

PROPOSTA DE PROCEDIMENTO METODOLÓGICO PARA AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE RELEVÂNCIA DE CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS

Ana Lúcia Costa de Oliveira Galvão

Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas - CECAV, E-mail: ana.galvao@icmbio.gov.br.

Júlio Ferreira da Costa Neto

Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas - CECAV, E-mail: julio.costa-neto@icmbio.gov.br.

RESUMO

A avaliação do nível de relevância das cavidades naturais subterrâneas exige a adoção de critérios e procedimentos metodológicos que sejam claros, favoreçam minimamente a caracterização das cavidades e permitam a compreensão da lógica de sua aplicação, o seu aperfeiçoamento permanente e as adaptações que se fazem necessárias às mais diferentes condições ambientais em que as cavidades se distribuem. O método proposto baseia-se em avaliações temáticas variadas, onde os principais temas afetos às cavidades são abordados e igualmente considerados numa modelagem matemática simplificada e baseada na integração de dados com apoio da técnica de apoio à decisão AHP – Analytic Hierarchy Process.

Palavras chave: caverna, critério de relevância, modelagem.

PROPOSAL OF A METHODOLOGICAL PROCEDURE TO EVALUATE THE LEVEL OF RELEVANCE TO CAVES

ABSTRACT

The evaluation of the relevance of natural subterranean cavities (caves) requires the application of some criteria and methodological procedures that lead to the correct characterization of the caves. These procedures have to be comprehensible and constantly improved to better suit the different environmental conditions in which the caves lie. The proposed method is based on thematic assessments in which the main themes related to caves are analyzed and equally evaluated, using a simplified mathematic modelling, based on data integration with the aid of the AHP – Analytic Hierarchy Process technique.

Keywords: Cave, relevance, modelling.

1. INTRODUÇÃO

As cavidades naturais subterrâneas compõem ecossistemas que apresentam condições ambientais exclusivas. Elas revelam considerável fragilidade e grande importância ambiental, especialmente no que diz respeito ao controle da qualidade, quantidade e periodicidade de oferta dos recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos, e na manutenção e preservação de diversas espécies de vertebrados e invertebrados, dos quais vários se destacam com importante papel na dinâmica ambiental do meio hipógeo ou mesmo do meio epígeo.

Por vezes, as cavidades também se associam a aspectos socioculturais. Vinculam-se a história ou pré-história de povos ou sociedades ou são utilizadas como áreas de lazer, especialmente associadas a explorações espeleológicas, esportes radicais ou visitas religiosas.

Estes ecossistemas costumam apresentar intensa relação com áreas vocacionadas à exploração econômica dos recursos naturais. Com destaque às históricas associações das cavidades com áreas de extração de calcário e, mais recentemente, com as regiões ferríferas. Ou seja, as cavidades associam-se a recursos minerais cujas atividades exploratórias apresentam grande apelo comercial e que são diretamente vinculadas ao desenvolvimento social e econômico de diversas nações.

A importância socioambiental da cavidade e sua associação espacial com a exploração mineral geram a dualidade de interesses que marca o manejo das cavidades naturais subterrâneas e determina o permanente conflito entre as perspectivas de sua preservação/conservação e os apelos à exploração de seus recursos ou mesmo à sua supressão.

Diante desses interesses antagônicos a sociedade exige que o poder público exerça o seu papel discricionário e: discipline o acesso e o uso dos recursos cavernícolas; direcione suas ações à definição de critérios para a avaliação desses ecossistemas, à classificação da relevância ambiental das cavidades e à valoração econômica de seus recursos; além de que, promova a realização de avaliações das cavidades e de suas interações com o ambiente frente às atividades exploratórias, que lhe são diretamente concorrentes.

A legislação ambiental brasileira conta com dois instrumentos básicos e diretamente vinculados à regulação do uso e à proteção do patrimônio espeleológico brasileiro: a Resolução CONAMA (Conselho Nacional do meio Ambiente), nº347 de 2004, que destaca a importância de atributos ecológicos, ambientais, cênicos ou socioeconômicos na identificação do nível de relevância das cavidades; e o decreto nº. 99.556/1990, alterado pelo decreto nº. 6.640/2008, que define os diferentes graus de relevância para fim de enquadramento das cavidades e os níveis de proteção a que estão sujeitas, estendendo-se da preservação a supressão de cavidades.

Para atendimento das exigências legais de classificação do nível de relevância das cavidades, apresenta-se um modelo de análise que, além de orientar a respeito dos aspectos, parâmetros e variáveis merecedoras de maiores considerações, dispõe de um conjunto de procedimentos com potencialidade à integração de informações relativas a qualquer cavidade avaliada.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Entre 2007 e 2008 o CECAV, atual Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, unidade descentralizada do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, voltada à pesquisa e conservação das cavidades naturais subterrâneas; trabalhou na elaboração e consolidação de uma proposta metodológica para classificação do nível de relevância das cavidades direta ou indiretamente afetadas por empreendimentos potencialmente poluidores ou degradadores do meio ambiente. Esta proposta atuaria como referência à realização dos estudos espeleológicos que, baseados em exigências legais, congregam dados e informações voltadas à caracterização das cavidades envolvidas em processos de licenciamento ambiental.

Princípios norteadores

Os princípios básicos originalmente adotados na elaboração desta proposta metodológica de análise de relevância de cavidades naturais subterrâneas são:

- Não existem cavidades irrelevantes. Toda e qualquer cavidade efetivamente apresenta algum nível de relevância e assim deve ser considerada.
- A classificação das cavidades deve ser prioritariamente realizada para aquelas que serão direta ou indiretamente afetadas por empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental. Ainda que, sua aplicação também seja indicada ao atendimento de medidas compensatórias ou às cavidades cujos recursos estejam em situação de preservação ou conservação.
- Os procedimentos de análise e avaliação de relevância das cavidades devem ser dinâmicos e claros, além de apresentarem possibilidade permanente de revisão, atualização, adequação e aperfeiçoamento.
- A proposta deve ter, ao menos inicialmente, aplicabilidade nacional. Ainda que, avanços tecnológicos, novas prospecções e maior aporte informacional sobre as cavidades favoreçam implementar ajustes, promover adaptações metodológicas ou construir novas metodologias de avaliação da relevância de cavidades que destaque, especialmente, especificidades temáticas ou variações regionais e locais.
- Existem cavidades cuja peculiaridade de suas características as vocaciona à preservação, a despeito de todo e qualquer empreendimento com que ela venha concorrer.
- Algumas cavidades são potencialmente sujeitas ao uso ou à exploração de seus recursos. Desde que sejam devidamente avaliadas, classificadas e que sejam cumpridas as exigências de compensação firmadas pelo licenciamento ambiental.
- Além de ser avaliada individualmente sob seus múltiplos aspectos, com destaque aos bióticos, abióticos, antrópicos, históricos, culturais e inter-relacionais, toda cavidade deve ser considerada sob diferentes escalas de análise, com destaque à avaliação sob os enfoques local, microrregional e regional.
 - Por enfoque local, entende-se a avaliação dos dados referentes à cavidade propriamente dita.
 - O enfoque microrregional compreende as avaliações que envolvem as relações da cavidade com o ambiente no qual ela se insere ou sua área de influência¹.
 - O enfoque regional considera as relações existentes entre a cavidade e a unidade espeleológica² na qual se insere além do nível de reconhecimento apresentado pela cavidade.

¹ Área de influência – ambiente de entorno à cavidade que exerce influência direta na sua manutenção.

² Região espeleológica – área com homogeneidade fisiográfica delimitada por um conjunto de fatores ambientais específicos para sua formação (Modificado a partir da IN MMA 002/2009).

Idealização

Contando com o apoio técnico-científico de profissionais especializados nas áreas da biologia subterrânea, geoespeleologia, hidrogeologia, topografia e uso histórico, turístico e religioso de cavernas e baseando-se em material bibliográfico e trabalhos realizados por Auler, 2006; Auler & Piló, 2005 e 2006; Berbert-Born, 2006; FEAM, 2005 e Trajano, 2006; elaborou-se uma lista de aspectos, parâmetros e variáveis a serem considerados como representativos e definidores do nível de importância socioambiental, ou relevância, apresentada pelas cavidades.

Buscando-se: minimização da subjetividade na avaliação das cavidades; transparência no processo de integração de informações; padronização dos procedimentos de análise; comparabilidade de resultados; e a possibilidade de repetição e aperfeiçoamento permanente dos procedimentos adotados; definiu-se que a integração e análise dos dados baseiem-se em procedimentos quantitativos, com dados tabulares computados segundo o Processo de Análise Hierárquica – AHP (Eastman et al., 1995), técnica estatística de apoio à decisão que, se utilizando de avaliações multicritério, orienta a definição dos pesos a serem atribuídos aos temas considerados.

A proposta metodológica inicialmente elaborada (Oliveira-Galvão et al., 2007) foi sistematizada, amplamente divulgada, a partir do *site* do CECAV e submetida à críticas e sugestões externas ao Centro, com a utilização da criação de um grupo de discussão em rede social.

Construção

Os parâmetros e variáveis inicialmente elencados foram aperfeiçoados, com inclusões, exclusões, substituições e agrupamentos, a partir da contribuição de diversos atores, com destaque aos profissionais que participaram ativamente da lista de discussão virtual criada para este fim: <http://www.criterio_de_relevancia_cavernas@yahoogrupos.com.br>.

Nesta lista, a despeito da adesão ou não aos propósitos ou procedimentos propostos, vários profissionais firmaram temas e condições considerados essenciais para a avaliação da relevância das cavidades, resultando em colaborações consideradas e, parcial ou integralmente, aderidas à proposta metodológica inicialmente produzida.

A lista de discussão esteve em atividade de fevereiro de 2008 a abril de 2009, com relevante troca de mensagens referentes às críticas e sugestões restrita ao período entre abril e novembro de 2008. Com base nas contribuições e discussões promovidas neste intervalo de tempo, foram produzidas duas versões resultantes do aperfeiçoamento da proposta inicialmente elaborada: Oliveira-Galvão et al., 2008^a e Oliveira-Galvão et al., 2008^b, ambas igualmente disponibilizadas à consulta e crítica, tanto a partir do site do CECAV, quanto pelo grupo de discussão.

Segundo a metodologia proposta, os dados identificados e selecionados como mais representativos do nível de relevância das cavidades foram agrupados e hierarquizados em: enfoques, aspectos, parâmetros e variáveis ou temas.

Finalização

A técnica AHP utilizada para obtenção dos pesos a serem atribuídos às variáveis que compõem cada parâmetro, conta com o apoio operacional do programa IDRISI (Clark University, 1999). Sua utilização gera autovetores com razão de consistência inferior a 0,10 e o mínimo de 90% de acerto nas inter-relações (Saaty, 1977). Aplicação que proporciona uma avaliação par a par das variáveis que compõem cada um dos parâmetros selecionados.

O formato de preenchimento das matrizes de análise da inter-relação é exemplificado pela tabela 1. No preenchimento desta matriz de dados, responde-se ao seguinte questionamento: “Tendo por fim a identificação de relevância de uma cavidade natural subterrânea, qual informação é mais importante e o quanto ela é mais importante do que as demais na composição dos “parâmetros gerais” referentes aos aspectos bióticos da referida cavidade?”.

Os autovetores gerados pelo AHP assumem valores percentuais utilizados como contribuições relativas a cada variável para a composição de determinado parâmetro. A tabela 2 revela a exemplificação destes resultados.

Tabela 1 – Matriz de inter-relação par a par das variáveis que compõem os “Parâmetros gerais” relativos aos aspectos bióticos.

Variável	Abrigos	Interação trófica	Agentes patogênicos	Domínios bióticos	Organismos com função ecológica importante	Localidade Tipo
Abrigos	1	-	-	-		
Interação trófica	2	1	-	-		
Agentes patogênicos	2	0.5	1	-		
Domínios bióticos	2	2	2	1		
Organismos com função ecológica importante	2	2	2	2	1	
Localidade Tipo	2	2	2	2	0.5	1

Obs. Os valores preenchidos dizem respeito à importância assumida pelo tema linha com relação ao tema coluna. Onde o valor “1” revela igual importância entre linha e coluna. O valor máximo a ser assumido é “9”, revelando o tema linha como extremamente mais importante do que o tema disposto na coluna avaliada. O valor “0,11” (1/9) aponta a situação cujo tema linha é extremamente menos importante do que o tema coluna.

Tabela 2 – Autovetores e contribuições definidas, com Razão de Consistência 0,04, para a integração das variáveis na composição dos “Parâmetros gerais” relativos aos aspectos bióticos.

Enfoque local		
Aspectos bióticos		
Parâmetros ambientais		
Variáveis de composição	Autovetor	Contribuição
Abrigos	0,0866	9
Interação trófica	0,1375	14
Agentes patogênicos	0,1092	11
Domínios bióticos	0,1733	17
Organismos com função ecológica importante	0,2751	27
Localidade Tipo	0,2183	22

A tabulação dos dados proposta pelo modelo dispõe de um campo denominado “Resposta”, onde é registrado o comportamento apresentado pelas variáveis consideradas. Este comportamento é associado a diferentes pesos onde, o que revela maior relevância é vinculado ao peso máximo - 3 (três) e aquele que demonstra menor relevância é definido como peso mínimo - 0 (zero).

Ajuste

A significativa alteração do marco regulatório de proteção das cavidades naturais subterrâneas, ocorrida no decorrer do processo de elaboração da proposta metodológica de avaliação da relevância de cavidades, determinou que fossem firmadas considerações complementares e feitas algumas adaptações à proposta inicialmente desenvolvida. Dessa forma, foram aderidas e firmadas as seguintes premissas:

- Apenas as cavidades de relevância máxima são protegidas de forma incontestável.
- Além da relevância máxima, as cavidades podem ser classificadas entre os níveis de relevância: alto, médio e baixo.
- As cavidades que não se enquadram como de relevância máxima estão sujeitas a estudos que se baseiam nos enfoques locais e regionais.
- A exploração ou supressão de qualquer cavidade não se vincula ou subordina à dimensão, extensão ou temporalidade do impacto a ser imposto, às características ou mesmo à relevância do empreendimento.
- Todo e qualquer impacto pode ser imposto às cavidades que não se enquadram como de máxima relevância, desde que sejam atendidas as medidas compensatórias legalmente firmadas.

3. RESULTADOS

O procedimento metodológico ora proposto contempla o levantamento, a análise e avaliação dos Aspectos mais diretamente afetos às cavernas, tanto considerados sob o Enfoque local como regional. Contando com a identificação dos principais Parâmetros e Variáveis a serem considerados, a identificação do comportamento apresentado - Resposta e a ponderação a ser atribuída às variações observadas - Peso. Tal procedimento envolve também a identificação da participação relativa a cada Variável - Contribuição, a ser adotada para a construção do Parâmetro que lhe é correspondente (Tabela 3).

Tabela 3 – Enfoques, aspectos, parâmetros, temas e respectivas variações, pesos e contribuições associadas à modelagem dos dados para identificação do nível de relevância ambiental de cada cavidade.

Enfoque local ³			
Aspectos bióticos da cavidade			
Parâmetros gerais	Resposta	Peso	Contribuição (%)
Abrigos com condições propícias ao estabelecimento de populações ou colônias cavernícolas	Presença	3	9
	Ausência	0	
Interação trófica incomum	Presença	3	14
	Ausência	0	
Agentes patogênicos	Presença	3	11
	Potencial	2	
	Ausência	0	
Domínios bióticos	Acima de 5	3	17
	De 4 a 5	2	
	De 2 a 3	1	
	1	0	
Organismos com função ecológica importante	Presença	1	27
	Ausência	0	
Localidade Tipo	Presença	3	22
	Ausência	0	

continua...

³ Agregam-se aí as definições anteriormente apresentadas como abrangência do enfoque local e micro-regional.

Enfoque local⁴			
Aspectos bióticos da cavidade			
Parâmetros relativos aos organismos vertebrados	Resposta	Peso	Contribuição (%)
Informação disponível	Insuficiente	3	37
	Suficiente	1	
	Sem vertebrados	0	
Táxons novos	Presença	3	11
	Ausência	0	
Troglomorfismo ou indicação de processos evolutivos	Presença	3	8
	Ausência	0	
Abundância de indivíduos	Alta	3	4
	Média	2	
	Baixa	1	
	Muito baixa	0	
Riqueza de espécies	Alta	3	7
	Média	2	
	Baixa	1	
	Muito baixa	0	
Composição singular	Presença	3	6
	Ausência	0	
Troglóbios	Presença	3	9
	Ausência	0	
Troglófilos	Presença	3	3
	Ausência	0	
Troglóxenos obrigatórios	Presença	3	9
	Ausência	0	
Espécies migratórias	Presença	3	6
	Potencial	2	
	Ausência	0	
Parâmetros relativos aos organismos invertebrados	Resposta	Peso	Contribuição (%)
Informação disponível	Insuficiente	3	37
	Suficiente	1	
	Sem invertebrados	0	
Táxons novos	Presença	3	17
	Ausência	0	
Troglomorfismo ou indicação de processos evolutivos	Presença	3	9
	Ausência	0	
Abundância de indivíduos	Alta	3	5
	Média	2	
	Baixa	1	
	Inexistência	0	
Riqueza de espécies	Alta	3	8
	Média	2	
	Baixa	1	
	Inexistência	0	
Troglóbios	Presença	3	13
	Ausência	0	
Troglófilos	Presença	3	4
	Ausência	0	
Troglóxenos obrigatórios	Presença	3	7
	Ausência	0	
Enfoque local			
Aspectos abióticos da cavidade			
Parâmetros espeleométricos	Resposta	Peso	Contribuição (%)
Projeção horizontal	Elevada	3	12
	Mediana	2	
	Baixa	1	
	Muito baixa	0	
Desenvolvimento linear	Elevado	3	12
	Mediano	2	
	Baixo	1	
	Muito baixo	0	

continua...

⁴ Agregam-se aí as definições anteriormente apresentadas como abrangência do enfoque local e micro-regional.

Enfoque local			
Aspectos abióticos da cavidade			
Parâmetros espeleométricos	Resposta	Peso	Contribuição (%)
Área	Elevada	3	19
	Mediana	2	
	Baixa	1	
	Muito baixa	0	
Volume	Elevado	3	25
	Mediano	2	
	Baixo	1	
	Muito baixo	0	
Excepcionalidade espeleométrica	Presença	3	32
	Ausência	0	
Parâmetros morfológicos ou genéticos	Resposta	Peso	Contribuição (%)
Padrão planimétrico	Muito raro	3	24
	Raro ou anômalo	2	
	Comum	0	
Geometria das seções	Presença de feições raras ou excepcionais	3	14
	Ausência de feições raras ou excepcionais	0	
Estruturas espeleogenéticas	Presença significativa de espeleogens raros para a litologia	3	28
	Presença de espeleogens raros para a litologia	2	
	Presença significativa de espeleogens	1	
	Espeleogens sem destaque ou ausentes	0	
Estruturas geológicas de interesse científico	Presença estrutura geológica de interesse científico	3	34
	Ausência de estrutura geológica de interesse científico	0	
Parâmetros hídricos ou hidrogeológicos	Resposta	Peso	Contribuição (%)
Água de percolação	Presença com valor significativo para o sistema hídrico	3	19
	Presença com valor significativo restrito à cavidade	2	
	Presença sem valor significativo	1	
	Ausência	0	
Água de condensação	Presença com valor significativo para a cavidade	3	11
	Presença sem valor significativo para a cavidade	1	
	Ausência	0	
Lago	Permanente e significativo em volume ou área para a cavidade	3	35
	Temporário e significativo em volume ou área para a cavidade	2	
	Pouco significativo para a cavidade	1	
	Ausência	0	
Drenagem subterrânea	Surgência ou presença significativa para o sistema hídrico	3	35
	Presença significativa apenas a cavidade	2	
	Presença hídricamente não significativa	1	
	Ausência	0	
Parâmetros relativos à sedimentação	Resposta	Peso	Contribuição (%)
Sedimentação química (espeleotemas)	Abundante	3	10
	Mediana	2	
	Pouco abundante	1	
	Ausente	0	
Variabilidade dos processos de sedimentação química	Elevada (3 tipos)	3	20
	Mediana (2 tipos)	2	
	Baixa (1 tipo)	1	
	Ausência	0	
Variabilidade dos espeleotemas	Acima de 10	3	20
	Entre 6 e 10	2	
	Entre 2 e 5	1	
	Ausente ou 1	0	
Dinâmica da sedimentação química	Ativa	3	13
	Inativa	0	
Raridade dos espeleotemas	Incomum (raro)	3	21
	Comum	0	

continua...

Enfoque local			
Aspectos abióticos da cavidade			
Parâmetros relativos à sedimentação	Resposta	Peso	Contribuição (%)
Sedimentação clástica	Com potencial ou valor científico	3	16
	Ausente ou sem potencial ou valor científico	0	
Enfoque local			
Aspectos antrópicos da cavidade			
Parâmetros culturais	Resposta	Peso	Contribuição (%)
Importância etnográfica material	Presença	3	33
	Ausência	0	
Importância etnográfica imaterial	Presença	3	33
	Ausência	0	
Prática religiosa	Periódica ou sistemática	3	20
	Esporádica ou casual	2	
	Ausente	0	
Reconhecimento do valor estético ou cênico	Presença	3	14
	Ausência	0	
Parâmetros relativos ao uso	Resposta	Peso	Contribuição (%)
Uso educacional ou de lazer	Periódico ou sistemático	3	14
	Esporádico ou casual	1	
	Sem utilização	0	
Uso turístico	Periódico ou sistemático com Plano de Manejo	3	19
	Periódico ou sistemático sem Plano de Manejo	2	
	Esporádico ou casual	1	
	Sem utilização	0	
Estudo continuado ou monitoramento científico	Presença	3	24
	Ausência	0	
Exploração mineral	Ausência	3	11
	Potencial	2	
	Eventual	1	
	Sistemática ou intensiva	0	
Uso para captação de recursos hídricos	Coletivo	3	32
	Familiar	2	
	Potencial	1	
	Sem utilização	0	
Enfoque local			
Aspectos ambientais da cavidade			
Parâmetros diversos	Resposta	Peso	Contribuição (%)
Estado de conservação da cavidade	Preservada	3	50
	Pouco alterada	2	
	Alterada	1	
	Degradada	0	
Domínios ambientais da cavidade	Acima de 4	3	50
	3 ou 4	2	
	2	1	
	1	0	
Enfoque local			
Aspectos históricos da cavidade			
Parâmetros arqueológicos ou paleontológicos	Variação	Peso	Contribuição (%)
Registros paleontológicos	Presença ou potencial	3	50
	Ausência	0	
Registros ou estruturas arqueológicas	Presença ou potencial	3	50
	Ausência	0	
Enfoque local			
Aspectos relativos às inter-relações			
Parâmetros relacionais	Variação	Peso	Contribuição (%)
Inter-relação da cavidade com a estabilidade estrutural do afloramento/maciço ou estrutura encaixante	Elevada	3	25
	Mediana	2	
	Baixa	1	
	Sem relação	0	

continua...

Enfoque local			
Aspectos relativos às inter-relações			
Parâmetros relacionais	Varição	Peso	Contribuição (%)
Inter-relação energética da cavidade com o ambiente externo	Elevada	3	32
	Moderada	2	
	Baixa	1	
	Sem relação	0	
Interconexão da cavidade com outras do afloramento, maciço ou estrutura encaixante	Presente	3	19
	Ausente	0	
Estado de conservação da área de influência	Preservado	3	12
	Levemente alterado	2	
	Alterado	1	
	Degradado	0	
Inter-relação da cavidade com alguma de relevância máxima	Presente	3	12
	Ausente	0	
Enfoque local			
Aspectos relativos à singularidade da cavidade no afloramento			
Parâmetros de representatividade	Resposta	Peso	Contribuição (%)
Singularidade dos vertebrados da cavidade com o universo de cavidades do mesmo afloramento	Singular	3	25
	Comum	1	
	Não se aplica	0	
Singularidade dos invertebrados da cavidade com o universo de cavidades do mesmo afloramento	Singular	3	25
	Comum	1	
	Não se aplica	0	
Singularidade abiótica da cavidade com o universo de cavidades do mesmo afloramento	Singular	3	50
	Comum	1	
	Não se aplica	0	
Enfoque regional⁵			
Aspectos relativos à água			
Parâmetros hídricos ou hidrogeológicos	Varição	Peso	Contribuição (%)
Inter-relação da cavidade com a dinâmica hidrogeológica	Elevada	3	50
	Mediana	2	
	Baixa	1	
	Ausente	0	
Inter-relação da cavidade com a dinâmica hídrica da microbacia	Elevada	3	50
	Mediana	2	
	Baixa	1	
	Ausente	0	
Enfoque regional			
Aspectos relativos à singularidade da cavidade frente a outras regiões espeleológicas ou unidades geológicas			
Parâmetros bióticos e abióticos	Resposta	Peso	Contribuição (%)
Singularidade biótica com afloramentos de outras unidades espeleológicas	Singular	3	50
	Comum	0	
Singularidade abiótica com afloramentos de outras unidades espeleológicas	Singular	3	50
	Comum ou inexistente	0	
Enfoque regional			
Aspectos relativos ao nível de reconhecimento da cavidade			
Parâmetros qualificantes	Resposta	Peso	Contribuição (%)
Reconhecimento de relevância pela comunidade espeleológica	Efetivo	3	50
	Inexistente	0	
Reconhecimento de relevância pela comunidade acadêmica	Efetivo	3	50
	Inexistente	0	

Os Parâmetros são individualmente construídos a partir do comportamento revelado pelas Variáveis ou temas que os compõem, segundo a Tabela 3. Contando com o somatório dos produtos resultantes da Contribuição e Peso respectivamente correspondentes às variáveis consideradas.

⁵ Enfoque Regional: considera a sua unidade espeleológica, a área com homogeneidade fisiográfica delimitada por um conjunto de fatores ambientais específicos para sua formação (Modificado a partir da IN MMA 002/2009).

O nível de relevância da cavidade é alcançado a partir dos resultados numéricos obtidos pelos parâmetros e aspectos avaliados. Onde, apenas resultados que ultrapassem a 30% do valor potencial máximo, são considerados para fins de avaliação da relevância. Como cada aspecto apresenta composição distinta, a identificação dos valores a serem considerados significativos para cada um deles é apresentada pela tabela 4.

Tabela 4 – Resultados considerados minimamente significativos para os aspectos, após o somatório dos produtos (peso e contribuição) obtidos dos temas a ele relacionados.

Aspectos de Enfoque Local	Parâmetros	Valor mínimo	Aspectos de Enfoque Regional	Parâmetros	Valor mínimo
Bióticos	Gerais	300	Água	Hídricos e hidrogeológicos	100
	Vertebrados				
	Invertebrados				
Abióticos	Espeleométricos	400	Singularidade	Bióticos e abióticos	100
	Morfológicos e genéticos				
	Hídricos e hidrogeológicos				
	Sedimentação				
Antrópicos	Culturais	200	Reconhecimento	Qualificantes	100
Uso					
Ambientais	Diversos	100			
Históricos	Arqueológicos e paleontológicos	100			
Inter-relação	Relacionais	100			
Singularidade	Representatividade	100			

As cavidades avaliadas de acordo com o comportamento apresentado por seus aspectos e parâmetros, segundo a tabela 4, terão suas contribuições consideradas de acordo com a tabela 5 e classificadas segundo o grau de relevância disposto pela tabela 6.

Tabela 5 – Classificação do nível de importância relativa aos parâmetros avaliados sob os enfoques local e regional.

Qualificação da importância	Número de aspectos significativos		Número de parâmetros significativos	
	Local	Regional	Local	Regional
Acentuada	4 a 7	3	7 a 13	3
Significativa	1 a 3	1 a 2	1 a 6	1 e 2
Baixa	0	0	0	0

Tabela 6 – Classes de relevância resultantes da avaliação dos níveis de importância assumidos pelos aspectos e parâmetros, dentre os níveis de enfoque considerados.

Aspectos ou parâmetros	Enfoque local	Enfoque regional	Classe de Relevância
Nível de Importância	Acentuada	Acentuada	Alta
	Acentuada	Significativa	Alta
	Significativa	Acentuada	Alta
	Acentuada	Baixa	Média
Nível de Importância	Baixa	Acentuada	Média
	Significativa	Significativa	Média
	Significativa	Baixa	Média
	Baixa	Significativa	Média
	Baixa	Baixa	Baixa

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso ou a exploração dos recursos cavernícolas e, especialmente, a supressão de cavidades devem ser precedidos de:

- estudos interdisciplinares minuciosos, com registros bibliográficos, cartográficos e fotográficos detalhados da cavidade e extensivos ao afloramento e ao aquífero que lhe são correspondentes;

- inventário, salvamento (resgate, transporte, destinação), manutenção e responsabilização por acervo de vestígios arqueológicos e paleontológicos, espeleotemas, elementos geológicos representativos do ecossistema cavernícola e amostras dos espécimes originalmente presentes na cavidade.

A presente proposta apresenta um modelo de análise e avaliação de cavidades naturais subterrâneas, baseado na inserção e integração de dados e informações temáticas variadas. Tendo como principais características: a transparência, no reconhecimento dos temas utilizados e na ponderação atribuída aos aspectos, parâmetros e comportamentos considerados; e a reprodutibilidade de sua aplicação. Condições que potencializam a implementação de ajustes nas diferentes etapas de seu processamento: alimentação de dados, integração de informações e produção de resultados.

Diante da complexidade temática e do dinamismo espacial e temporal característicos das cavidades naturais subterrâneas, sugere-se a realização de testes e a adequação do modelo ora apresentado às mais diferentes condições observadas em campo. Tomando como base dados com suficiência amostral que garantam boa representatividade dos resultados.

Sugere-se ainda que:

- Toda e qualquer cavidade só seja submetida a impactos devidamente mitigados e associados a medidas compensatórias adequadas.
- O uso e a exploração dos recursos cavernícolas observem a relação existente entre o nível de relevância da cavidade e a importância e abrangência econômica e social do empreendimento.
 - Restringindo-se o uso ou a exploração dos recursos das cavidades classificadas como de alta relevância, a casos de extremo apelo econômico, interesse social nacional e frente à absoluta impossibilidade de ser evitada.
 - Subordinando-se a supressão de cavidades de relevância média, o uso ou a exploração de seus recursos, ao atendimento de demandas de importância econômica e social de interesse regional e frente à absoluta impossibilidade de ser evitada.
- As medidas de compensação ambiental, oriundas de impactos irreversíveis impostos a cavidades, revertam-se integralmente à proteção do patrimônio espeleológico nacional. Com destaque à criação e manutenção de Unidade de Conservação em área que apresente cavidade e afloramento com atributos semelhantes, mesma litologia e região espeleológica ou Unidade geológica.
- A execução de obras que minimizem os impactos impostos aos aquíferos, associados a cavidades exploradas ou suprimidas, e dêem sustentabilidade à manutenção da qualidade e quantidade do fluxo hídrico superficial das microbacias afetadas.

O Anexo 1 apresenta os atributos que, firmados pelo Decreto 6.640/2008, condicionam a identificação de qualquer cavidade natural subterrânea como pertencente à classe de Relevância Máxima. Enquanto, o Anexo 2 descreve brevemente os temas ora apresentados e sugeridos para fins da identificação de Relevância Alta, Média e Baixa das cavidades a serem avaliadas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos profissionais que participaram da elaboração desta proposta: André Luiz de Moura Cadamuro; Carlos Alexandre Fortuna; Cristiano Fernandes Ferreira; Daniela Cunha Coelho; Franciane Jordão da Silva; Guilherme Vendramini Pereira; Júlio César Fonseca Linhares; Renata Membribes Rossato e Rita de Cássia Surrage de Medeiros. Assim como a todos aqueles ajudaram, com críticas e sugestões, ao seu aperfeiçoamento, como a equipe técnica do CECAV e os participantes da lista de discussão virtual, encerrada em 2009:

<http://www.criterio_de_relevancia_cavernas@yahoogrupos.com.br>.

6. REFERÊNCIAS

AULER, A. Relevância de cavidades naturais subterrâneas – contextualização, impactos ambientais e aspectos jurídicos. In: *MME. Projeto BRA/01/039 apoio à reestruturação do setor energético*. Brasília, 2006. relatório 1.

AULER, A.; PILÓ, L. B. *Uma nova proposta para análise de relevância espeleológica*. Relatório inédito. 2005. Disponível em <www.carste.com.br>. Acesso em: jun. 2008.

_____. *Relevância de cavernas: cenário ambiental, jurídico e proposta de modelo de análise*. s.n.t. Apresentado no 9º encontro técnico do CECAV, Brasília, 20 - 29 de novembro de 2006. (Arquivo pdf, 98p., 11,72MB).

BERBERT-BORN, M. *Levantamentos espeleológicos regionais*. Brasília: CPRM, 2006. Apresentado no: 9º encontro técnico do CECAV, Brasília, 20 - 29 de novembro de 2006. (Arquivo pdf, 70p., 8,27MB).

BRASIL. *Decreto nº 6.640*, de 7 de novembro de 2008. Modifica o Decreto 99556/1990. DOU de 10/11/2008.

BRASIL. *Decreto nº 99.556*, de 1º de outubro de 1990. Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no Território Nacional. DOU de 02/10/1990.

BRASIL. MMA. *Instrução Normativa nº2*, de 20 de agosto de 2009. DOU de 21/08/2009.

CLARK UNIVERSITY. *Help on line of IDRISI*. Worcester, 1999. CD-Rom produzido por Clark University.

EASTMAN, J. R.; JIN, W.; KYEM, P.A K.; TOLEDANO, J. Raster procedures for mult-criteria/mult-objective decisions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.61, nº.5, p.539-597, 1995.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (FEAM-MG). *Termo de referência para elaboração de Estudos de Impacto Ambiental para atividades minerárias em áreas cársticas no Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: FEAM, 2005. 26p.

OLIVEIRA-GALVÃO, A. L. C de; JANSEN, D. C.; COSTA NETO, J. F. da; MEDEIROS, R. de C. S. de. *Pré-proposta de procedimentos metodológicos para*

avaliação do nível de relevância das cavidades naturais subterrâneas. Brasília: CECAV, 2007. 51p.

OLIVEIRA-GALVÃO, A. L. C de; JANSEN, D. C.; COSTA NETO, J. F. da; MEDEIROS, R. de C. S. de. *Pré-proposta de procedimentos metodológicos para avaliação do nível de relevância das cavidades naturais subterrâneas*. 2ª Versão. Documento preliminar resultante da discussão pela lista: critérios_de_relevância_cavernas@yahoo grupos.com.br. Brasília: CECAV, 2008. 64p. (a)

_____. *Pré-proposta de procedimentos metodológicos para avaliação do nível de relevância das cavidades naturais subterrâneas*. 3ª Versão. Documento preliminar resultante da discussão pela lista: <critérios_de_relevância_cavernas@yahoo grupos.com.br>. Brasília: CECAV, 2008. 59p. (b)

SAATY, T. I. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*. v.15, p.234-281, 1977.

TRAJANO, E. *Critérios biológicos para estabelecimento de graus de relevância de sistemas subterrâneos*. São Paulo: USP, 2006. Apresentado no 9º encontro técnico do CECAV, Brasília, 20 - 29 de novembro de 2006. (Arquivo pdf, 48p., 2,76MB).

Anexo I

Descrição dos Atributos firmados pela legislação (Decreto 6.640/2008) como indicadores de cavidades de Relevância Máxima⁶.

Atributo considerado	Breve descrição
Gênese única ou rara	Cavidade que, no universo de seu entorno (escala local ou regional) e litologia apresente algum diferencial, com relação ao seu processo de formação e dinâmica evolutiva.
Morfologia única	Cavidade que, no universo de seu entorno (escala local ou regional) e sua litologia apresente algum diferencial em relação à forma, organização espacial das galerias e/ou feições morfológicas internas (espeleogens), considerando o todo ou parte da cavidade.
Dimensões notáveis em extensão, área e/ou volume	Cavidade que apresente em sua totalidade ou em parte dela, grande extensão (horizontal ou vertical), área ou volume relativo ao enfoque local ou regional.
Espeleotemas únicos	Cavidade que apresente espeleotemas, individualmente ou em conjunto, pouco comuns ou excepcionais, em tamanho, mineralogia, tipologia, beleza ou profusão, especialmente se considerados frente à litologia dominante da cavidade ou sob os enfoques territoriais considerados (local ou regional).
Isolamento geográfico	Cavidade inserida em ambientes onde não se têm registro de outras ocorrências
Abrigo essencial para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais	Cavidade inserida em ambiente onde não se tem registro de outras ocorrências ou remanescente de áreas degradadas, sob enfoque regional.
Hábitat essencial para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de troglóbios endêmicos ou relictos	Presença de espécie troglóbia com distribuição geográfica restrita (troglóbio endêmico). Presença de espécie troglóbia sem registro de parentes epígeos próximos (relicto filogenético), ou ainda, cujos parentes epígeos mais próximos se encontram em uma região geográfica distinta (relicto geográfico).
Hábitat de troglóbio raro	Presença de espécie troglóbia que apresente número reduzido de indivíduos, ou de distribuição geográfica restrita.
Interações ecológicas únicas	Ocorrência de interações ecológicas duradouras raras ou incomuns, incluindo interações tróficas, considerando-se o contexto ecológico- evolutivo.
Cavidade testemunho	Cavidade testemunho de processos ambientais ou paleoambientais expressivos ou cavidade com grau de relevância alto apontada como salvo conduto para liberação de impactos a outra cavidade.
Destacada relevância histórico-cultural ou religiosa	A ser definido pelo IPHAN.

⁶ Fonte: Brasil. MMA (2009).

Anexo II

Descrição das variáveis ou temas ora propostos.

Variável considerada	Breve descrição
Abrigos com condições propícias ao estabelecimento de populações ou colônias cavernícolas	Presença de feições e condições que favoreçam o uso ou a ocupação pela fauna cavernícola (ex. clarabóias, guano, plantas, ambientes úmidos ou com água, carcaças, animais mortos, serrapilheira, reentrâncias - fendas ou fraturas, bancos de sedimento, etc.)*
Interação trófica incomum	Ocorrência de evento trófico de ocorrência inesperada ou ainda sem citação técnico-científica (ex. rã comendo morcego)*
Agentes patogênicos	Vestígios ou presença de microorganismos causadores de doenças infecciosas ou parasitárias (ex. histoplasmose, etc.)*
Domínios bióticos	Ocorrência na caverna de regiões que apresentem diferenças com relação à presença ou concentração de indivíduos, colônias cavernícolas ou matéria orgânica*
Organismos com função ecológica importante	Presença de plantas, líquens, fungos, algas, bactérias ou outros microorganismos com função ecológica como produção, decomposição de matéria orgânica ou dissolução de minerais, ou de espécies polinizadoras, dispersoras de sementes, insetívoras, controladoras de pragas ou doenças* **
Localidade Tipo	Caverna citada como local geográfico de onde foi coletado o exemplar padrão de referência para descrição de determinada espécie*
Informação disponível	Informações técnico-científicas relativas a todos os aspectos elencados sobre os vertebrados e os invertebrados que se utilizam da caverna*
Táxons novos	Ocorrência de organismos pertencentes a táxons ainda não descritos na literatura científica*
Trogloformismo ou indicação de processos evolutivos	Ocorrência de organismos cujas características morfológicas, fisiológicas, ecológicas ou comportamentais revelem adaptação ao meio subterrâneo*
Abundância de indivíduos	Estimativa da quantidade de indivíduos de cada espécie, considerando vertebrados e invertebrados cujos adultos possuam tamanho corporal igual ou superior a 1 cm**
Riqueza de espécies	Estimativa do número de espécies presentes na caverna*
Composição singular	Ocorrência de populações estabelecidas de espécies de grupos pouco comuns ao ambiente cavernícola**
Troglóbios	Animais de ocorrência restrita ao ambiente subterrâneo*
Troglófilos	Animais que eventualmente se utilizam da cavidade*
Trogloxenos obrigatórios	Ocorrência de animais que necessariamente se utilizam da cavidade para completar o seu ciclo de vida**
Espécies migratórias	Utilização da cavidade por espécies migratórias**
Projeção horizontal	Soma da projeção horizontal dos eixos de desenvolvimento da cavidade e classificação do resultado em relação à média observada nas cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica**
Desenvolvimento linear	Soma da extensão das visadas topográficas, feitas respeitando-se as inclinações reais do relevo interno da cavidade e classificação do resultado com relação à média observada nas cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica*
Área	Comparação, em superfície, da área calculada da cavidade em relação às áreas calculadas ou estimadas de outras cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica**
Volume	Comparação do volume da cavidade sob análise em relação aos volumes calculados ou estimados de outras cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica**
Excepcionalidade espeleométrica	Ocorrência de alguma feição excepcional, dentre os parâmetros espeleométricos considerados*
Padrão planimétrico	Ocorrência de padrões raros ou anômalos para cavidades da mesma unidade espeleológica, com destaque aos casos de diversidade de feições internas*
Geometria das seções	Seções verticais genéticas cuja ocorrência não seja incomum à litologia e unidade espeleológica de ocorrência da cavidade*
Estruturas espeleogenéticas	Estruturas na rocha herdadas do processo de formação da cavidade (ex. scallops, bell holes, marmitas, meandros de teto, anastomoses pendentes, meios tubos, box work e assemelhados), padrões morfológicos ou seções geométricas, sob enfoque regional.)*
Estruturas geológicas de interesse científico	Estrutura sedimentar ou tectônica que a rocha matriz apresente e tenha importância científica (ex. contatos, tectonismo, mineralogia)**
Água de percolação	Infiltração de água através de poros, diáclases ou falhas e sua influência sobre o sistema hídrico e biótico**
Água de condensação	Umidade existente na atmosfera da caverna sob a forma condensada e sua influência sobre o sistema hídrico e biótico**
Lago	Corpo d'água, perene ou intermitente, presente na cavidade. Sua relação (influência e/ou contribuição) com a dinâmica hídrica e biológica local**
Drenagem subterrânea	Curso d'água, perene ou intermitente, presente na cavidade. Sua relação (influência e/ou contribuição) com a dinâmica hídrica e biológica local**
Sedimentação química (espeleotemas)	Abundância (estimativa da quantidade) de espeleotemas*
Variabilidade dos processos de sedimentação química	Identificação dos processos de sedimentação presentes na cavidade (água estagnada, circulante ou de exsudação) a partir dos espeleotemas*
Variabilidade dos espeleotemas	Quantidade de formas variadas de espeleotemas*
Dinâmica da sedimentação química	Situação de atividade ou inatividade dos espeleotemas*
Raridade dos espeleotemas	Formas de espeleotemas que se destacam por serem incomuns ou raras*

Variável considerada	Breve descrição
Sedimentação clástica	Interesse/importância científica ou didática (biológica, climática, paleoclimática, antropológica, paleontologia) da deposição de fragmentos desagregados de rochas, solos e outros acúmulos sedimentares, inclusive orgânicos, de tamanhos diversos, associada à dinâmica hidrológica, morfológica, ou da deposição secundária de minerais presentes em solução**
Importância etnográfica material	Existência (construção ou adaptação) de altares, tumbas, muretas, bancadas, etc. que revelem o uso por comunidades religiosas, grupos étnicos ou assemelhados*
Importância etnográfica imaterial	Mitos, lendas, rituais ou fatos histórico-culturais que se associem à caverna*
Prática religiosa	Ocorrência de rituais associados à caverna*
Reconhecimento do valor estético ou cênico	Importância paisagística atribuída à cavidade*
Uso educacional ou de lazer	Ocorrência de visitação por grupo de usuários com interesse específico à investigação ou exploração espeleológica, recreação ou esporte*
Uso turístico	Visitação de interesse difuso*
Estudo continuado ou monitoramento científico	Acompanhamento sistemático de aspectos dinâmicos, bióticos ou abióticos*
Exploração mineral	Ocorrência de minérios ou minerais de interesse econômico*
Uso para captação de recursos hídricos	Atividade de captação de água*
Estado da conservação da cavidade	Situação ambiental da cavidade*
Domínios ambientais da cavidade	Diferentes feições integradas presentes na caverna (ex. níveis altimétricos, formas, tipos de condutos, condições microclimáticas, etc.)*
Registros paleontológicos	Fósseis de animais e vegetais (restos, vestígios)*
Registros ou estruturas arqueológicas	Grafismos, pinturas, gravuras, cerâmicas, ornamentos e outros artefatos que revelem o uso ou a ocupação humana pretérita*
Inter-relação da cavidade com a estabilidade estrutural do afloramento, maciço ou estrutura encaixante	Importância da cavidade na manutenção física do maciço que a sustenta*
Inter-relação energética da cavidade com o ambiente externo	Influência da cavidade sobre as demais estruturas e funções do sistema cárstico, inclusive sua importância para a manutenção da estabilidade estrutural do sistema (ex.: subsidências)*
Interconexão da cavidade com outras do afloramento, maciço ou estrutura encaixante	Condutos ou micro-condutos que interliguem cavidades*
Estado de conservação da área de influência	Situação ambiental do entorno onde alterações ocorridas afetam diretamente a manutenção da cavidade*
Inter-relação da cavidade com alguma de relevância máxima	Sobreposição de áreas de influência**
Singularidade dos vertebrados da cavidade com o universo de cavidades do mesmo afloramento	Especificidade, endemismo ou representatividade do conjunto de vertebrados identificados na cavidade, se comparados aqueles também encontrados no mesmo afloramento ou maciço de ocorrência da cavidade*
Singularidade dos invertebrados da cavidade com o universo de cavidades do mesmo afloramento	Especificidade, endemismo ou representatividade do conjunto de invertebrados identificados na cavidade, se comparados aqueles também encontrados no mesmo afloramento ou maciço de ocorrência da cavidade*
Singularidade abiótica da cavidade com o universo de cavidades do mesmo afloramento	Especificidade ou representatividade das feições abióticas identificados na cavidade, se comparadas aquelas também encontrados no mesmo afloramento ou maciço de ocorrência da cavidade*
Inter-relação entre a cavidade com a dinâmica hidrogeológica	Nível de participação da cavidade na manutenção ou na dinâmica do aquífero ou do lençol freático*
Inter-relação entre a cavidade e os recursos hídricos da microbacia	Nível de participação da cavidade na manutenção ou na dinâmica de sua bacia hidrográfica
Singularidade biótica com cavidades de outras unidades espeleológicas	Especificidade ou representatividade dos elementos bióticos identificados na cavidade, se comparados aqueles também encontrados nas cavidades dos demais afloramentos ou maciços distribuídos pela mesma unidade espeleológica*
Singularidade abiótica com cavidades de outras unidades espeleológicas	Especificidade ou representatividade das feições abióticas identificadas na cavidade, se comparadas aquelas também encontradas nas cavidades dos demais afloramentos ou maciços distribuídos pela mesma unidade espeleológica*
Reconhecimento de relevância pela comunidade espeleológica	Admissão da relevância da cavidade por parte de entidades representativas e grupos de espeleologia
Reconhecimento de relevância pela comunidade acadêmica	Admissão da relevância da cavidade por parte de instituições acadêmicas que desenvolvem atividades espeleológicas

* Modificada a partir de Oliveira-Galvão et al., 2008b.

**Modificada a partir de Brasil. MMA. IN 02/2009.