens de natureza material e imaterial, tomados individualmente ou em conjunto, portadores de referência à identidade, à ação, à memória dos diferentes grupos formadores da sociedade brasileira, nos quais se incluem:

V – os conjuntos urbanos e sítios de valor histórico, paisagístico, artístico, paleontológico, ecológico e científico.

Ou seja, na medida em que as cavernas sejam reconhecidas – por instrumentos formais de avaliação, a IN 2/09 – como sítios de alta relevância em função do valor acentuado de seus atributos históricos, paisagísticos, paleontológicos, ecológicos ou científicos, essas cavernas devem ser observadas na perspectiva do patrimônio cultural brasileiro, remetidas a um tratamento que extrapola os ritos do licenciamento ambiental e que fará confrontar, acima de tudo, os reais benefícios socioeconômicos do empreendimento pretendido. Eis o “x da questão”.

5. Opiniões adicionais – um ponto de vista prático

5.1. Sobre a revisão do aparato legal que trata do patrimônio espeleológico

A legislação que aborda as cavernas começou a ser delineada em 1986 com a criação de uma “Comissão Especial” incumbida das estratégias para a preservação do “patrimônio espeleológico” (Resolução Conama 009/86). O Decreto 99.556/90 e a Portaria Ibama 887/90 foram posteriormente criados numa concepção bastante generalista e rigorosamente preservacionista, buscando

cautela em garantir a proteção de um acervo ambiental de riqueza e potencial extremamente promissores, porém precariamente compreendido. Tal rigor – cuja essência reside no conceito de cavidade natural subterrânea adotado – vinha impedindo o licenciamento das atividades que pudessem causar qualquer tipo de impacto sobre uma caverna, mesmo que estudos técnicos competentes comprovassem a irrelevância dessa caverna sob todos os aspectos: ambiental, cultural ou científico.

A preservação de cavidades naturais desprovidas de qualquer valor defensável, em detrimento de atividades de importância econômica e social, foi a grande motivação para que a legislação fosse revista. Tal necessidade foi acolhida inclusive nas instâncias ambientais, admitindo-se um cenário um pouco mais favorável no que se refere às bases científicas e ao conhecimento acumulado sobre os sistemas cársticos.

No entanto, o sentido inicial – tratar distintamente os elementos de valor no conjunto do acervo espeleológico e elementos sem nenhum valor para o acervo – deu margem ao conceito de “gradação de valores de relevância”, com um aparente sentido de “custo ambiental”, ou seja, orientar o “montante” da compensação devida pelo empreendedor – não necessariamente financeiro – por causa do valor perdido de determinado bem. Eis a origem de toda a cadeia de dificuldades, que se consolida com a publicação do Decreto 6.640/08. No cerne da questão, uma suposta solução: admitir a perda de valores e compensá-los em função de outros ganhos. E no cerne de todo o problema: a mensuração objetiva desses valores para que se possa confrontá-los aos ganhos, e compensar a sua perda de maneira justa.

5.2. Resgatando alguns princípios

A Constituição Federal reconhece toda cavidade natural subterrânea como um Bem da União (art. 20). E concede àqueles bens (materiais e imateriais) “de valor histórico, paisagístico, artístico, arqueológico, paleontológico, ecológico e científico” o destaque de Patrimônio Cultural Brasileiro (art 216, V).

Compreende-se que o país possui “acervos” de bens, entre os quais o “acervo espeleológico”, que reúne todo tipo de

cavidade natural subterrânea. A Constituição Federal, no entanto, não define o que são cavidades naturais subterrâneas, o que coube ao Decreto 99.556/90 e Decreto 6.640/08, à Portaria Ibama 887/90 e à Resolução Conama 347/06. O conceito adotado pelo conjunto da legislação, por sua vez, tem petrificado uma concepção imprecisa e extremamente limitada, na medida em que se desvia do entendimento de que as cavidades subterrâneas são elementos integrados de um “geossistema” e “ecossistema” particular, perdendo mérito a idéia de “unidade” que vem sustentada pela condição de ser “penetrável” pelo homem, tal como formalizado. Isso debilita o reconhecimento que deveria haver a respeito de um “ambiente ou sistema natural” de maior complexidade e amplitude, com singularidades, fragilidades, vulnerabilidades e valores que requerem tratamento sistêmico apropriado.

Ainda no âmbito conceitual, pode-se dizer que também há certa confusão em torno do termo “patrimônio espeleológico” adotado: “o conjunto de elementos bióticos e abióticos, socioeconômicos e históricos-culturais, subterrâneos ou superficiais, representados pelas cavidades naturais subterrâneas ou a estas associadas”. Nesta definição o patrimônio espeleológico aproxima melhor a concepção de um sistema socioambiental particular, na medida que, por um lado envolve todos os elementos que possam estar associados às cavidades subterrâneas, inclusive os superficiais e, por outro lado, explora a idéia de “conjunto de cavidades”. Porém, continua restrita à condição de “penetrabilidade” pelo homem, pois vincula a existência das cavidades tal como estão definidas formalmente.

Nesse ponto, vale destacar a idéia de valor que o termo “patrimônio” carrega em si. Está implícito que o acervo espeleológico, tomado pelo conjunto de cavidades e agregado de todos os elementos associados, é patrimônio e tem incondicional valor.

No entanto, deste acervo espeleológico completo caberia discriminar aquilo que à luz da própria Constituição (art. 216) deve de fato integrar o “patrimônio espeleológico”, ou seja, os elementos que apresentem atributos reais de valor para o contexto em que estejam inseridos ou em que estejam sendo examinados, ampliando dessa forma uma

diferença conceitual entre “acervo” e “patrimônio”. Um entendimento poderia ser:

“O patrimônio espeleológico nacional é representado pelas parcelas, segmentos ou componentes do ambiente natural subterrâneo do país (acervo espeleológico) dotados de comprovado valor ecológico, ambiental, paisagístico, científico, cultural ou econômico, abrangendo inclusive os componentes do ambiente superficial e sub-superficial que sejam direta ou indiretamente vinculados a eles, sendo dever do Poder Público a sua adequada conservação ou destinação.”; enquanto

“O acervo espeleológico nacional é representado pelo ambiente natural subterrâneo do país, delineado por todos os seus elementos diretamente constituintes e pela cadeia de processos biológicos, físicos e químicos que lhes são intrínsecos, abrangendo também os componentes do ambiente superficial e sub-superficial que sejam direta ou indiretamente vinculados a ele, sendo dever do Poder Público a sua adequada caracterização com vistas ao reconhecimento do patrimônio espeleológico e ao ordenamento territorial.”

O que se propõe é o simples retorno à motivação inicial: distinguir os elementos de valor (chamados relevantes, os verdadeiros componentes do patrimônio espeleológico nacional), daqueles elementos contextualmente irrelevantes (ou pouco relevantes), destacados do acervo integral, nas duas hipóteses, somente a partir de estudos precisos.

5.3. Destinações para elementos do Acervo Espeleológico – sugestão prática

O processo de licenciamento ambiental de atividades em área de interesse espeleológico já alcançaria substancial avanço na medida em que elementos inquestionavelmente irrelevantes (pouco relevantes) sejam reconhecidos. Nesses termos a análise custo ambiental versus benefício socioeconômico é de fácil conclusão e não deve comprometer a consecução do licenciamento, sob as requeridas condicionantes. Para um grande número de casos – aqueles envolvendo situações ambientais mais “simples” – um fluxo de procedimentos básicos pode ser suficientemente seguro para apontar a

ausência de valor de elementos do acervo, tal como previsto na figura 9. Trata-se de um passo mais urgente direcionado à solução de um tipo particular de impasse.

No que diz respeito aos elementos considerados relevantes para o acervo, o mesmo fluxo de procedimentos (figura 9) também pode ser suficientemente seguro e célere para indicar determinado valor insubstituível ou imprescindível, concluindo a inviabilidade ambiental (parcial ou completa) da atividade em licenciamento, salvo condições consideradas de relevante interesse público pela balança custo ambiental / benefício socioeconômico.

E assim, tem-se sanados dois extremos que abarcam uma significativa parte dos conflitos. Entre estes extremos existirão outras três situações:

- a) ambientes cuja complexidade irá requerer estudos de maior amplitude territorial (espacial) e temporal, mais diversificados e específicos no que se refere a métodos e análises; portanto, uma abordagem mais profunda e abrangente para estar apta a descartar ou determinar valores;
- b) elementos do acervo cujo valor seja “relativo” no contexto, seja pelo seu significado temporal, alcance ou representatividade territorial, recorrência ou valor intrínseco que conduzam a uma criteriosa avaliação da balança custo ambiental / benefício socioeconômico, numa esfera consultiva ou deliberativa superior;
- c) elementos do acervo cujo valor seja “restrito”, ou seja, que contenham componentes de valor “isolado”, seja em nível “temático” (por exemplo, um espeleotema próprio para estudos paleoambientais), seja em termos de “situação no espaço” (apenas um segmento do sistema ou caverna); de tal forma que seja possível o resgate do componente de valor ou então sejam admissíveis impactos parciais, ou reversíveis, ou momentâneos, ou de menor magnitude. Nesse caso, a análise da balança custo ambiental / benefício socioeconômico é concluída pelo estabelecimento das condicionantes que garantam resguardar os componentes de valor, ou, caso se configure inviável uma solução dessa ordem, condicionada à

decisão de instância superior tal como exposto no item b.

FASE 1

→ Individualização das unidades espeleológicas em nível de semidetalhe por meio de «indicadores diretos e indiretos» e cartografia combinada dos seguintes aspectos:

- bacias hidrográficas (sub e microbacias)
- aquíferos regionais e locais
- unidades litológicas em nível faciológico
- unidades estruturais compatíveis com a individualização faciológica
- unidades geomorfológicas de detalhe (4º nível taxon. Ross, 1992)
- unidades pedológicas
- biomas (subsistemas)
- padrões climáticos
- uso e ocupação do solo

FASE 2

→ Na unidade espeleológica, fluxo para avaliação do acervo visando a identificação de elementos que possam ser considerados «patrimônio espeleológico».

1. estabelece conexões entre elementos do acervo, segundo 3 “níveis de confiança”: Efetivas, Prováveis, Improváveis/Inexistentes
2. elimina importância sócio-econômica
3. elimina importância arqueológica
4. elimina potencial paleontológico
5. elimina potencial científico paleoambiental (climático, genético, evolutivo, de processos etc.), através de todos os elementos de potencial interesse (espeleotemas, sedimentos, morfologia...)
6. estuda biologia, ecologia e potencial biológico
7. elimina potencial científico biológico e notoriedade ecológica
8. Avalia morfologia/morfogênese; cênico (incluindo espeleotemas); dimensão; recursos hídricos e energéticos, minerais, aspectos específicos no contexto da região, tanto isoladamente como potencial de conjunto. Determina valores intrínsecos de cada parâmetro componente: Essencial, Especial, Comum, Irrelevante
9. estabelece “teia relacional”: estuda variáveis de dependência do sítio / entre sítios (com os mesmos níveis definidos em “1”), determina grau de complexidade e reajusta valores dos parâmetros de (8)
10. avalia potencial turístico, cultural, desportivo (técnico-exploratório), educativo etc.
11. avalia resgate de informações e materiais paleontológicos, arqueológicos e científicos
12. descarta ser elemento do patrimônio espeleológico (quando os itens 2, 3, 4, 5, 7 foram seguramente cumpridos e os parâmetros de 9 e 10 resultaram valores intrínsecos irrelevantes) e licencia mediante condicionantes previstos nos diplomas existentes. Observar «nível de confiança das conexões»
13. caso se trate de elemento do patrimônio espeleológico (quando a situação 12 é excluída) verificar valores intrínsecos dos atributos em devida conformidade com a complexidade do sistema, e descartar a presença de elementos considerados essenciais (se há elementos essenciais, indefere licença ou concede somente sob condições muito especiais de 15)
14. avalia tipo/grau de impacto da atividade
15. pondera importância socioeconômica do empreendimento, rigidez locacional e viabilidade de alternativas frente às perdas de elementos considerados especiais no contexto da região em apreço (tomados em unidade ou em conjuntos específicos)
16. decide, mediante condicionantes possíveis em favor do próprio patrimônio espeleológico local. Na impossibilidade de benefícios substanciais ao patrimônio local, a decisão deve tender para o indeferimento, exceto sob condições muito especiais de 15.

Figura 9. Roteiro básico proposto para a identificação do patrimônio espeleológico.

A figura 10 ilustra e sintetiza todos os desdobramentos possíveis ao longo de um processo de licenciamento ambiental, de acordo com a sugestão de tratamento do acervo espeleológico ora apresentada. Conforme o esquema, uma etapa fundamental do processo está no cumprimento de Termos

de Referência especialmente estabelecidos para o reconhecimento regional satisfatório do ambiente ou sistema onde estão inseridos os sítios espeleológicos em análise, para efeito da contextualização (ponderação) de riscos e valores ambientais.

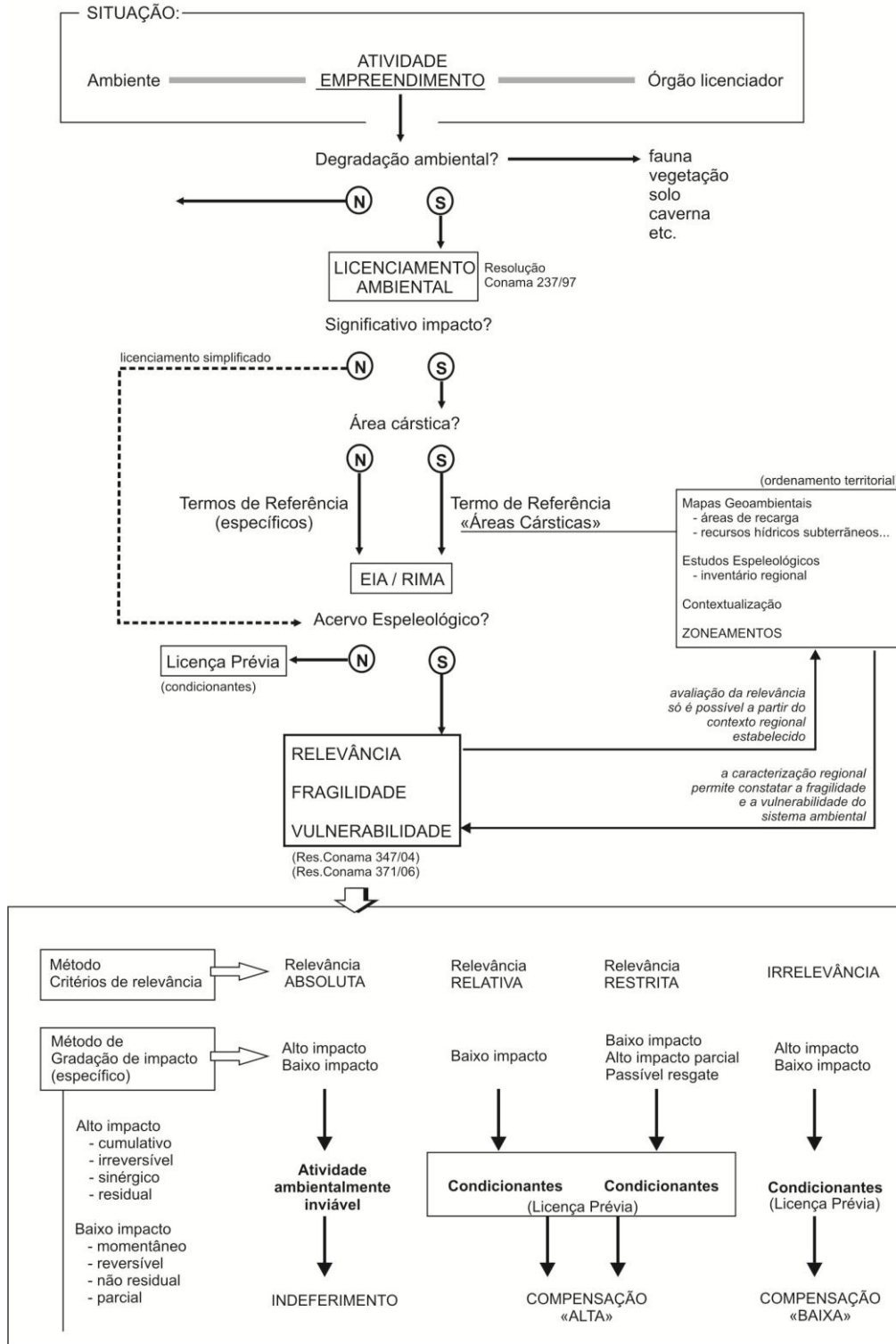


Figura 10. Proposta de roteiro para licenciamento ambiental em regiões cársticas ou em áreas de interesse espeleológico.

Conclusão

A instrução normativa MMA 2/09 é instrumento do processo de licenciamento ambiental de empreendimentos potencialmente lesivos ao patrimônio espeleológico, que complementa e dá exequibilidade ao Decreto 6.640/08. Pode-se dizer que se trata de um mecanismo ainda em fase experimental, pois sua publicação antecedeu as práticas de validação necessárias à certificação da sua viabilidade e eficácia. As primeiras aplicações práticas estão ocorrendo em pleno curso do licenciamento e só agora começam a mostrar seus resultados e, certamente, inúmeros problemas. Nesse sentido não é errado compreendê-la como uma norma precária; está previsto em seu artigo 21 que um comitê técnico consultivo irá acompanhar e avaliar a sua aplicação com a finalidade de propor o aprimoramento das regras técnicas, caso entenda necessário.

Tratando um tema que vem amadurecendo lentamente no próprio seio acadêmico, é até certo ponto compreensível essa condição do “testar com a prática”; o que não significa admitir danos ambientais graves pelas incertezas envolvidas. Ao contrário, justamente por se tratar de um mecanismo precário, aplicado a cenários ambientais ainda mal conhecidos e de difícil controle, acrescem-lhe os limites da cautela e margens de segurança, observado o princípio da precaução. A despeito da maior cautela das decisões envolvidas, “testar com a prática” sob condições precárias motiva dispensar todo tipo de energia que faculte delinear, o mais rápido possível, os problemas e alternativas para uma abordagem correta com resultados justos, com o elementar alcance de todos os interesses envolvidos de maneira equilibrada.

Este artigo vem nessa linha. Ele não explora muitos detalhes importantes; também não esgota totalmente as fragilidades que foram levantadas, nem se preocupa com pontos positivos, que existem. O objetivo é trazer a percepção de que, como instrumento do licenciamento ambiental, os propósitos da IN 2/09 não serão alcançados em uma grande gama de situações concretas. Especialmente porque não adota verdadeiramente o tratamento sistêmico indispensável à avaliação precisa dos sistemas cársticos, embora o método se apresente “maquiado” como tal em algumas terminologias utilizadas. Também porque prescinde da caracterização

geoambiental e espeleológica prévia em âmbito regional, deixando de tratar o território com respeito às fragilidades e restrições que requerem devido ordenamento; esse ordenamento prévio, aliás, pouparia investimentos financeiros de empreendimentos ambientalmente inviáveis.

Mais especificamente, a IN 2/09 não alcança os propósitos do licenciamento em muitas situações porque:

1. *Quanto a sua exequibilidade técnica e financeira:* considerando a exigência de que toda a análise seja circunstanciada na abordagem espeleológica regional, ou seja, dependente de um status de conhecimento prévio do contexto envolvido, presume-se que a avaliação da importância dos atributos deverá ser precedida de estudos regionais em geral dispendiosos em recursos financeiros e tempo. Para muitos sistemas cársticos, os estudos devem considerar uma razoável abrangência temporal e investimentos expressivos em técnicas hidrogeológicas e hidroquímicas (uso de traçadores, monitoramento de parâmetros hidroclimatológicos, análises físicoquímicas e microbiológicas para avaliação de contaminantes etc.), além de várias condicionantes científicas da temática biológica.
2. *Quanto à exatidão e veracidade dos estudos:* se a amplitude técnica mencionada no item anterior não for alcançada, não estará garantida a caracterização satisfatória da realidade ambiental, dadas as características especiais de forte dinamismo e interatividade dos diversos compartimentos que constituem os ambientes cársticos. Isso recai especialmente sobre a amplitude temporal dos estudos; se forem falhos nesse aspecto, há grande probabilidade de que elementos importantes sejam omitidos e realidades parcialmente descritas. Além disso, a abordagem convencional a vários parâmetros é distorcida da realidade, citando a água que não pode exercer influência sobre determinados parâmetros que lhe são obviamente dependentes; ou a estrutura geológica que não pode ter importância regional mesmo que exerça condicionamento fundamental sobre todo sistema; ou a estrutura espeleogenética rara que não pode ser qualificada quando

sutilmente presente, entre vários outros aspectos. A subjetividade é outro aspecto presente, a começar pela própria delimitação das unidades de análise; há também atributos cujo reconhecimento ou qualificação se baseiam em parâmetros imprecisos, tais como “presença significativa”, “influência significativa”, “configuração notável” e outros.

3. *Quanto ao risco de perdas ambientais inadmissíveis*, eis um ponto nevrálgico: a classificação resultante das análises reconhece a alta relevância de certos componentes por sua raridade, expressividade, significância, enfim, pela condição de ser incomum ou possuir algum vínculo ambiental específico. A solução de se buscar nos arredores testemunhos desses mesmos elementos raros, notáveis ou vinculados é incorrer numa ingênua contradição. O táxon novo estará presente em outros dois sítios? Não estando, o que o aguarda? Uma cavidade que exerça determinada influência sobre o sistema poderá ter seu papel substituído por outras duas? Será possível convencer a opinião nacional ou mundial de transferir para outro local o reconhecimento estético e cênico dirigido a determinado sítio? Ou terá que abdicá-lo? O método não delimita com precisão as situações que não podem ser justamente compensadas; por outro lado, talvez contemple e potencialize algumas alternativas viáveis, mas somente em curto e médio prazo, até que se esgotem os testemunhos cabíveis.
4. Finalmente, *quanto ao julgamento fidedigno do órgão licenciador*, é evidente a complexidade do ambiente em foco; por conseguinte, dos estudos necessários. A qualificação dos atributos está sujeita às falhas dos próprios estudos e muito vulnerável a diferentes interpretações, como foi visto. A atenção dos analistas deve percorrer toda esta cadeia de entendimento: a complexidade das informações (o rigor, acuidade, suficiência, abrangência, interdependência...), a aferição da importância dos atributos com as ressalvas necessárias, culminando enfim com a classificação da relevância do sítio, que lhes é privativo assinar (§1 art.5, Decreto 6.640/08).

Em conclusão, há uma fragilidade generalizada de fundo filosófico e conceitual na instrução normativa MMA 2/09. Um tratamento menos particularizado e mais holístico da unidade de análise que não abra mão de técnicas de estatística exploratória e multivariada talvez possibilite trabalhar com índices – de atividade física e biológica, complexidade, raridade/especificidade, função social – expressões mais realistas dos valores de notoriedade, significância e fragilidade a serem ajuizados.

Referências

- Alquilina, L.; Ladouche, B.; Dörfliker, N. 2006. Water storage and transfer in the epikarst of karst systems during high flow periods. *Journal of Hydrology*, 327:472-485.
- Auler, A.S. & Smart, P.L. 2001. Late Quaternary Paleoclimate in Semiarid Northeastern Brazil from U-Series Dating of Travertine and Water-Table Speleothems. *Quaternary Research*, 55:159-167.
- Auler, A.S.; Smart, P.L.; Wang, X.; Piló, L.B.; Edwards, R.L.; Cheng, H. 2009. Cyclic sedimentation in Brazilian caves: Mechanisms and palaeoenvironmental significance. *Geomorphology*, 106:142-153.
- Barbieri, M.; Boschetti, T.; Petitta, M.; Tallini, M. 2005. Stable isotope (2H , 18O and $87\text{Sr}/86\text{Sr}$) and hydrochemistry monitoring for groundwater hydrodynamics analysis in a karst aquifer (Gran Sasso, Central Italy). *Applied Geochemistry*, 20:2063-2081.
- Bertrand, G. 1972. Paisagem e Geografia Física Global – Esboço metodológico. IG-USP. *Caderno de Ciências da Terra*, 13:1-36.
- Carvalho, L.M.; Jones, C.; Liebmann, B. 2004. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity and Extreme Rainfall. *Journal of Climate*, 17:88-108.
- Clemens, T.; Hückinghaus, D.; Liedl, R.; Sauter, M. 1999. Simulation of the development of karst aquifers: role of the epikarst. *International Journal of Earth Sciences*, 88:157-162.

- CPRM/Ibama 1998. Levantamento espeleológico. In: *APA Carste de Lagoa Santa – Patrimônio Espeleológico, Histórico e Cultural*. Belo Horizonte, 71p., anexos e mapas (Série APA Carste de Lagoa Santa, volume III).
- Cruz Jr. F.W.; Burns, S.J.; Karmann, I.; Sharp, W.D.; Vuille, M. 2006. Reconstruction of regional atmospheric circulation features during the Late Pleistocene in subtropical Brazil from oxygen isotope composition of speleothems. *Earth and Planetary Science Letters*, 248:495-507.
- Cruz Jr. F.W.; Burns, S.J.; Karmann, I.; Sharp, W.D.; Vuille, M.; Ferrari, J.A. 2006. A stalagmite record of changes in atmospheric circulation and soil processes in the Brazilian subtropics during the Late Pleistocene. *Quaternary Science Reviews*, 25:2749-2761.
- Cruz Jr. F.W.; Burns, S.J.; Jercinovic, M.; Karmann, I.; Sharp, W.D.; Vuille, M. 2007. Evidence of rainfall variations in Southern Brazil from trace element ratios (Mg/Ca and Sr/Ca) in a Late Pleistocene stalagmite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71:2250-2263.
- Gan, M.A.; Kousky, V.E.; Ropelewski, C.F. 2004. The South America Monsoon Circulation and Its Relationship to Rainfall over West-Central Brazil. *American Meteorological Society*, 17:47-66.
- Liu, Z.; Groves, C.; Yuan, D.; Meiman, J.; Jiang, G.; He, S.; Li, Q. 2004. Hydrochemical variations during flood pulses in the south-west China peak cluster karst: impacts of $\text{CaCO}_3\text{-H}_2\text{O-CO}_2$ interactions. *Hydrological Processes*, 18:2423-2437.
- Ma, H.-Y & Mechoso, R. 2007. Submonthly variability in the South America Monsoon System. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 85A:385-401.
- Patrus, M.L.R.A. 1998. Estudos hidrológicos e qualidade das águas de superfície. In: *APA Carste de Lagoa Santa - Meio Físico*. Belo Horizonte, CPRM/IBAMA. 58p., anexos e mapas. (Série APA Carste de Lagoa Santa, volume I).
- Perrin, J.; Jeannin, P.-Y.; Zwahlen, F. 2003. Implications of the spatial variability of infiltration-water chemistry for the investigation of a karst aquifer: a field study at Milandre test site, Swiss Jura. *Hydrogeology Journal*, 11:673-686.
- Perrin, J.; Jeannin, P.-Y.; Zwahlen, F. 2003b. Epikarst storage in a karst aquifer: a conceptual model based on isotopic data, Milandre test site, Switzerland. *Journal of Hydrology*, 279:106-124.
- Rodrigues, C. 2001. A teoria geossistêmica e a sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. USP. *Revista do Departamento de Geografia*, 14:69-77.
- Ross, J.L.S. 1992. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. USP. *Revista do Departamento de Geografia*, 6:17-29.
- Ryan, M.; Meiman, J. 1996. An examination of short-term variations in water quality at a karst spring in Kentucky. *Ground Water*, 34:23-30.
- Sondag, F.; van Ruymbeke, M.; Soubiès, F.; Santos, R.; Somerhausen, A.; Seidel, A.; Boggiani, P. 2003. Monitoring present Day climatic conditions in tropical caves using the Environmental Data Acquisition System (EDAS). *Journal of Hydrology*, 273:103-118.
- Sotchava, V.B. 1977. *O estudo dos geossistemas*. Instituto de Geografia – USP. São Paulo. 51p. (Métodos em Questão, 16).
- Santos, R.F. dos 2007. *Vulnerabilidade ambiental. Desastres naturais ou fenômenos induzidos?* Secretaria de Recursos Hídricos, Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 192 p.
- Santos, R.F. dos & Caldeyro, V.S. 2007. Paisagens, condicionantes e mudanças. In: Santos, R.F. dos (org.) 2007. *Vulnerabilidade ambiental. Desastres naturais ou fenômenos induzidos?* Secretaria de Recursos Hídricos, Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 192 p.

- Toran, L.; Tancredi, J.H.; Herman, E.K.; White, W.B. 2006. Conductivity and sediment variation during storms as evidence of pathways to karst springs. Geological Society of America. *Special Paper* 404.
- Trajano, E. 2009. Relevância de sistemas subterrâneos: método é essencial. *Conexão Subterrânea*, RedespeleoBrasil 73:3-4.
- Wang, W.; Auler, A.S.; Edwards, R.L.; Cheng, H.; Ito, E.; Solheid, M. 2006. Interhemispheric anti-phasing of rainfall during the last glacial period. *Quaternary Science Reviews*, 25:3391-3403.
- White, W.B. 2002. Karst hydrology: recent developments and open questions. *Engineering Geology*, 65:85-105.
- White, W.B. 2007. A brief history of karst hydrogeology: contributions of the NSS. *Journal of Cave and Karst Studies*, 69(1):13-26.
- Vuille, M. & Werner, M. 2005. Stable isotopes in precipitation recording South American summer monsoon and ENSO variability: observations and model results. *Climate Dynamics*, 25:401-413.
- Sales, V.C. 2004. Geografia, sistemas e análise ambiental: abordagem crítica. GEOUSP. *Espaço e Tempo*, 16:125-141.



A revista *Espeleo-Tema* é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE).
Para submissão de artigos ou consulta aos já publicados visite:

www.sbe.com.br/espeleo-tema.asp

¹ Pesquisadora em Geociências - Geóloga

² Definição formal presente no glossário da IN 2/09: “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.”

³ Dimensão da cavidade estabelecida pela soma da projeção horizontal dos eixos de desenvolvimento de condutos, galerias e salões. O conceito adotado pela norma não estipula qual deve ser o princípio da soma, se pelo método da continuidade ou da descontinuidade. A condição de que todas as cavidades da unidade em análise sejam medidas pelo mesmo princípio de soma é uma suposição.

⁴ Associações de espécies de organismos vivos em equilíbrio ecológico no mesmo habitat.

⁵ A variabilidade interanual, anual, intrasazonal e diária das chuvas de verão é uma característica de toda a América do Sul tropical e subtropical, associada ao Sistema de Monções Sul-Americano (“South America Monsoon System-SAMS”), de escala global. Um dos elementos desse sistema é Zona de Convergência do Atlântico Sul (“South Atlantic Convergence Zone”), retratada por um cinturão convectivo alongado de direção noroeste-sudeste pelo qual correntes úmidas atravessam a região central do continente a partir da Amazônia até o oceano Atlântico subtropical (Carvalho et al. 2004; Gan et al. 2004; Vuille & Verner 2005; Ma & Mechoso 2007). A variabilidade do padrão das chuvas também é ditada por mecanismos de macro e meso escala influenciados por particularidades locais, especialmente o relevo.