

Mauro Gomes

Proposta metodológica para
identificação de áreas vulneráveis
para a conservação do patrimônio
espeleológico brasileiro.

XII Curso de Especialização em Geoprocessamento
2010



UFMG
Instituto de Geociências
Departamento de Cartografia
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha
Belo Horizonte
cartog@igc.ufmg.br

Mauro Gomes

**Proposta metodológica para identificação de áreas vulneráveis para a
conservação do patrimônio espeleológico brasileiro.**

Monografia apresentada como requisito parcial à
obtenção do grau de Especialista em
Geoprocessamento. Curso de Especialização em
Geoprocessamento. Departamento de Cartografia.
Instituto de Geociências. Universidade Federal de
Minas Gerais.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª Maria Márcia Magela Machado

BELO HORIZONTE

2010

Gomes, Mauro

Metodologia para identificação de áreas vulneráveis para a conservação do patrimônio espeleológico brasileiro./ Mauro Gomes - Belo Horizonte, 2010.

xiii, 54 f.: il.

Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. Departamento Cartografia, 2010.

Orientadora: Maria Márcia Magela

Machado

1. Análise multicritério 2. SIG 3. Patrimônio espeleológico 4. Cavernas. I Título.

*“Senhor conceda-me a força
para aceitar as coisas
que não posso mudar,
a coragem para mudar as que posso,
e a sabedoria
para distinguir uma das outras.”*

(Autor Desconhecido)

Agradecimentos

Agradeço a Deus, por guiar meus passos;

Aos meus pais e irmã, pela educação, pelos exemplos recebidos e também por sempre acreditarem no meu sucesso;

À Marina e ao Danilo, por suportarem bem a ausência do papai neste período e à Flávia pelo apoio incondicional e o estímulo de sempre;

Aos colegas do CECAV, em especial a Débora Jansen, pelo apoio e incentivo;

À Professora Maria Márcia Magela Machado pela orientação neste trabalho;

Aos colegas do Curso de Especialização em Geoprocessamento da UFMG pela valorosa troca de experiência e a agradável companhia neste período;

Ao Charles e ao Bráulio do IGC pelas dicas relacionadas às ferramentas de geoprocessamento.

Aluno (a) Mauro Gomes

Monografia defendida e aprovada em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento, em 23 de novembro de 2010, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

Prof.^a Dr.^a Maria Márcia Magela Machado

Prof. Dr. Sergio Donizete Faria

RESUMO

Este trabalho apresenta uma proposta metodológica de mapeamento da vulnerabilidade do patrimônio espeleológico aos impactos ambientais. A sistemática se insere no âmbito do Programa Nacional de Conservação do patrimônio espeleológico, criado pelo Ministério do Meio Ambiente, e tem como objetivo principal o desenvolvimento de uma estratégia nacional de conservação e uso sustentável do patrimônio espeleológico nacional. Para a identificação de áreas onde este patrimônio apresenta maior vulnerabilidade a impactos ambientais optou-se pela utilização da Análise Espacial em Sistemas de Informações Geográficas – SIG. A metodologia está baseada em análise multicritérios considerando diversos temas avaliados como preponderantes na conservação das áreas onde se encontram as cavidades naturais subterrâneas. O resultado final desta análise está sintetizado em um mapa de vulnerabilidade no qual são identificadas as cavernas a serem monitoradas pelo Programa Nacional.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xi
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Apresentação.....	1
1.2 – Objetivos	3
CAPÍTULO 2 – O CARSTE E AS CAVERNAS.....	4
2.1 – Características e fragilidade	4
2.2 – Impactos ambientais nas cavernas e no ambiente cárstico	6
2.3 – Legislação aplicável.....	10
2.4 – Atividades de monitoramento no ambiente cárstico	12
CAPÍTULO 3 – APA CARSTE DE LAGOA SANTA	15
3.1 – Caracterização da área de estudo	15
CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA E RESULTADOS	18
4.1 – Materiais.....	19
4.2 – <i>Softwares</i>	20
4.3 – Métodos.....	20
4.3.1 – Seleção das variáveis	20
4.3.2 – Elaboração dos mapas.....	20
4.3.2.1 – Mapa de uso e ocupação do solo	20
4.3.2.2 – Mapa de declividade	24
4.3.2.3 – Conversão de mapas vetoriais para matriciais	26
4.3.3 – Análise multicritérios	35
CAPÍTULO 5– CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
ANEXO 1 – Portaria N° 358 de 30 de setembro de 2009	46

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 – Representação do relevo cárstico	4
2.2 – Representação de uma área cárstica	5
3.1 – Mapa de localização da APA Carste de Lagoa Santa.....	16
4.1 – Fluxograma da estrutura geral da metodologia.....	18
4.2 – Mapa de uso e ocupação do solo da APA Carste de Lagoa Santa	23
4.3 – Mapa de declividade da APA Carste de Lagoa Santa	25
4.4 – Mapa de geologia da APA Carste de Lagoa Santa	28
4.5 – Mapa de geomorfologia da APA Carste de Lagoa Santa	29
4.6 – Mapa de vulnerabilidade natural de aquíferos da APA Carste de Lagoa Santa	30
4.7 – Mapa do potencial de ocorrência de cavernas da APA Carste de Lagoa Santa	31
4.8 – Mapa do zoneamento ambiental da APA Carste de Lagoa Santa	32
4.9 – Mapa dos polígonos minerários localizados na APA Carste de Lagoa Santa	33
4.10 – Mapa de solos da APA Carste de Lagoa Santa	34
4.11 – Mapa de vulnerabilidade a ações antrópicas do patrimônio espeleológico da APA Carste de Lagoa Santa	39

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 4.1: Tabela DELPHI 1 – Registro das notas dos atributos.....	35
Tabela 4.2: Tabela DELPHI 2 – Percentual de contribuição dos temas	38
Tabela 4.3: Classificação das cavidades conforme grau de vulnerabilidade.....	38

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

APA	Área de Proteção Ambiental
ASTER	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CECAV	Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DGI	Divisão de Geração de Imagem
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DWG	<i>Drawing</i>
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute, Inc.</i>
GDEM	<i>Global Digital Elevation Model</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
PDF	<i>Portable Document File</i>
PETAR	Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira
PI	Plano de Informação
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SHP	<i>Shape File</i>
SIG	Sistemas de Informações Geográficas

SNUC Sistema Nacional de Unidades de Conservação

TM *Thematic Mapper*

UC Unidade de Conservação

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Descobertas arqueológicas evidenciam que as cavidades naturais subterrâneas¹ vêm sendo utilizadas pelo ser humano desde a pré-história. Usadas como abrigo ou para cerimônias de sepultamento e rituais de cunhos religiosos ou espirituais muitas delas apresentam até os dias de hoje, o registro da passagem humana em seu interior ou arredores. Por se tratar, na maioria das vezes, de um ambiente com baixa taxa de umidade relativa, pouca iluminação e temperatura estável, as cavernas são ambientes favoráveis a conservação de vestígios arqueológicos. Como exemplo disto, tem-se que o esqueleto humano considerado como o mais antigo das Américas, com aproximadamente 11.000 anos de idade, foi encontrado no abrigo rochoso² Lapa Vermelha IV, em Lagoa Santa, Minas Gerais.

Diversas etnias indígenas ainda guardam especial relação com os ambientes cavernícolas. No estado do Mato Grosso, os Bororos sepultavam seus mortos em cavernas. Os Waurás do Alto Xingu explicam a origem do seu povo através do mito de Kamukuaká que é proveniente da caverna de Kamukuaká localizada à margem esquerda do rio Tamitotoala ou Batovi. Já os Nhambiquaras, para reviver as tradições de seus antepassados, alimentam-se de morcegos quando visitam anualmente as cavernas sagradas no extremo oeste do estado, próximo à divisa com Rondônia (LIMA, 2003).

No tocante às manifestações religiosas destacam-se verdadeiros santuários erguidos em cavernas que atraem multidões na época das romarias. Neste aspecto podem ser citadas a Lapa do Bom Jesus, a Gruta da Mangabeira e a Gruta dos Brejões na Bahia; Lapa de Antônio Pereira e Lapa Nova, ambas em Minas Gerais; Terra Ronca em Goiás e Gruta do Santuário em Mato Grosso.

¹ De acordo com a resolução CONAMA n° 347 de 10 de setembro de 2004, entende-se por cavidade natural subterrânea “... todo e qualquer espaço subterrâneo penetrável pelo ser humano, com ou sem abertura identificada, popularmente conhecido como caverna, gruta, lapa, toca, abismo, furna ou buraco, incluindo seu ambiente, seu conteúdo mineral e hídrico, as comunidades bióticas ali encontradas e o corpo rochoso onde as mesmas se inserem, desde que a sua formação tenha sido por processos naturais, independentemente de suas dimensões ou do tipo de rocha encaixante” (BRASIL, 2004).

² O termo “abrigo rochoso” também é considerado uma cavidade natural subterrânea, apesar de não constar no corpo da Resolução CONAMA 347/2004 (BRASIL, 2004).

Estudos realizados por Peter Wilhelm Lund, ainda no século 19, em depósitos fossilíferos encontrados nas cavernas de Minas Gerais formam a base das pesquisas sobre a paleontologia de vertebrados do Pleistoceno brasileiro e se revelaram fundamentais para o conhecimento taxonômico, anatômico e paleoecológico dos mamíferos quaternários do Brasil (AULER e PILÓ, 2010).

Muitas destas cavernas, devido a sua beleza cênica, são utilizadas como atrativos turísticos. Em várias partes do mundo a atividade turística em cavernas é um negócio que movimentava um elevado volume de recursos. No Brasil, destacamos o complexo do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira – PETAR, em São Paulo, e as Grutas da Lapinha, Rei do Mato e Maquine, em Minas Gerais, que possuem adaptações voltadas ao turismo de massa. Na Chapada de Ibiapaba, no Ceará, se encontra o Parque Nacional de Ubajara que também desenvolve atividades turísticas em caverna. Em Minas Gerais o Parque Nacional Cavernas do Peruaçu conta com um extraordinário complexo de cavidades que será aberto ao público em breve.

O cotidiano do ser humano também tem íntima relação com o ambiente onde se localizam as cavernas. A população de várias cidades ao redor do mundo tem a totalidade do seu abastecimento de água baseado em captações subterrâneas.

O calcário, item altamente demandado para correção de solo nas atividades agrícolas, provém das grandes jazidas encontradas em regiões com alta concentração de cavernas. Destas mesmas jazidas é extraída também a matéria prima que alimenta a indústria da construção civil, atividade em franca expansão no Brasil devido à estabilidade econômica dos últimos anos.

De acordo com a base de dados de localização das cavernas brasileiras³, mantida pelo Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – CECAV, existem 7.792 cavernas cadastradas em todo território nacional. Destas, apenas 3.302 (42% do total) se encontram dentro de Unidades de Conservação – UC (federais, estaduais ou municipais) e 1.290 (17%) estão localizadas nas zonas de amortecimento⁴ destas unidades, ou seja, cerca

³ A base de dados do CECAV é alimentada permanentemente com informações oriundas de outras bases de dados, estudos espeleológicos ligados aos processos de licenciamento ambiental, material bibliográfico e, especialmente, trabalhos de campo realizados por seus técnicos e analistas ambientais.

⁴ De acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC entende-se por “... Zona de Amortecimento o entorno de uma unidade de conservação, onde as atividades humanas estão sujeitas a normas e restrições específicas, com o propósito de minimizar os impactos negativos sobre a unidade.” (BRASIL, 2000).

de 40% das cavidades naturais subterrâneas conhecidas do país não se encontram sob a proteção de unidades de conservação (GALVÃO, JANSEN e LIMA, 2010).

Em virtude de tudo isto é necessário que as atividades antrópicas que afetem o equilíbrio deste delicado ecossistema estejam sob algum tipo controle. Esta preocupação tem merecido nos últimos anos crescente atenção da sociedade civil organizada e também do poder público.

Em 30 de setembro de 2009 o Ministério do Meio Ambiente – MMA através da Portaria nº 358 criou o Programa Nacional de Conservação do Patrimônio Espeleológico que define diversas linhas de ação visando o desenvolvimento de medidas de proteção e adequação ao uso das cavernas e seu entorno (MMA, 2009).

O cumprimento das determinações deste programa foi o fator motivador para o desenvolvimento deste trabalho.

1.2 Objetivos

Objetivo geral

Propor uma metodologia para a identificação de áreas vulneráveis a conservação do patrimônio espeleológico com a utilização de ferramentas de geoprocessamento em atendimento ao Programa Nacional de Conservação do Patrimônio Espeleológico.

Objetivo específico

Elaborar um mapa de vulnerabilidade do patrimônio espeleológico com a identificação e delimitação das áreas de maior susceptibilidade aos impactos ambientais na área de estudo escolhida para o desenvolvimento desta metodologia.

CAPÍTULO 2

O CARSTE E AS CAVERNAS

2.1 Características e fragilidades

Ao se analisar a importância que as cavernas têm na história da humanidade, há que se destacar a importância do ambiente no qual estão inseridas. Ele deve receber o mesmo grau de atenção, pois as cavidades não estão isoladas na paisagem, fazem parte de um relevo bastante particular denominado carste ou relevo cárstico.

O relevo cárstico tem como característica marcante o fato da rocha (normalmente calcários e dolomitos, mas também sal, gesso, arenitos e quartzitos) ser dissolvida por água ácida gerando feições como lapiás, dolinas, sumidouros, surgências, depressões fechadas e cavernas, dentre muitas outras (AULER, 2005). Outra característica marcante nesta forma de relevo é a baixa ocorrência de drenagem superficial, pois as características do terreno favorecem a percolação da água dando origem a complexos sistemas hidrológicos subterrâneos. Uma representação esquemática deste tipo de relevo é apresentada na Figura 2.1.

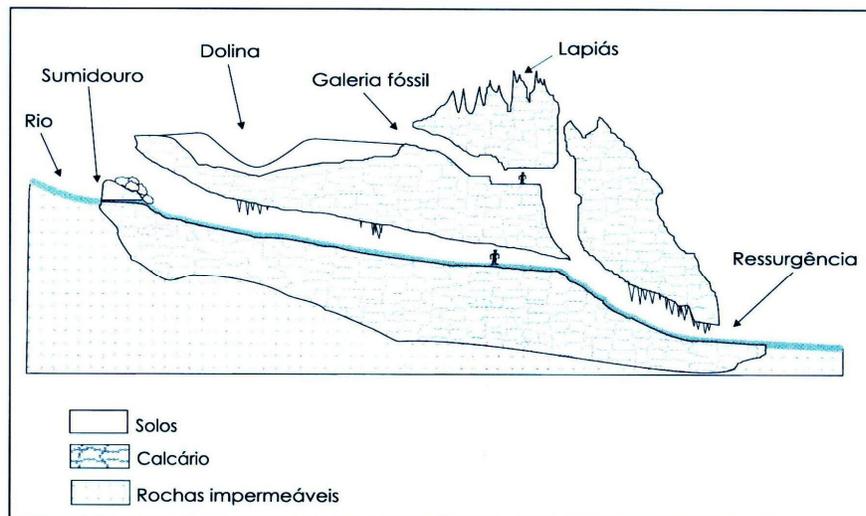


Figura 2.1: Representação do relevo cárstico (AULER, 2005).

O nome carste tem sua origem numa região calcária da fronteira entre a Eslovênia e a Itália denominada *Kras*, pelos eslovenos, e *Karst*, pelos alemães. A partir daí o termo se

internacionalizou, passando a designar todas as regiões que apresentam feições semelhantes (AULER, 2005).

A Figura 2.2 apresenta um exemplo do quanto o terreno cárstico é suscetível às alterações no ambiente provocadas pela interferência humana. Devido às suas características no aspecto hidrológico, onde a água se desloca de um ponto a outro de forma acelerada e sem muitos obstáculos, a propagação de materiais poluentes que por ventura venham a contaminar o solo é muito mais rápida se comparada a um sistema de drenagem sobre a superfície. Como as bacias de drenagem no carste não se limitam aos divisores de água superficial, a área de influência indireta de um determinado tipo de impacto ambiental pode atingir uma extensão expressiva.

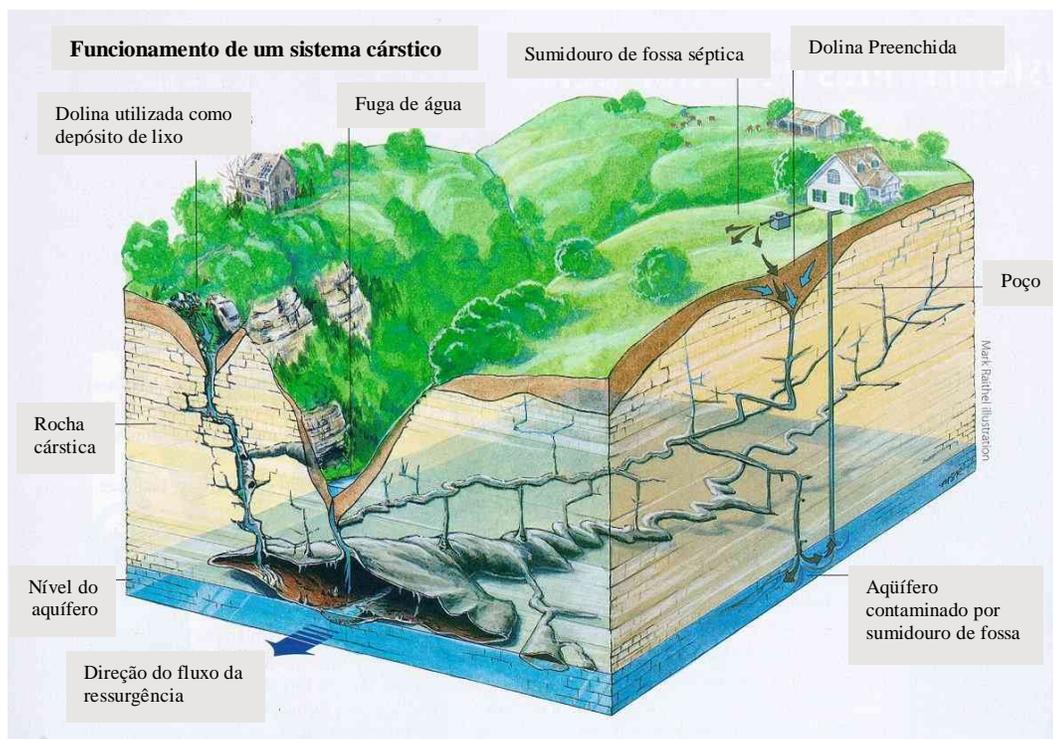


Figura 2.2: Representação de uma área cárstica que mostra a intercomunicação dos condutos, do aquífero cárstico e os problemas de contaminação da água subterrânea.

Fonte: http://www.courier-journal.com/blogs/bruggers/uploaded_images/KarstDiagram-70pct-730206.jpg

Pela própria dinâmica do terreno cárstico os abatimentos de solo são eventos comuns que podem ser agravados por causa do rebaixamento do lençol freático, ocupação irregular do solo, desmatamento, entre outros.

No tocante aos aspectos biológicos deve-se considerar a existência do elevado índice de endemismo das espécies cavernícolas, onde os organismos possuem alto grau de adaptação

ao meio subterrâneo. Entretanto, apesar de toda esta especialização, existe uma grande dependência do meio externo, pois é de lá que provém a maior parte dos nutrientes necessários a manutenção da vida nestes locais e pequenas alterações na superfície podem gerar mudanças drásticas no equilíbrio deste ecossistema (AULER e PILÓ, 2010).

FERREIRA (2010) destaca a importância de uma visão não antropocêntrica quando da análise da fragilidade do ambiente relacionado às cavernas, levando em consideração não apenas os espaços maiores, ou seja, aqueles que permitem a penetração do homem, mas também os micro espaços, como por exemplo, os interstícios e fendas na rocha ou o seu contato com o solo. Neste tipo de espaço caracterizado por uma sucessão de habitats subterrâneos desde a superfície até o interior de uma caverna, inúmeros organismos (especialmente os invertebrados) são capazes de circular e até mesmo estabelecer populações viáveis.

AULER (2005) aponta para a direção da pesquisa, da busca de conhecimento como resposta ao questionamento de como proteger as cavernas, suas belezas e ecossistemas. A Espeleologia, ciência-esporte que lida com a exploração e o estudo das cavernas, agrega em torno de si especialistas que desenvolvem procedimentos de mínimo impacto de modo que todos, especialistas ou não, possam usufruir das cavernas de maneira sustentável.

2.2 Impactos ambientais no ambiente cárstico

A Resolução CONAMA 01/1986 (CONAMA, 1986) apresenta a seguinte definição para impacto ambiental.

Artigo 1º - Para efeito desta Resolução, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II - as atividades sociais e econômicas;
- III - a biota;
- IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V - a qualidade dos recursos ambientais.

Segundo PILO (1999), esta definição considera apenas as alterações ocorridas no ambiente, não entrando no mérito da significância da alteração, ou seja, considera toda alteração como impacto.

FERREIRA (2010) ressalta que a análise do impacto ambiental em uma região com características cársticas não pode levar em consideração apenas os aspectos superficiais que normalmente são considerados nos estudos de impacto, pois existe uma relação intrínseca e dinâmica entre o endocarste e o exocarste.

Esta inter-relação, aliada a grande fragilidade do ecossistema cavernícola caracteriza o ambiente cárstico como uma região de extrema susceptibilidade aos impactos ambientais. Dependendo do tipo de impacto, o tamanho da sua área de influência pode ser potencializado por causa das características do carste e a sua velocidade de propagação nem sempre é compatível com as possíveis ações de controle.

Dentre as diversas atividades humanas que causam impacto às cavernas destacam-se:

Desmatamento: Este é considerado como um dos principais impactos indiretos ao carste. A supressão da vegetação fomentada pelo avanço da atividade agropastoril e o extrativismo vegetal, contribui de maneira efetiva para a aceleração dos processos erosivos levando ao assoreamento das cavernas e o entupimento dos condutos. Internamente estas modificações podem ainda gerar o alagamento ou a secagem de galerias. A retirada da vegetação na superfície dificulta a penetração da água no solo, o que pode inibir o gotejamento e o conseqüente desenvolvimento de espeleotemas. Os recursos tróficos do ambiente cavernícola têm origem, em quase sua totalidade, no exocarste. Este fato faz com que a teia alimentar hipógea seja fundamentada em detritos, havendo o predomínio de organismos decompositores neste tipo de sistema (SIMON, 2000; SOUZA-SILVA, 2003 *citado por* FERREIRA, 2010). Um exemplo típico de teia alimentar e sua dependência da vegetação do entorno das cavernas é aquela baseada no guano de morcego. A retirada da vegetação no entorno das cavernas causa uma diminuição das áreas de alimentação destes mamíferos gerando um desequilíbrio em sua população. Esta redução implica também na diminuição da quantidade de nutrientes depositados pelos morcegos no interior das cavidades, afetando diretamente as espécies que se alimentam do guano. As raízes vegetais que alcançam o interior das cavernas podem ser também importantes fontes de recursos alimentares, tanto para as

comunidades cavernícolas terrestres quanto para as aquáticas (FERREIRA, 2010). Devido à ausência da proteção gerada pela vegetação, painéis de pinturas rupestres podem ficar expostos à insolação e umidade e entram em processo de degeneração (PILÓ, 1999).

Agropecuária: Atividade tradicional em Minas Gerais foi iniciada com o processo de colonização na primeira metade do século XVIII (PILÓ, 1999). Tem relação direta com a supressão da vegetação do entorno das cavidades e os danos causados por esta atividade. Além destes, a captação de água subterrânea para as culturas irrigadas pode contribuir para o rebaixamento do lençol freático causando importantes alterações na dinâmica hídrica do carste, bem como o colapso de dolinas e cavernas. O uso descontrolado de pesticidas pode ocasionar a contaminação dos aquíferos cársticos, levando esta carga de poluentes às comunidades que vivem no meio cavernícola e também às populações humanas que se utilizam da captação de água subterrânea para o abastecimento das cidades⁵.

PILÓ (1999) cita ainda como consequência da atividade agropecuária a possibilidade de salinização dos solos. Isto ocorre normalmente em função da falta de sistemas de drenagem em culturas irrigadas, aliada a baixa precipitação pluviométrica e alta evapotranspiração levando os carbonatos a se moverem para o topo do solo.

GILLIESON (1996) compara as plantações de eucaliptos à grandes bombas de água, onde cada árvore do *Eucalyptus camaldulensis*, por exemplo, retira do solo entre 250 a 270 litros de água por dia e suas raízes podem atingir até 50 metros de profundidade em locais como o norte da Austrália. Desta forma, grandes plantações de eucalipto podem contribuir para alteração da dinâmica hídrica da região. Neste mesmo estudo é destacado também o impacto provocado pela substituição da cobertura vegetal nativa pelo plantio em alta escala de espécies exóticas, provocando alterações nas condições hidrológicas e afetando o desenvolvimento de espeleotemas nas cavernas situadas abaixo das plantações.

⁵ Uma grande parte das cidades de Lagoa Santa, Vespasiano, Confins, São José da Lapa, Matosinhos, Prudente de Morais, Augusto de Lima, Curvelo entre outras em Minas Gerais são abastecidas por águas cársticas através de poços tubulares (IBAMA, 1998).

Extração mineral: As rochas carbonáticas e as formações ferríferas concentram boa parte das cavernas conhecidas atualmente no Brasil, e exatamente por este fator, as regiões de maior conflito entre desenvolvimento e conservação são aquelas onde estes tipos de formação possuem afloramentos significativos, tais como Carajás no Pará, o Quadrilátero Ferrífero, a região de Arcos/Pains e Lagoa Santa em Minas Gerais e também o Vale do Ribeira em São Paulo. PILÓ (1999) cita como principais impactos causados pela atividade minerária ao patrimônio espeleológico o impacto visual/paisagístico, causado pelo desmonte de paredões e pelo decapeamento do solo; a disposição de estéril; a propagação de vibrações no maciço rochoso causada pelas detonações das cargas explosivas e a sobrepressão acústica causada pela detonação de explosivos, quando da liberação e transmissão da energia pelo ar. Destacando ainda a interferência em sistemas hidrológicos, a poluição de aquíferos e a destruição de cavernas e sítios arqueológicos. FERREIRA (2010) acrescenta que os impactos causados pela extração de salitre e calcita, na maioria das vezes exploradas de forma artesanal, para a fabricação de fertilizantes, pólvora e até mesmo de afrodisíacos.

Urbanização e industrialização: O aumento das áreas urbanas e a concentração de indústrias sobre os terrenos cársticos tem sido motivo de grande preocupação.

ALT (2008) cita como principais impactos decorrentes destas atividades a contaminação das águas superficiais e subterrâneas ocasionadas por vazamentos acidentais e disposição inadequada de resíduos sólidos e efluentes líquidos; a exploração excessiva de água; o desmatamento; a impermeabilização do solo e a consequente alteração nos processos de recarga do aquífero, dentre outros. PILÓ (1999) considera que a superexploração do aquífero pode comprometer o equilíbrio dos sistemas cársticos, assim como induzir processos de abatimento⁶. FERREIRA (2010) ressalta a disposição irregular de lixo dos centros urbanos em bota-foras, lixões improvisados e também no interior das próprias cavernas e dolinas. Em decorrência da grande concentração de veículos nos centros urbanos e também de indústrias, PILÓ (1999) chama a atenção para o fenômeno da chuva ácida gerada pela formação dos ácidos carbônico, sulfúrico e nítrico, onde o principal efeito potencial, ainda pouco estudado, é o aumento da dissolução dos calcários.

⁶ DIAS (2009) cita a formação de uma dolina de 31 metros de largura por 13 metros de profundidade na cidade paulista de Cajamar, em 1996 devido a redução da pressão hidrostática no aquífero.

Turismo e recreação: Devido às suas características, as paisagens cársticas sempre exerceram certo fascínio sobre as pessoas e atraem um grande número de turistas (PILÓ, 1999). ALT (2008) destaca como principais impactos destas atividades nas cavernas e no carste de maneira geral, a destruição de sedimentos arqueológicos ou paleontológicos; perturbações diversas à fauna cavernícola; indução a processos erosivos; introdução de materiais e fauna exógena; alteração de clima relacionada com abertura ou fechamento de passagens e ao número de visitantes; introdução artificial de iluminação e/ou água; quebra de espeleotemas; pichações; lixo; roubo de material arqueológico, paleontológico entre outros. Segundo GILLIESON (1996), aproximadamente 20 milhões de pessoas visitam cavernas nas diversas partes do globo. Há que se destacar que a maioria das cavernas brasileiras não conta com planos de manejo, gerando um turismo desordenado e lesivo ao patrimônio espeleológico. FERREIRA (2010) chama a atenção para os tipos de impacto causados pelo turismo religioso, com a construção de estruturas como templos e santuários no interior das cavidades alterando totalmente as suas características originais. Além destas alterações físicas, merece destaque também o grande volume de pessoas que acessam o ambiente subterrâneo nesta modalidade de turismo, sobretudo em épocas de romaria⁷. As grutas da Lapa Velha e Lapa Nova de Vazante, Minas Gerais, gruta da Paixão na Bahia e de Ubajara no Ceará se destacam por receberem grande volume de pessoas em curtos períodos de tempo.

2.3 Legislação aplicável

A instância máxima da legislação brasileira, a Constituição Federal, decreta como bens da união todas as cavidades naturais subterrâneas do território nacional (BRASIL, 1998).

O Decreto Federal 99.556/1990 (BRASIL, 1990) estabelece que todas as cavernas brasileiras devem ser preservadas, tendo a integridade dos seus ecossistemas garantida. Com esta determinação fica clara a proibição da supressão e de ocorrência de danos a qualquer cavidade natural subterrânea.

⁷ Segundo relatos dos guias locais durante vistoria realizada pelo CECAV em setembro de 2008, o número de turistas chega a mais de 3.000 por dia no ápice da festa dedicada ao Sagrado Coração de Jesus, na gruta da Mangabeira, em Ituaçu, região da Chapada Diamantina na Bahia. Esta gruta também se destaca por ser um dos maiores percursos turísticos de massa do Brasil com cerca de 3 mil metros de extensão.

A Resolução CONAMA 347/2004 (BRASIL, 2004) estabelece em seu Inciso II, Art. 2º o conceito de “cavidade natural subterrânea relevante”. Para o enquadramento neste conceito, seria necessária a avaliação dos atributos ecológicos, ambientais, cênicos, científicos, culturais ou sócio-econômicos em uma escala local e regional em razão, entre outras, das seguintes características (CRUZ *et al.*, 2010):

- Dimensão, morfologia ou valores paisagísticos;
- Peculiaridades geológicas, geomorfológicas ou mineralógicas;
- Vestígios arqueológicos ou paleontológicos;
- Ecossistemas frágeis, espécies endêmicas, raras ou ameaçadas de extinção;
- Recursos hídricos significativos;
- Diversidade biológica;
- Relevância histórico-cultural ou socioeconômica da região.

A Portaria 887/1990 do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, que regulamenta o Decreto 99.556/1990, ressalta a obrigatoriedade de elaboração de Estudo de Impacto Ambiental - EIA em áreas de ocorrência ou de potencial ocorrência de cavernas para aqueles empreendimentos que possam ser, direta ou indiretamente, lesivos às cavidades (IBAMA, 1990).

Até o ano de 2008 a legislação apontava para uma forte tendência protecionista ao patrimônio espeleológico. Porém, com a polêmica promulgação do Decreto 6.640/2008 (BRASIL, 2008) o país passou a contar com uma legislação mais branda com relação aos efeitos lesivos a este patrimônio.

CRUZ *et al.*(2010) destacam como principais pontos polêmicos existentes entre a legislação de 2008 e a anterior:

- A desobrigação de elaboração de Estudo de Impacto Ambiental – EIA e Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, nas atividades ligadas a empreendimentos em áreas de ocorrência de cavernas;
- Apenas as cavidades que, de acordo com estudos específicos, receberem o grau de classificação de **relevância máxima**, estarão totalmente protegidas contra qualquer **impacto negativo irreversível**. Aquelas consideradas como de relevância alta,

média e baixa podem inclusive ser suprimidas, sendo que no caso das de baixa relevância não ha necessidade de qualquer tipo de compensação ambiental.

Sobre este último tópico cabem algumas considerações importantes. O Decreto 6.640/2008 insere no contexto das análises ligadas aos processos de licenciamento ambiental a obrigatoriedade de se classificar as cavidades em graus de relevância, baixa, média, alta e máxima. Para esta determinação devem ser considerados os atributos ecológicos, biológicos, geológicos, hidrológicos, paleontológicos, cênicos, histórico-culturais e socioeconômicos, sob os enfoques locais e regionais. No Artigo 5, Parágrafo 1º deste decreto está definida a responsabilidade da classificação do grau de relevância das cavidades (BRASIL, 2008).

§ 1o O órgão ambiental competente, no âmbito do processo de licenciamento ambiental, deverá classificar o grau de relevância da cavidade natural subterrânea, observando os critérios estabelecidos pelo Ministério do Meio Ambiente.

Estas medidas e seus efeitos ainda estão sendo absorvidas pela sociedade e pelo poder público, prova disto é o reduzido número de estudos espeleológicos elaborados após a mudança na legislação.

Em março de 2010, a Base Multifuncional do CECAV em Minas Gerais efetuou a triagem em 119 processos de licenciamento ambiental de empreendimentos localizados em áreas com potencial ocorrência de cavernas e destes apenas dois já apresentavam a classificação do grau de relevância.

2.4 Atividades de monitoramento no ambiente cárstico

A literatura que trata do tema de monitoramento ligado às atividades de espeleologia é bem reduzida, sendo que a maior parte do material pesquisado se refere ao monitoramento de aspectos ligados ao micro clima das cavidades.

CIGNA (2002) aponta como principais parâmetros a serem monitorados no interior das cavidades a temperatura do ar e da água, a umidade relativa do ar, os níveis de CO₂ e de radônio e a intensidade do fluxo de ar. Devido aos avanços tecnológicos obtidos nos últimos anos no que se refere a metodologias e equipamentos de medição, bem como a reavaliação da importância relativa de cada um destes atributos na sua inter-relação com o ambiente subterrâneo, muitas cavidades abertas ao público podem ser caracterizadas de maneira mais precisa e o seu uso planejado com maior efetividade.

LOBO *et al.* (2009) apresentam o resultado de um estudo que acompanhou a execução de um evento musical realizado no interior da Gruta Morro Preto, situada no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira – PETAR, em Iporanga, São Paulo. Nesta ocasião foram monitorados dois atributos micro climáticos, a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar, bem como a concentração de dióxido de carbono (CO₂). O estudo concluiu que os impactos ambientais provocados por este tipo de evento, ocorrendo nas mesmas condições de controle então adotadas, não apresentam impactos ambientais relevantes ao micro clima da caverna.

ALBERIGI e PECEQUILO (2008) realizaram o monitoramento da concentração do radônio em 6 cavernas do PETAR. Segundo KHAN *et al.* (1993, citado por ALBERIGI & PECEQUILO, 2008), a inalação deste gás nobre está associada a incidência de doenças respiratórias, entre elas o câncer de pulmão. A concentração de radônio nas cavernas é um indicador importante para àquelas com vocação para as atividades de turismo de massa, como por exemplo, as cavernas do complexo turístico do PETAR que recebem cerca de 40.000 turistas por ano.

OHMS e REECE (2002) apresentam a aplicação de um Sistema de Informações Geográficas – SIG relacionada com a atividade de monitoramento de cavernas. Neste caso o SIG é utilizado como instrumento de apoio à decisão no que se refere ao planejamento de ações a serem executadas no *Wind Cave National Park* e *Jewel Cave National Monument*. Ambas Unidades de Conservação - UC estão localizadas no estado americano de Dakota do Sul e abrigam duas das maiores cavernas norte americanas com aproximadamente 160 e 200 km de desenvolvimento linear respectivamente.

A metodologia aplicada pelos pesquisadores envolveu a realização do levantamento topográfico da caverna e a geração do seu mapa em meio digital. Vários equipamentos de medição foram distribuídos ao longo das cavernas para determinar a espessura do pacote de rocha existente entre as galerias e a superfície. Estas informações alimentaram o SIG possibilitando à administração das duas unidades de conservação um maior conhecimento das mesmas e um melhor planejamento das atividades que ocorrem na superfície logo acima das cavernas. Este estudo possibilitou a adoção de medidas de controle do uso de herbicidas em terrenos localizados sobre as cavernas, contribuiu na identificação dos limites das cavernas em relação aos limites políticos locais e, especificamente na caverna *Wind Cave*, o SIG foi empregado no planejamento de toda a infraestrutura para um novo

estacionamento de visitantes e também na criação do modelo de potencial de expansão da caverna e a sua relação com as demais cavernas do parque.

CAPÍTULO 3

APA CARSTE DE LAGOA SANTA

3.1. Caracterização da área de estudo

Devido à facilidade de acesso e ao grande volume de informações técnicas disponíveis, fruto dos vários estudos científicos já realizados em seus limites, a área escolhida como piloto para o desenvolvimento e validação da metodologia proposta neste trabalho é a Área de Proteção Ambiental Carste de Lagoa Santa (APA⁸ Carste de Lagoa Santa) localizada na região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais (Figura 3.1).

A Unidade de Conservação foi criada no início dos anos 90 (BRASIL, 1990) e possui aproximadamente 35.600ha. Está localizada em uma das regiões cársticas brasileiras com maior conflito entre o desenvolvimento urbano/industrial e as medidas de conservação ambiental. Anteriormente considerada como fator que oferecia maior risco à conservação do carste, a atividade industrial na região, sobretudo a mineração de calcário, atualmente divide este posto com a expansão das áreas urbanas em função do planejamento estratégico do governo de Minas Gerais para o desenvolvimento do vetor norte da capital.

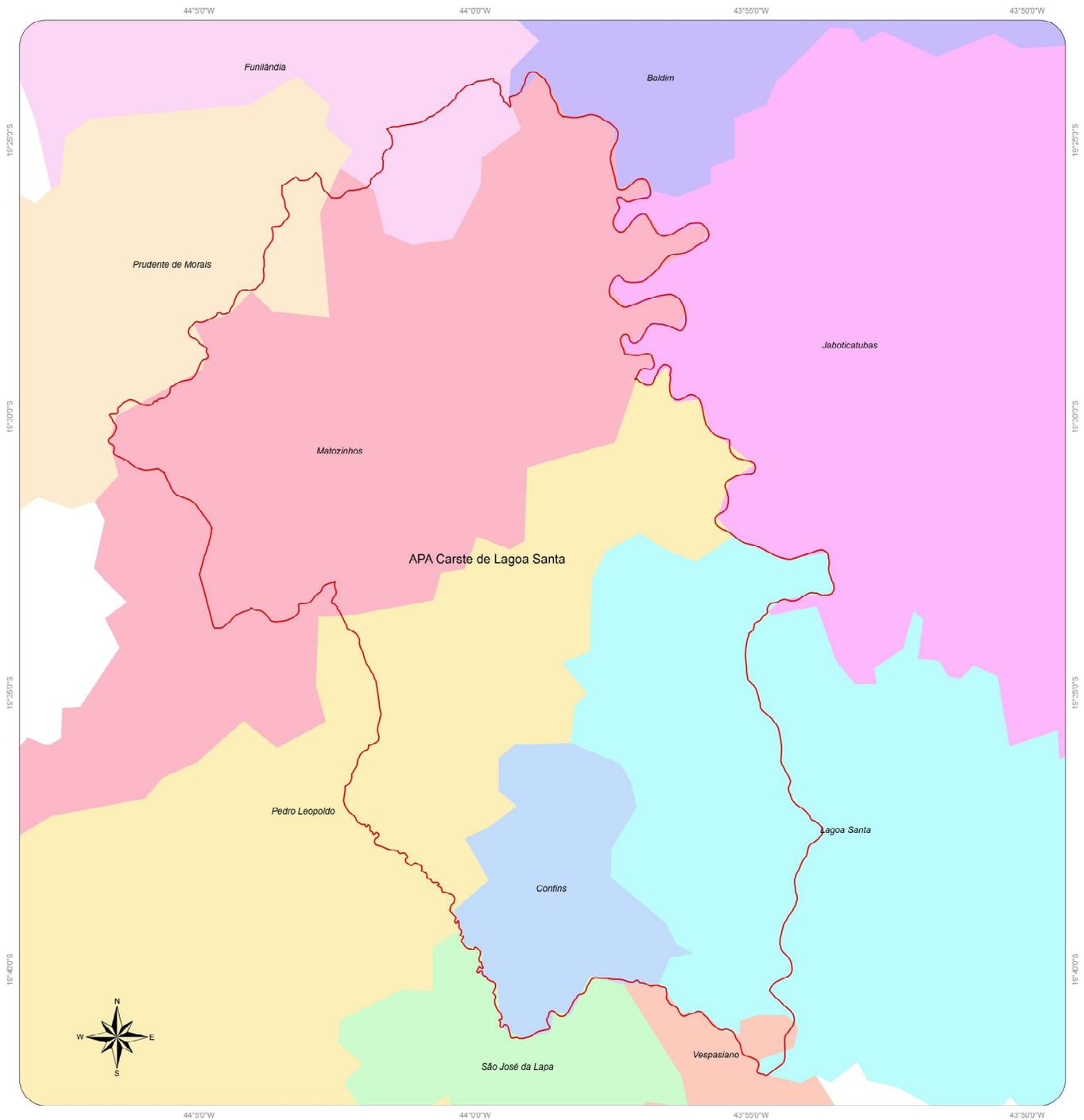
A área da APA abrange parte dos municípios de Lagoa Santa, Pedro Leopoldo, Matozinhos, Vespasiano, Funilândia e Prudente de Moraes e todo o município de Confins. O limite leste é determinado pelo rio das Velhas e a rodovia MG-10; ao sul o ribeirão da Mata; a oeste a rodovia MG-424 e ao norte e noroeste a linha divisória obedece ao traçado de rodovias secundárias (IBAMA, 1998).

Dentro de seus limites se encontram ainda o Aeroporto Internacional Tancredo Neves e terminais ferroviários da antiga Rede Ferroviária Nacional que passam pelas cidades de Pedro Leopoldo e Matozinhos.

A principal drenagem da APA é o Rio das Velhas, mas merecem destaque também o ribeirão da Mata, os córregos do Retiro, do Fidalgo, Capão, Canoas de Santana, do Jaques, Samambaia, Palmeiras, Jaguará e o riacho da Gordura.

⁸ O Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC define “... a Área de Proteção Ambiental é uma área em geral extensa, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas e que tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais” (BRASIL, 2000)

Mapa de Localização da APA Carste de Lagoa Santa



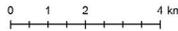
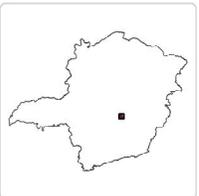
<p>Projeto: Proposta metodológica para identificação de áreas críticas para a conservação do Patrimônio Espeleológico brasileiro.</p> <p>Monografia do Curso de Especialização em Geoprocessamento - ICG/UFMG Mauro Gomes Outubro de 2010</p> <p>Orientadora: Maria Márcia Magela Machado</p> <p>Datum: WGS84</p>	<p>Legenda □ Limites APA</p> <p>1:65.000</p> 	<p>Localização</p> 
--	---	---

Figura 3.1: Mapa de Localização da APA Carste de Lagoa Santa.

O relevo cárstico está localizado predominantemente entre as cotas altimétricas 650 m e 900 m, no bloco interfluvial Ribeirão da Mata - Rio das Velhas e se encontra sob uma espessa cobertura pedológica e sob rochas metapelíticas em pontos distintos.

A morfologia deste planalto cárstico é caracterizada pela presença de dolinas, uvalas, paredões, colinas convexas e morros alongados. Paredões calcários, que podem atingir até 50m de altura, freqüentemente estão localizados às bordas das colinas, uvalas, e morros residuais alongados (PILÓ, 1997, citado por IBAMA, 1998).

A unidade de conservação se encontra na transição entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica. Segundo o mapa de vegetação do Brasil (IBGE, 1993) a região possui formações de cerrado, que se restringem a manchas remanescentes, em regeneração ou em transição e floresta estacional semidecidual. O topo dos afloramentos calcários possui vegetação distinta das demais e é caracterizada por sua semelhança àquela da caatinga.

Os primeiros registros de estudos sistemáticos e explorações na região datam do ano de 1840 quando da realização dos trabalhos do pesquisador dinamarquês Peter Wilhelm Lund nas grutas da região de Lagoa Santa. Estes trabalhos levaram a descoberta de ossos e vestígios humanos com datações superiores a 11.000 anos.

Outro fator relevante para a escolha da região da APA Carste de Lagoa Santa como piloto para o desenvolvimento da metodologia de monitoramento é a elevada ocorrência, dentro dos seus limites, de cavernas cadastradas na base de dados do CECAV. Das 2.922 cavernas cadastradas no estado de Minas Gerais, 712 cavidades, equivalente a 24 % do total, se encontram na região desta APA, sendo que 543 cavidades se localizam dentro da UC e 169 em seu entorno (CECAV, 2010).

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA E RESULTADOS

O fluxograma da Figura 4.1 apresenta a estrutura geral da metodologia utilizada para atingir os objetivos o presente trabalho.

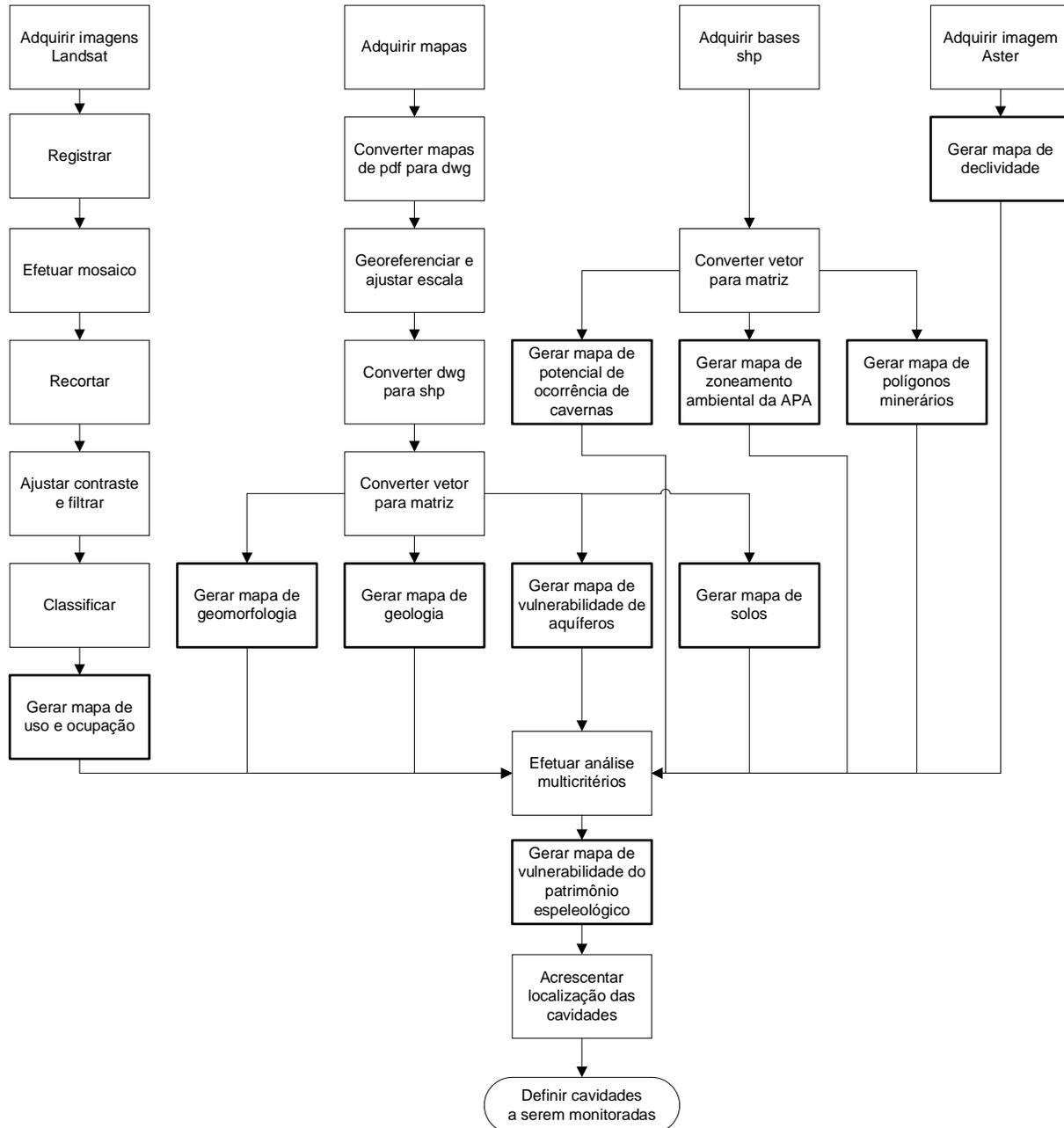


Figura 4.1 - Fluxograma da estrutura geral da metodologia.

4.1 Materiais

Neste trabalho foram utilizados os seguintes materiais e dados:

- Imagens Landsat órbita-ponto 218-73 e 218-74, de 13/05/2010.
(Fonte: Divisão de Geração de Imagens – DGI, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE)
- Imagem Aster GDEM, data da passagem 30/10/2008.
(Fonte: NASA *Warehouse Inventory Search Tool – WIST*)
- Mapa Geológico da APA Carste de Lagoa Santa.
Formato: PDF, A4; Escala 1:50.000; (Fonte: Serviço Geológico do Brasil – CPRM)
- Mapa Geomorfológico da APA Carste de Lagoa Santa.
Formato: PDF, A4; Escala 1:50.000; (Fonte: Serviço Geológico do Brasil – CPRM)
- Mapa de Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos da APA Carste de Lagoa Santa.
Formato: PDF, A4; Escala 1:50.000; (Fonte: Serviço Geológico do Brasil – CPRM)
- Mapa de Solos da APA Carste de Lagoa Santa.
Formato: PDF, A4; Escala 1:50.000; (Fonte: Serviço Geológico do Brasil – CPRM)
- Mapa do Zoneamento Ambiental da APA Carste de Lagoa Santa.
Formato: *Shapefile*; (Fonte: Serviço Geológico do Brasil – CPRM)
- Mapa dos Títulos Minerários no Estado de Minas Gerais
Formato: *Shapefile*; (Fonte: Serviço Geológico do Brasil – CPRM)
- Mapa de Localização das Cavidades Naturais Subterrâneas do Estado de Minas Gerais. Formato: *Shapefile*; (Fonte: Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – CECAV)
- Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas Baseado na Litologia.
Formato: *Shapefile*; (Fonte: Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – CECAV)

4.2 Softwares

Foram utilizados os seguintes *softwares*.

- SPRING (Versão 5.1.6);
- ArcGIS, (Versão 9.2);
- AutoCAD Map 3D 2010;
- Corel Draw 12.

4.3 Métodos

4.3.1 Seleção das variáveis

Para a escolha das variáveis a serem utilizadas no desenvolvimento deste trabalho procurou-se abordar temas que mantivessem relação direta com a temática de conservação do patrimônio espeleológico.

Tomando-se por base o resultado dos estudos que deram origem ao Zoneamento Ambiental da APA Carste de Lagoa Santa (IBAMA, 1998), sobretudo aqueles relacionados com a espeleologia, foram selecionadas como variáveis principais as informações referentes aos levantamentos geológicos, geomorfológicos, vulnerabilidade natural de aquíferos e solos, além do próprio zoneamento ambiental da APA. A este grupo de variáveis foram acrescentadas as informações referentes ao potencial de ocorrência de cavernas geradas pelo CECAV, os dados referentes aos polígonos minerários do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM e suas respectivas fases de licenciamento e também o mapa de declividade da APA Carste de Lagoa Santa. Por ter sido considerado como tema de alta relevância para a conservação do patrimônio espeleológico, optou-se também pela elaboração de um mapa de uso e ocupação do solo para complementar as análises.

4.3.2 Elaboração dos mapas

4.3.2.1 Mapa de uso e ocupação do solo

Para o desenvolvimento de todas as etapas que levaram a elaboração do Mapa de uso e ocupação do solo, foi utilizado o *software* SPRING.

Inicialmente foram efetuadas as operações de registro⁹ das imagens 218-73 e 218-74 do sensor orbital *Thematic Mapper* – TM do satélite Landsat5. Para o registro foram utilizadas como referência as imagens ortoretificadas disponibilizadas pela Universidade de *Maryland*, acessíveis através do endereço eletrônico <http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>.

Para que o mapa apresentasse maior fidelidade ao atual estado de uso e ocupação da região, foi utilizada a imagem relativa à passagem do satélite de 13/05/2010.

A região onde se localiza a APA Carste de Lagoa Santa ocupa a parte sul da imagem 218-73 e a parte norte da 218-74 e para que fosse possível a utilização de apenas uma imagem no desenvolvimento do trabalho, foi realizada a operação de **mosaicagem de imagens**¹⁰.

Para isolar a área de interesse do restante da imagem gerada pelo mosaico foi realizada a operação **recorte de plano de informação**¹¹. O resultado desta etapa foi uma imagem de satélite referente apenas à área interna da APA Carste de Lagoa Santa.

Na sequência, foi efetuado então o realce do contraste da imagem e aplicado o filtro linear de Realce de Imagem TM, que tem por objetivo compensar distorções radiométricas do sensor TM.

A elaboração do mapa de Uso e Ocupação do Solo, apresentado na Figura 4.2, teve como finalidade a identificação de áreas de ocorrência de atividades que se desenvolvem na superfície e que, direta ou indiretamente, tem relação com a integridade do patrimônio espeleológico. Com o objetivo de identificar as áreas de ocorrência de agricultura,

⁹ De acordo com INPE (2005) “... O registro de uma imagem compreende uma transformação geométrica que relaciona coordenadas da imagem (linha, coluna) com coordenadas de um sistema de referência.”

¹⁰ “... O termo **mosaico** em Sistema de Informações Geográficas (SIGs) é um sinônimo de junção de mapas, ou seja, mapas separados, porém adjacentes, são automaticamente agrupados em um único mapa. O produto final do mosaico é uma imagem ou um mapa topologicamente consistente, com continuidade física.” (Bonhom - Later, 1994, citado por INPE, 2008).

¹¹ Esta ferramenta permite delimitar ou mascarar qualquer plano de informação - PI de um projeto. Para executar o recorte, o usuário deve definir o limite a ser recortado. Neste caso específico o limite foi definido através da seleção de uma máscara que continha o polígono que representava os limites da APA Carste de Lagoa Santa.

pecuária, plantações de eucalipto, áreas de mata, cavas minerárias, água e zonas urbanas, foi efetuada a operação de **classificação de imagem**¹².

De acordo com os estudos relativos ao comportamento espectral de alvos apresentado pelo INPE (2004), foram escolhidas as bandas 2, 3, 4, 5 e 7 do Landsat5 para comporem o contexto de classificação de imagem. Como algumas das classes a serem mapeadas apresentam forte relação com a presença, ou ausência, de vegetação, foi também gerado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI¹³. A imagem que representa este índice foi acrescentada às demais imagens do TM para a realização da operação de classificação.

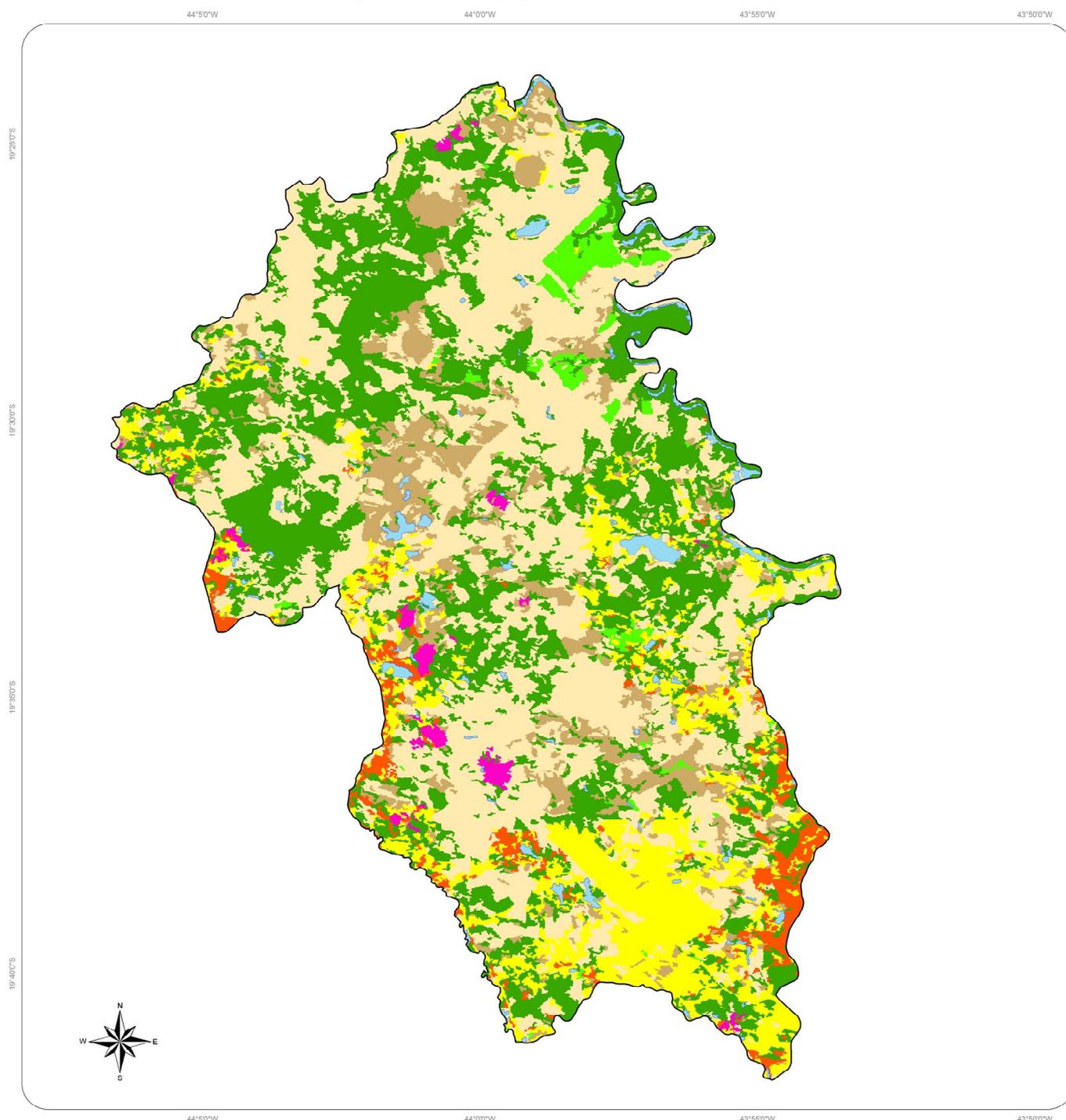
Nesta etapa de optou-se pela utilização da classificação supervisionada por esta oferecer a possibilidade de escolha das amostras de acordo com as classes definidas para este trabalho. Com relação à técnica de classificação, foi escolhida a classificação por regiões e o classificador empregado foi o de *Bhattacharya* (INPE, 2004). Foi efetuado também um experimento com a classificação pixel a pixel com o classificador MAXVER, porém a classificação por regiões se mostrou, neste caso, mais indicada para a realização das análises.

Finalizando a elaboração do Mapa de Uso e Ocupação do Solo, foi efetuada a operação de **mapeamento para classes temáticas** que gerou um mapa temático a partir da imagem classificada.

¹² A operação de classificação se caracteriza por ser um processo de extração de informações em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos que apresenta como resultado final uma imagem onde cada pixel contém a informação de uma classe, ou tema, associada ao ponto da cena correspondente. (INPE, 2004)

¹³ O NDVI é gerado através da equação $NDVI = [(banda\ 4 - banda\ 3) * ganho / (banda\ 4 + banda\ 3)] + offset$. Na imagem gerada os níveis de cinza mais claros representam altos índices de vegetação enquanto os níveis de cinza mais próximos a zero, portanto mais escuros, representam baixos índices de vegetação, correspondendo a alvos urbanos com áreas construídas, solo exposto e água.

Mapa de Uso e Ocupação da APA Carste de Lagoa Santa



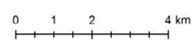
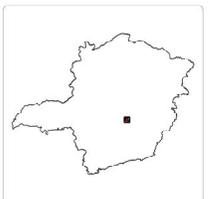
<p>Projeto: Proposta metodológica para identificação de áreas críticas para a conservação do Patrimônio Espeleológico brasileiro.</p> <p>Monografia do Curso de Especialização em Geoprocessamento - ICG/UFGM Mauro Gomes Outubro de 2010</p> <p>Orientadora: Maria Márcia Magela Machado</p> <p>Datum: WGS84</p>	<p>1:85.000</p> 	<p>Legenda</p> <p>□ Limites APA</p> <p>Uso e Ocupação do Solo</p> <ul style="list-style-type: none">AgriculturaÁguaCavaEucaliptoMataPecuáriaZona Urbana (Densa)Zona Urbana (Pouco densa)	<p>Localização</p> 
--	---	---	--

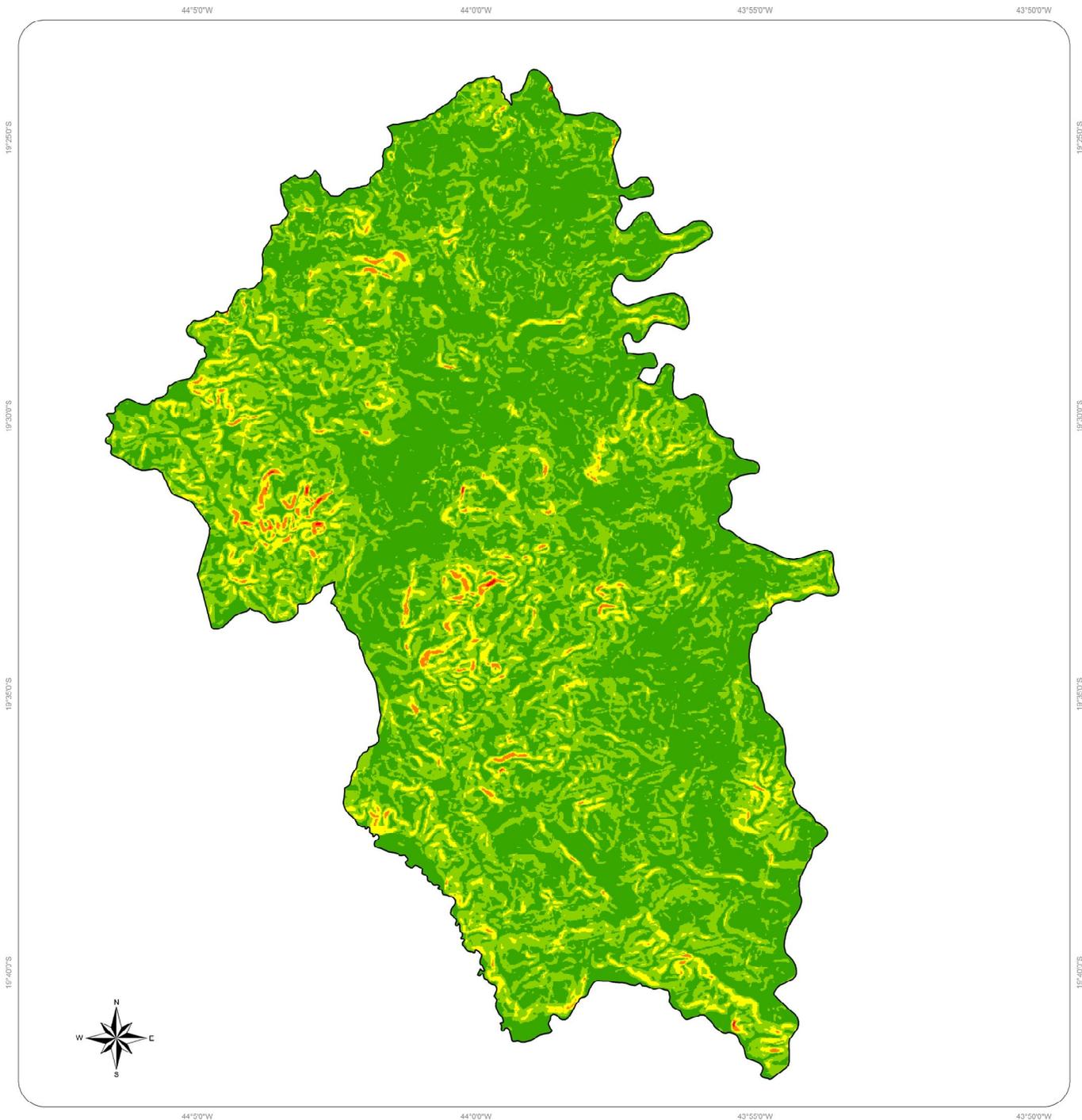
Figura 4.2 – Mapa do uso e ocupação do solo da APA Carste de Lagoa Santa.

4.3.2.2 Mapa de declividade

Este mapa temático (Figura 4.3) foi produzido no software ArcGIS, a partir da imagem ASTER e o emprego da extensão *Spatial Analyst*, utilizando-se a ferramenta *Surface Analysis* e o comando *Slope*.

Após a aplicação do comando *slope*, foi efetuada uma reclassificação dos atributos relativos ao percentual de declividade do terreno. Neste novo agrupamento de classes, optou-se pela utilização da forma mais comumente utilizada na geotecnia, conforme sugestão de SOUZA (2008), ficando então o mapa de declividade representado por 5 classes: Muito fraca (< 6%), Fraca (6 à 12%), Média (12 à 20%), Forte (20 a 30%) e Muito forte (> 30%).

Mapa de Declividade da APA Carste de Lagoa Santa



<p>Projeto: Proposta metodológica para identificação de áreas críticas para a conservação do Patrimônio Espeleológico brasileiro.</p> <p>Monografia do Curso de Especialização em Geoprocessamento - ICG/UFMG Mauro Correa Outubro de 2010</p> <p>Orientadora: Márcia Magela Machado</p> <p>Datum: WGS84</p>	<p>Legenda</p> <p>□ Limites APA</p> <p>Declividade</p> <ul style="list-style-type: none">< 6%6% a 12%12% a 20%20% a 30%>30%	<p>1:85.000</p>	<p>Localização</p>
---	---	-----------------	--------------------

Figura 4.3– Mapa de declividade da APA Carste de Lagoa Santa.

4.3.2.3 Conversão de mapas vetoriais para matriciais

Os mapas temáticos referentes à Geologia, Geomorfologia, Solos e de Vulnerabilidade Natural dos Aqüíferos da APA Carste de Lagoa Santa utilizados como referência para este trabalho foram gerados pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM quando da elaboração do Zoneamento Ambiental da APA Carste de Lagoa Santa no final da década de 90. (Figuras 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7)

Àquela época as tecnologias relacionadas aos Sistemas de Informações Geográficas ainda eram insipientes e desta forma todo o mapeamento da APA Carste de Lagoa Santa foi gerado em formato vetorial utilizando-se o AutoCAD. Entretanto, o material que se teve acesso para o desenvolvimento deste trabalho se encontrava no formato *Portable Document Format* – PDF¹⁴.

Para a adequação destes mapas a um formato compatível para a realização da análise multicritérios, foi realizada inicialmente uma conversão do formato PDF para o formato *Drawing* – DWG¹⁵ utilizando-se o *software CorelDRAW*. Nesta etapa foram mantidos no mapa apenas os polígonos que definem os limites de cada tema, a grade com as coordenadas e também a escala gráfica. As demais informações, consideradas como não necessárias à conversão para o formato *raster*, foram inicialmente descartadas destes mapas, mas posteriormente foram consideradas nas discussões do resultado da análise multicritérios.

No *software* AutoCAD foram realizados os ajustes de escala (os mapas em PDF se encontravam em formato de papel A4) e também foi efetuado o georeferenciamento. Para o ajuste da escala foi utilizado o comando *scale* e o redimensionamento do mapa foi feito usando a escala gráfica, mantida durante a conversão PDF => DWG. Com base na grade de coordenadas, o comando *move* foi aplicado e todo o mapa foi georeferenciado.

Com o auxílio do *software* ArcGIS, o arquivo DWG, gerado pelo AutoCAD, foi convertido para o formato *Shape File* – SHP¹⁶. A estes dados vetoriais foram acrescentados

¹⁴ O formato PDF, nativo dos aplicativos da Adobe System, é incompatível com a aplicação da ferramenta de análise multicritérios que requer que os mapas temáticos estejam em formato matricial (*raster*).

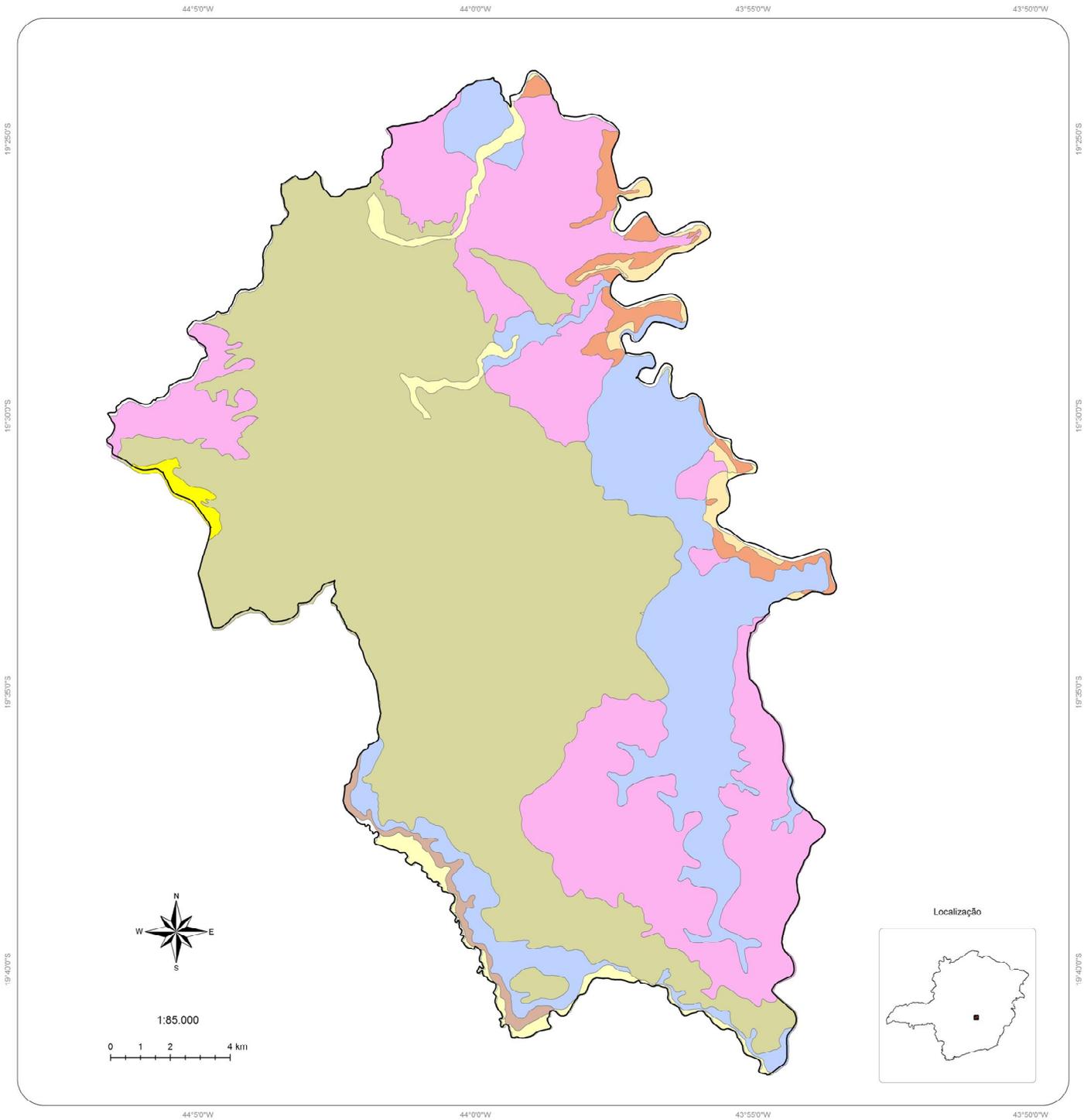
¹⁵ O formato DWG é nativo de softwares baseados em *Computer Aided Design* – CAD que tratam os dados na forma de vetores utilizados para a elaboração de desenhos técnicos em duas ou três dimensões.

¹⁶ O formato SHP, nativo dos aplicativos da *Environmental Systems Research Institute, Inc.* – ESRI pode ser definido como um formato de dados espaciais que armazena informações vetoriais e seus atributos.

seus respectivos atributos, retirados dos mapas originais e posteriormente foi realizada conversão do formato vetorial para o matricial (*raster*). Para esta atividade foi empregada a extensão *Spatial Analyst* e a ferramenta *Convert Features to Raster*.

Esta mesma extensão foi utilizada na conversão dos mapas do Zoneamento Ambiental da APA Carste de Lagoa Santa, Mapa dos Títulos Minerários do Estado de Minas Gerais (especificamente aqueles localizados no interior da APA Carste de Lagoa Santa) e Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas que já se encontravam em formato SHP. (Figuras 4.8, 4.9 e 4.10)

Mapa de Geologia da APA Carste de Lagoa Santa



Projeto:
Proposta metodológica para identificação de áreas críticas para a conservação do Patrimônio Espeleológico brasileiro.

Monografia do Curso de Especialização em Geoprocessamento - ICG/UFMG
 Mauro Gomes
 Outubro de 2010

Orientadora:
 Maria Márcia Magela Machado

Datum:
 WGS84

□ Limites APA

Mapa Geológico

Unidades Litoestratigráficas

- Angr - Domínio de migmatitos com estruturas diversas; granatódies; gnaisses a hornblenda; biotita - gnaisses; diopsídio - anfibólio - gnaisse.
- Psbls - Rochas carbonáticas constituídas predominantemente por calcarenitos com intercalações de calcissitos, espatito/microespatito, brecha, estromatólitos e milotonitos protoderivados.
- Psbpl - Rochas carbonáticas constituídas predominantemente por calcissitos, manjar, micropatitos, micritos, subordinadamente calcarenitos muito finos e milotonitos protoderivados.
- Psbeh - Rochas pelíticas constituídas de siltitos argilosos, arenitos subordinados, lentes carbonáticas correspondentes a margas e calcarenitos muito finos.
- Qha - Sedimentos aluviâres constituídos de cascalhos, areias siltes e argilas.
- Qpa1 - Sedimentos areno-argilosos, com grânulos de quartzo.
- Qpa2 - Sedimentos conglomeráticos arenosos e argilosos mal selecionados e inconsolidados.
- Tdi - Sedimentos detrito-lateríticos constituídos de solo laterítico, material areno-argiloso, concreções ferruginosas e fragmentos de quartzo.

Legenda

Figura 4.4 – Mapa de geologia da APA Carste de Lagoa Santa.

Mapa de Geomorfologia da APA Carste de Lagoa Santa

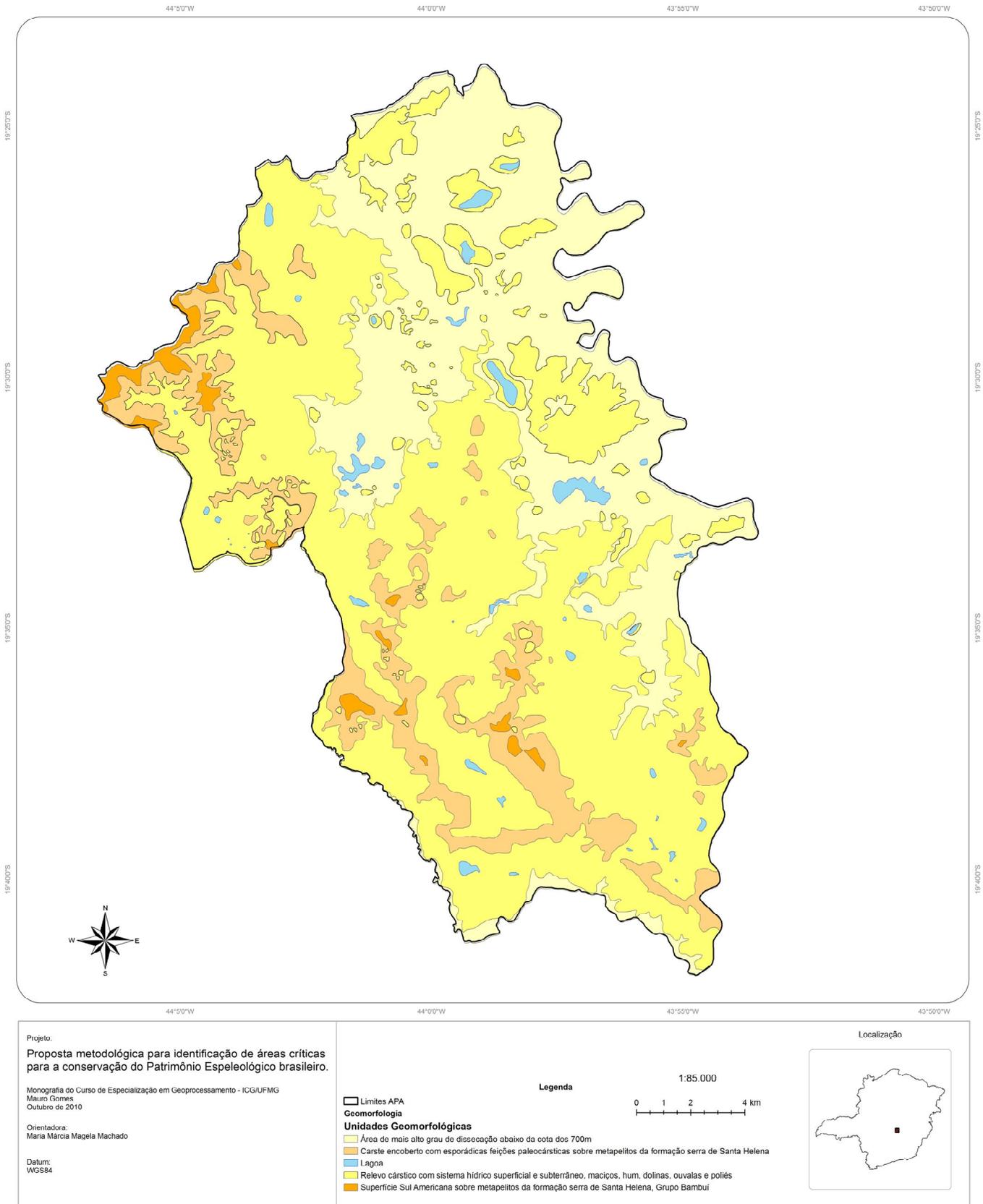
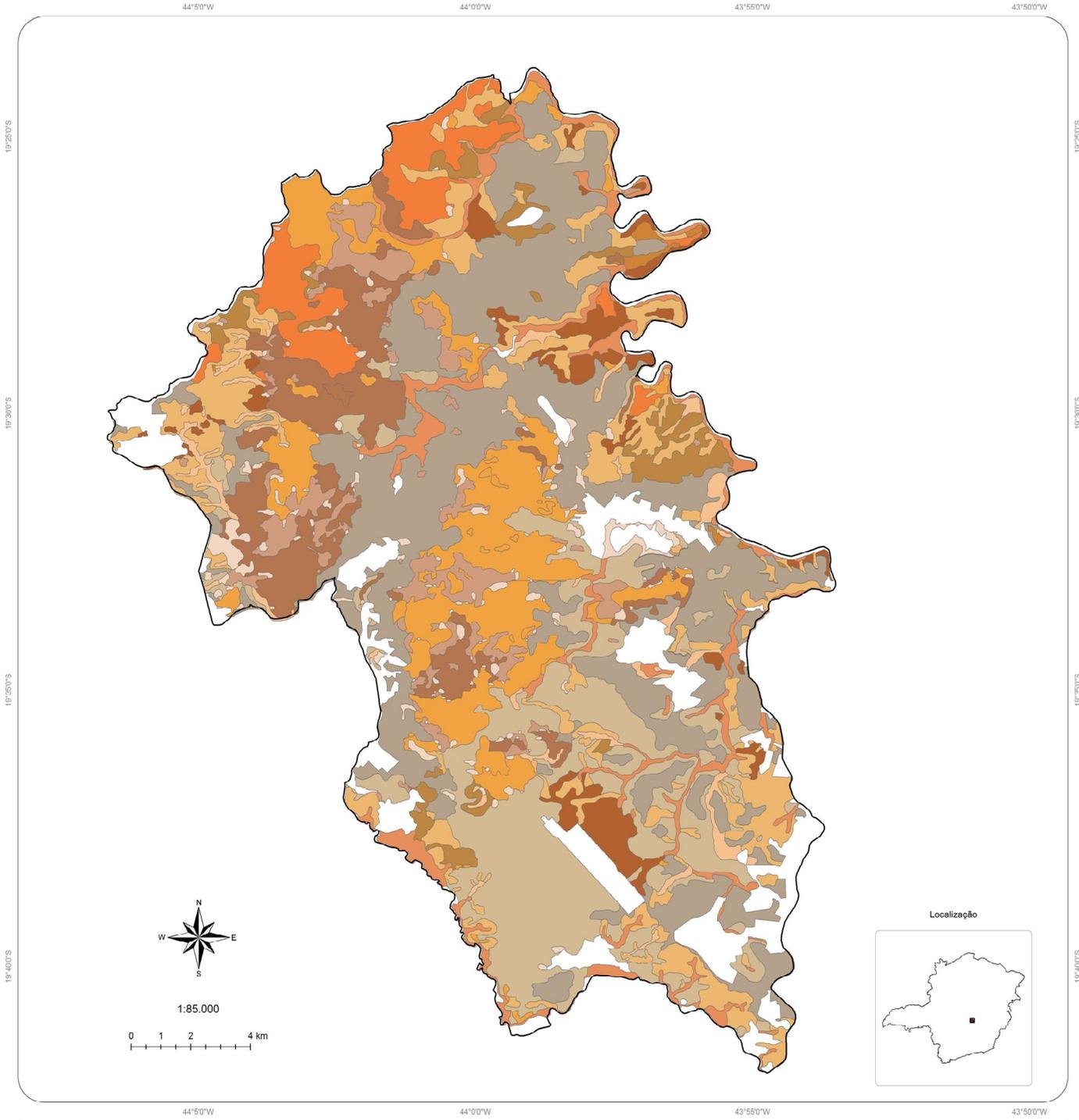


Figura 4.5 – Mapa de Geomorfologia da APA Carste de Lagoa Santa.

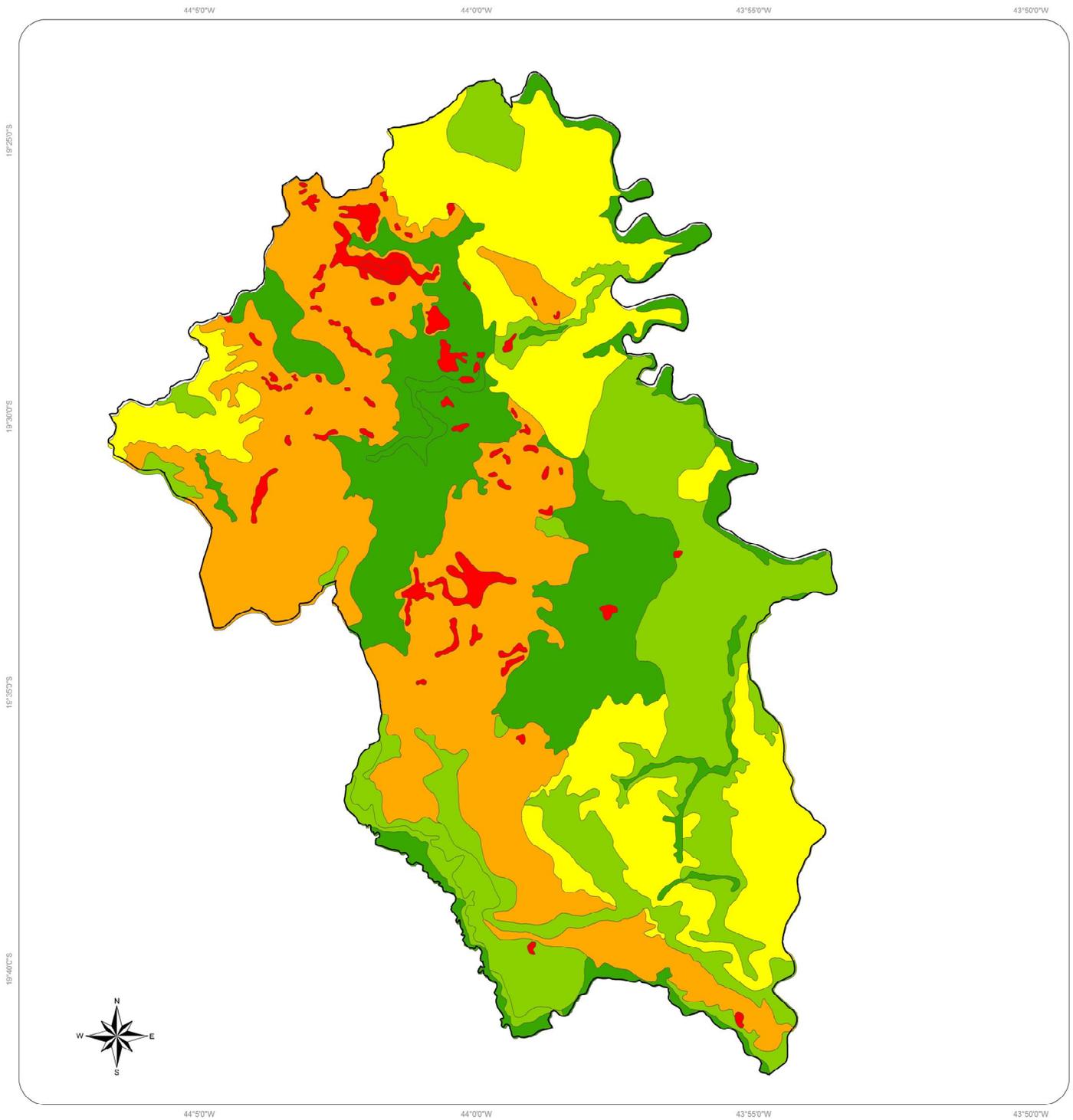
Mapa de Solos da APA Carste de Lagoa Santa



<p>Projeto: Proposta metodológica para identificação de áreas críticas para a conservação do Patrimônio Espeleológico brasileiro.</p> <p>Monografia do Curso de Especialização em Geoprocessamento - ICG/UFMG Mauro Gomes Outubro de 2010</p> <p>Orientadora: Maria Márcia Magela Machado</p> <p>Datum: WGS84</p>	<p>Legenda</p> <p>□ Limites APA</p> <p>Solos</p> <ul style="list-style-type: none"> AR - Afloramentos de Rocha. CAa1 - Cambissolo alóico Tb A moderado + Cambissolo Latossólico alóico a moderado, textura muito argilosa, relevo suave e ondulado com microrrelevo moderado (cárstico). CAa2 - Cambissolo alóico Tb A moderado textura muito argilosa cascalhenta e não cascalhenta + Cambissolo Latossólico alóico A moderado textura muito argilosa, pedregoso e não pedregoso relevo suave ondulado e ondulado. CAa3 - Cambissolo alóico Tb A moderado textura muito argilosa cascalhenta e não cascalhenta, pedregoso e não pedregoso, relevo ondulado e forte ondulado. CAa6 - Cambissolo Glicólico eutrófico Tb A moderado textura muito argilosa, relevo plano e suave ondulado (dolinas). CLa1 - Cambissolo Latossólico alóico A moderado + Cambissolo alóico Tb A moderado, ambos textura muito argilosa, relevo plano e suave ondulado. CLa2 - Fase da unidade CLa, relevo suave ondulado e ondulado. HGPc - Gleí Pouco Húmido eutrófico Tb A moderado textura muito argilosa, relevo plano. LEs1 - Latossolo Vermelho-Escuro alóico A moderado textura muito argilosa, relevo plano e suave ondulado. LEs2 - Fase da unidade LEs1, relevo suave ondulado. PEs1 - Podzólio Vermelho-Escuro eutrófico Tb A moderado textura muito argilosa, relevo plano e suave ondulado. PEs2 - Podzólio Vermelho-Escuro eutrófico Tb A moderado + Cambissolo Latossólico alóico a moderado, ambos textura muito argilosa, relevo ondulado e forte ondulado com microrrelevo forte (cárstico). x - Áreas de mineração.
--	---

Figura 4.6 – Mapa de solos da APA Carste de Lagoa Santa.

Mapa de Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos da APA Carste de Lagoa Santa



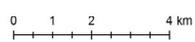
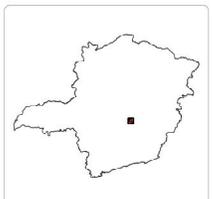
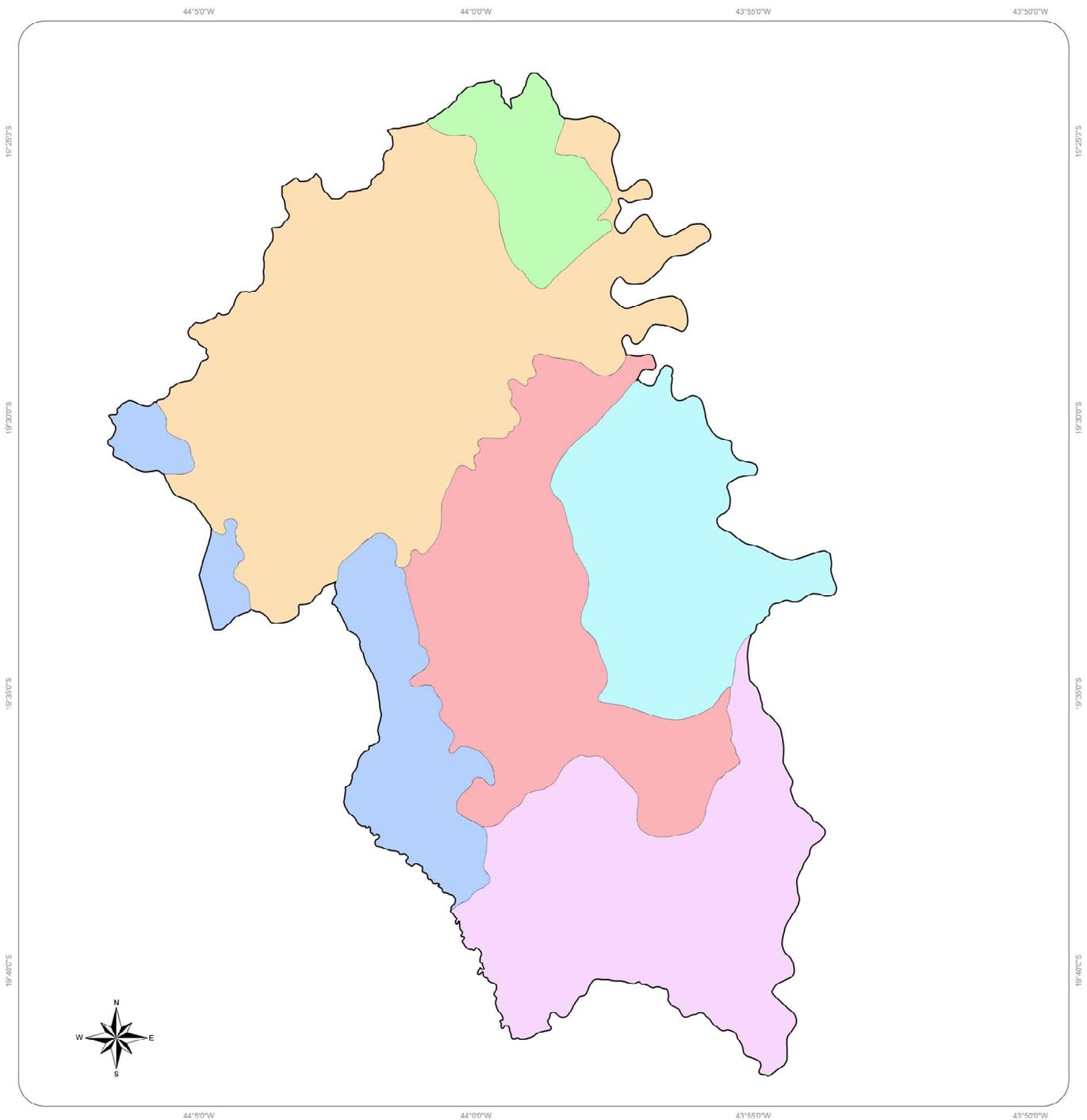
<p>Projeto: Proposta metodológica para identificação de áreas críticas para a conservação do Patrimônio Espeleológico brasileiro.</p> <p>Monografia do Curso de Especialização em Geoprocessamento - ICG/UFMG Mauro Gomes Outubro de 2010</p> <p>Orientadora: Maria Márcia Magela Machado</p> <p>Datum: WGS84</p>	<p>1:85.000</p>  <p>Legenda</p> <p>□ Limites APA</p> <p>Classes de Vulnerabilidade</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Extremamente Alta ■ Alta ■ Média ■ Baixa ■ Desprezível 	<p>Localização</p> 
---	--	--

Figura 4.7 – Mapa da vulnerabilidade natural de aquíferos da APA Carste de Lagoa Santa

Mapa de Zoneamento Ambiental da APA Carste de Lagoa Santa



<p>Projeto: Proposta metodológica para identificação de áreas críticas para a conservação do Patrimônio Espeleológico brasileiro.</p> <p>Monografia do Curso de Especialização em Geoprocessamento - ICG/UFMG Mauro Gomes Outubro de 2010</p> <p>Orientadora: Maria Márcia Magela Machado</p> <p>Datum: WGS84</p>	<p style="text-align: center;">Legenda</p> <p>□ Limites APA</p> <p>Zoneamento</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ ZCDA - Zona de Conservação e Desenvolvimento Agrícola ■ ZCDUI - Zona de Conservação e Desenvolvimento Urbano Industrial ■ ZCEAM - Zona de Conservação do Equilíbrio Ambiental Metropolitano ■ ZCPD - Zona de Conservação do Planalto das Dolinas ■ ZPPC - Zona de Proteção do Patrimônio Cultural ■ ZPPNC - Zona de Proteção das Paisagens Naturais do Carste <p style="text-align: right;">1:85.000</p> <p>0 1 2 4 km</p>	<p style="text-align: center;">Localização</p> 
---	---	---

Figura 4.8 – Mapa do zoneamento ambiental da APA Carste de Lagoa Santa.

Mapa de Polígonos Minerários do DNPM localizados na APA Carste de Lagoa Santa

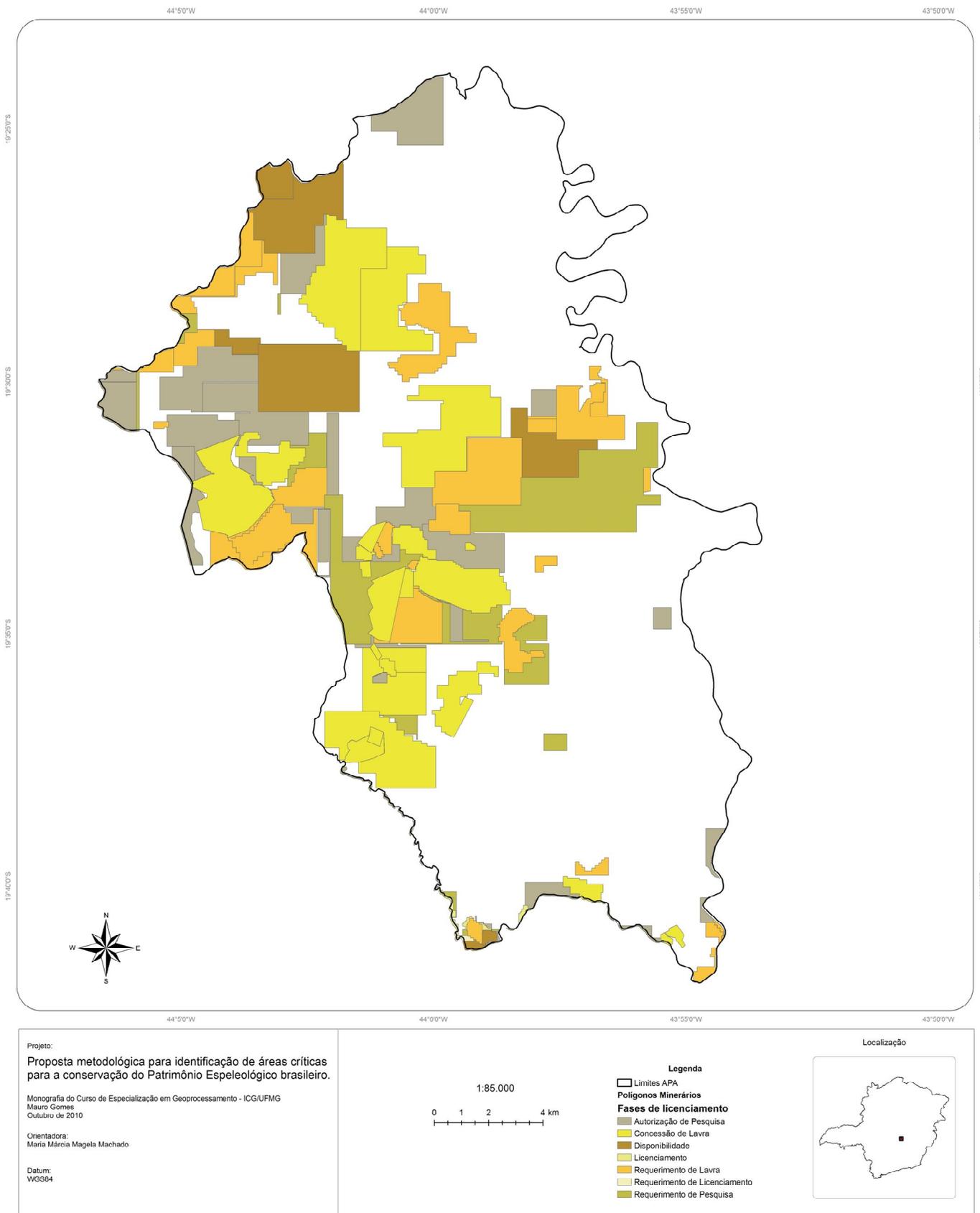


Figura 4.9 – Mapa dos polígonos minerários localizados na APA Carste de Lagoa Santa.

Mapa de Potencial de Ocorrência de Cavernas da APA Carste de Lagoa Santa

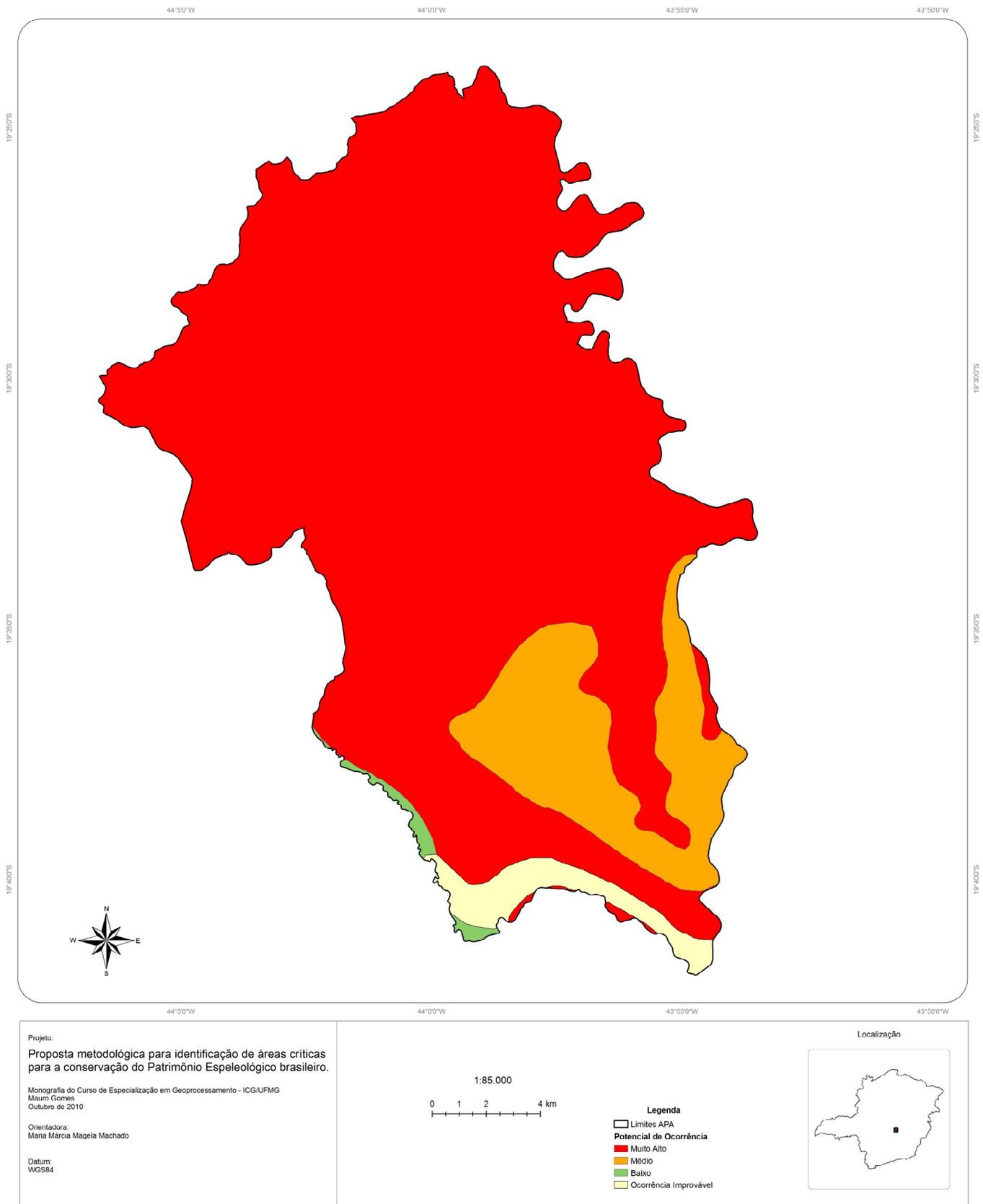


Figura 4.10– Mapa do potencial de ocorrência de cavernas da APA Carste de Lagoa

4.3.3 Análise multicritérios

Para o atendimento do objetivo proposto para este trabalho optou-se pelo procedimento de análise multicritérios. A sistemática escolhida foi a ponderação de variáveis por meio do modelo *knowledge-driven*, também conhecido como método DELPHI.

Conforme recomenda MOURA (2007), foi realizada uma consulta à diversos especialistas em espeleologia e o julgamento apresentado por eles foi utilizado na ponderação das variáveis utilizadas na análise.

A cada especialista foi solicitado o preenchimento de uma planilha que continha os atributos de todos os temas que compõem a análise. Cada atributo recebeu uma nota, variando de 0 à 10, objetivando uma discriminação ordinal do grau de importância que um atributo tem em relação a outro dentro de um mesmo tema. O resultado desta pontuação está registrado na Tabela 4.1.

Variável	Atributo		Nota
Geomorfologia	Superfície Sul Americana sobre metapelitos da formação Serra de Santa Helena, Grupo Bambuí		2
	Cárste encoberto com esporádicas feições paleocársticas sobre os metapelitos da formação Serra de Santa Helena		4
	Relevo cárstico com sistema hídrico superficial e subterrâneo, maciços, hum, dolinas, ouvalas e poljes		10
	Área de mais alto grau de dissecação abaixo da cota dos 700 metros, formas cársticas residuais e grandes sistemas de ouvalas, relevo com baixo grau de declividade		7
Uso e Ocupação do Solo	Agricultura		8
	Cava minerária		9
	Eucalipto		6
	Mata		1
	Pecuária		7
	Zona urbana (muito densa)		8
	Zona urbana (pouco densa)		7
Vulnerabilidade Natural do Aquífero	Extremamente Alta	Afloramentos de rocha calcária com elevada porosidade secundária.	10
	Alta	Material de cobertura pouco espesso (< 10cm), com permeabilidade variável em torno de 10-4 cm/s, alta densidade de dolinas.	8
	Média	Material de cobertura com espessura média a alta (< 20cm), permeabilidade variável em torno de 10-4 cm/s, densidade de dolinas baixa a média.	7

	Baixa	Material de cobertura pouco espesso (< 10cm), permeabilidade baixa variável em torno de 10-5 cm/s, baixa densidade de dolinas.	4
	Desprezível	Material de cobertura com espessura média (~ 15cm) permeabilidade baixa, variável em torno de 10-5 cm/s, sobre metapelitos e calcários pouco fraturado.	1
Geologia	Qha	Sedimentos aluviâres constituídos de cascalhos, areias siltes e argilas.	1
	Qpa1	Sedimentos areno-argilosos, com grânulos de quartzo.	1
	Qpa2	Sedimentos conglomeráticos arenosos e argilosos mal selecionados e inconsolidados.	1
	Tdl	Sedimentos detrítico-lateríticos constituídos de solo laterítico, material areno-argiloso, concreções ferruginosas e fragmentos de quartzo.	2
	Psbsh	Rochas pelíticas constituídas de siltitos argilosos, arenitos subordinados, lentes carbonáticas correspondentes à margas e calcarenitos muito finos.	4
	Psbls	Rochas carbonáticas constituídas predominantemente por calcarenitos com intercalações de calcissitos, espatito/microespatito, brecha, estromatólitos e milotonitos protoderivados.	10
	Psbpl	Rochas carbonáticas constituídas predominantemente por calcissitos, manjar, micropatitos, micritos, subordinadamente calcarenitos muito finos e milonitos protoderivados.	9
	Agngr	Domínio de migmatitos com estruturas diversas; granotóides; gnaisses a homblenada; biotita - gnaisse; diopsídio - anfibólio - gnaisse.	2
Potencial de Ocorrência de Cavernas	Muito Alto	Rocha carbonática, evaporito e formação ferrífera	10
	Alto	Calcrete, calcilutito, mármore e marga.	7
	Médio	Arenito, calcixisto, carbonatito, conglomerado, micaxisto, filito, folhelho, fosforito, grauvaca, milonito, quartzito, ortoquartzito, pelito, ritmito, rocha calci-silicática, siltito e xisto.	6
	Baixo	Andesito, anfibolito, anatexito, anortosito, aplito, adamelito, ardósia, argilito, arcoseo, basalto, brecha, calcedonito, charnockito, cloritito, cromitito, dacito, diamictito, dunito, enderbitito, fenito, fonolito, foyaito, gabro, glimmerito, gnaisse, go	2
	Ocorrência Improvável	Aluvião, areia, argila, cascalho lamito, linhito, demais sedimentos, turfa e tufo.	1
Zoneamento Ambiental da APA Carste de Lagoa	ZCEAM	Zona de conservação do equilíbrio ambiental metropolitano.	5
	ZCDUI	Zona de conservação e desenvolvimento urbano e industrial.	7
	ZCDA	Zona de conservação e desenvolvimento agrícola.	6

Santa	ZCPD	Zona de conservação do planalto das dolinas.	7
	ZPPC	Zona de proteção do patrimônio cultural.	7
	ZPPNC	Zona de proteção das paisagens naturais do carste.	8
Polígonos Minerários - DNPM	Autorização de pesquisa		6
	Concessão de lavra		10
	Disponibilidade		3
	Licenciamento		7
	Requerimento de lavra		6
	Requerimento de licenciamento		4
	Requerimento de pesquisa		4
Declividade	Muito Fraco	< 6%	4
	Fraco	6% à 12%	5
	Médio	12% à 20%	7
	Forte	20% à 30%	7
	Muito Forte	> 30%	8
Solos	LEa1	Latossolo Vermelho Escuro álico A moderado textura muito argilosa, relevo plano e suave ondulado.	3
	LEa2	Fase da unidade LEa1, relevo suave ondulado.	3
	PEe1	Podzólico Vermelho-Escuro eutrófico Tb A moderado textura muito argilosa, relevo plano e suave ondulado.	4
	PEe2	Podzólico Vermelho-Escuro eutrófico Tb A moderado + Cambissolo Latossólico álico a moderado, ambos textura muito argilosa, relevo ondulado e forte ondulado com microrrelevo forte (cárstico).	6
	CAa1	Cambissolo álico Tb A moderado + Cambissolo Latossólico álico a moderado, textura muito argilosa, relevo suave e ondulado e ondulado com microrrelevo moderado (cárstico).	6
	CAa2	Cambissolo álico Tb A moderado textura muito argilosa cascalhenta e não cascalhenta + Cambissolo Latossólico álico A moderado textura muito argilosa, pedregoso e não pedregoso relevo suave ondulado e ondulado.	4
	CAa3	Cambissolo álico Tb A moderado textura muito argilosa cascalhenta e não cascalhenta, pedregoso e não pedregoso, relevo ondulado e forte ondulado.	5
	CAe	Cambissolo Gleico eutrófico Tb A moderado textura muito argilosa, relevo plano e suave ondulado (dolinas).	6
	CLa1	Cambissolo Latossólico álico A moderado + Cambissolo álico Tb A moderado, ambos textura muito argilosa, relevo plano e suave ondulado.	5
	CLa2	Fase da unidade CLa, relevo suave ondulado e ondulado.	4
	AR	Afloramentos de Rocha.	8
	X	Áreas de mineração.	9

Tabela 4.1: Tabela DELPHI – Registro das notas dos atributos.

A Tabela 4.2 apresenta a opinião dos especialistas sobre o quanto, em termos percentuais, cada tema contribuiria na definição do grau de vulnerabilidade do patrimônio espeleológico.

Variável	Peso (%)
Geologia	14
Geomorfologia	8
Solos	13
Vulnerabilidade dos aquíferos	17
Declividade	6
Uso e ocupação do solo	4
Polígonos minerários - DNPM	14
Potencial de ocorrência de cavernas	12
Zoneamento ambiental da APA	12

Tabela 4.2: Tabela DELPHI 2 – Percentual de contribuição dos temas.

Os dados desta planilha foram utilizados no algoritmo gerado pela ferramenta *Raster Calculation* da extensão *Spatial Analyst* do ArcGIS. O resultado da aplicação deste algoritmo indicou as áreas onde o patrimônio espeleológico se encontra mais vulnerável às ações antrópicas, conforme pode ser observado no mapa da Figura 4.11.

O mapa de vulnerabilidade contribuiu para a classificação das cavernas segundo o grau de vulnerabilidade da região na qual se encontram e que está representada na Tabela 4.3. Esta classificação foi obtida através da sobreposição da base de dados referente à localização das cavidades do interior da APA (CECAV, 2010) com o mapa de vulnerabilidade produzido conforme a metodologia descrita neste trabalho.

Grau de vulnerabilidade	Quantidade de cavernas
Muito Alta	215
Alta	289
Média	34
Baixa	4
Muito Baixa	3

Tabela 4.3: Classificação das cavidades conforme o grau de vulnerabilidades.

Mapa de Vulnerabilidade a Ações Antrópicas do Patrimônio Espeleológico da APA Carste de Lagoa Santa

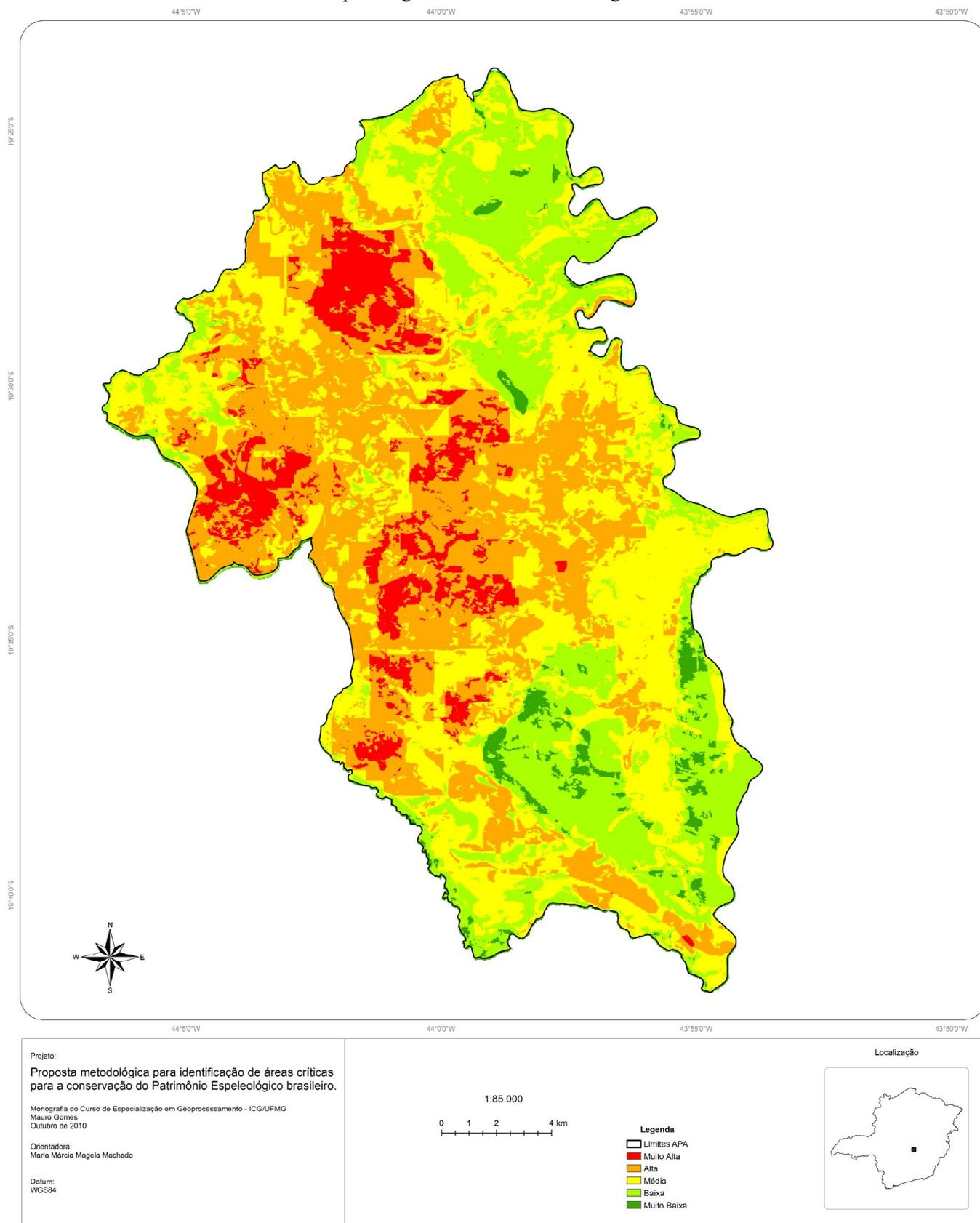


Figura 4.11 – Mapa de vulnerabilidade a ações antrópicas ao patrimônio espeleológico da APA Carste de Lagoa Santa

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

O resultado deste trabalho indica que grande parte da unidade de conservação apresenta graus elevados de vulnerabilidade do patrimônio espeleológico. O detalhamento destas áreas, obtido através do mapa produzido pode contribuir na gestão da APA Carste de Lagoa Santa no que se refere, por exemplo, à emissão de anuência da unidade de conservação nos processos de licenciamento ambiental que são submetidos à sua apreciação e também pode servir como orientação no planejamento e gestão das atividades de vistoria e fiscalização ali realizados.

Uma das linhas de trabalho que pode ser decorrente da análise deste mapa é o estudo do padrão de ocorrência das ações antrópicas sobre áreas de alta vulnerabilidade em comparação com o padrão a ser identificado nas áreas de baixa vulnerabilidade. O resultado desta pesquisa poderá definir medidas a serem adotadas para a prevenção ou mitigação de impactos sofridos pelas cavidades naturais nas áreas carsticas.

Os procedimentos descritos neste trabalho se referem especificamente à aplicação da análise multicritérios no exocarste, ou seja, as variáveis analisadas se referem apenas ao ambiente externo da caverna, porém, a análise do procedimento criado e dos seus resultados indica a possibilidade de aplicação desta ferramenta também no endocarste, considerando para isto os indicadores a serem monitorados no interior das cavidades.

A utilização da análise multicritérios apresentou resultados que atenderam as expectativas iniciais no que se refere à identificação de áreas onde o patrimônio espeleológico está mais vulnerável às ações antrópicas. A metodologia desenvolvida se mostrou eficaz e poderá ser reaplicada em outras regiões, entretanto, por se tratar de uma sistemática ainda em fase de desenvolvimento, é necessário a realização de ajustes nos procedimentos descritos para a definição do modelo mais indicado para aplicação nas demais localidades com a ocorrência de cavernas.

Existe também a necessidade de execução de um procedimento de validação da metodologia, que deverá incluir a realização de visitas às áreas identificadas no mapa para a comprovação, em campo, da situação apresentada no mapa de vulnerabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERIGI, S.; PECEQUILO, B. R. S. Níveis de Radônio em cavernas do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR). **Pesquisas em turismo e paisagens cársticas**. Campinas, v.1, p.43-54, 2008

ALT, L. **Efetividade sócio-ambiental da APA Carste de Lagoa Santa-MG**: Uma avaliação a partir de suas ferramentas de planejamento e gestão. Belo Horizonte, 2008. Dissertação de mestrado – Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais.

AULER, A. **Espeleologia**: Noções Básicas. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2005. 102p.

AULER, A.; PILÓ, L. B. Introdução à Espeleologia. In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Curso de Espeleologia e licenciamento ambiental**. Brasília, 2010. p.7-23.

BEKER, M. *et al.* **Identificação de zonas prioritárias para a conservação considerando os recursos hídricos na região da bacia do alto Paraguai**. In: ANAIS 2º SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS DO PANTANAL, 2009, Corumbá, MS. Embrapa Informática Agropecuária/INPE. p.372-382.

BRASIL. Constituição (1998). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 347, de 10 de setembro de 2004. Dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico. Diário Oficial da União. Brasília, 13 de setembro de 2004. Ed. 176 - Seção 1 p. 54-55.

BRASIL. Lei 9.985 de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação. Diário Oficial da União. Brasília, 19 de julho de 2000. Seção 1, n.138, p.45-47.

BRASIL. Decreto 99.556 de 01 de outubro de 1990. Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional, e dá outras providências. Diário Oficial da União

BRASIL. Decreto n. 6.640 de 07 de novembro de 2008. Dá nova redação aos arts. 1o, 2o, 3o, 4o e 5o e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto no 99.556, de 1o de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. Diário Oficial da União. Brasília, 10 de novembro de 2008. Seção 1, n.218.

BRASIL. Decreto n. 98.881 de 25 de janeiro de 1990. Dispõe sobre a criação de área de proteção ambiental no estado de Minas Gerais e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, 26 de janeiro de 1990. Seção 1, n.19, p.2-4.

BRASIL, Portaria n. 358 de 30 de setembro de 2009. Institui o Programa Nacional de Conservação do patrimônio espeleológico, que tem como objetivo desenvolver estratégia nacional de conservação e uso sustentável do patrimônio espeleológico brasileiro. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, n. 188, p. 63. 01 out. 2009.

CASANOVA, M. A. *et al.* **Banco de dados geográfico**. Curitiba, PR. Mundo GEO, 2005. 506p.

CECAV. **Base de dados de Minas Gerais**. Disponível em http://www4.icmbio.gov.br/cecav/index.php?id_menu=228 Acesso em 22 de setembro de 2010.

CIGNA, A. A. *Modern trend in cave monitoring*. *Acta Carsologica*, Ljubljana, 31/1-3, p. 35-54, 2002.

CONAMA. Resolução n. 347 de 10 de setembro de 2004.

CONAMA. Resolução n. 001 de 23 de janeiro de 1986. Estabelece definições, responsabilidades, critérios básicos e diretrizes gerais para uso e implementação da avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União. Brasília, 17 de fevereiro de 1986.

CRUZ, J. B.; REINO, J. R.; MEDEIROS, R. C. S. Histórico e contextualização legal. In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Curso de Espeleologia e licenciamento ambiental**. Brasília, 2010.

DIAS, F. S. **Estudo do aquífero carbonático da cidade de Barroso (MG):** Uma contribuição à gestão do manancial subterrâneo. Belo Horizonte, 2009. Tese de doutorado – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

FERREIRA, C. F. Análise de impactos ambientais em terrenos cársticos e cavernas. In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Curso de Espeleologia e licenciamento ambiental.** Brasília, 2010.

FERREIRA, R. L. Biologia subterrânea: Conceitos gerais e aplicação na interpretação e análise de estudos de impacto ambiental. In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Curso de Espeleologia e licenciamento ambiental.** Brasília, 2010. p.85-114.

GALVÃO, A. L. O.; JANSEN, D. C.; LIMA, M. F. **Relatório da distribuição das cavidades naturais subterrâneas por unidade de conservação.** Disponível em http://www4.icmbio.gov.br/cecav/index.php?id_menu=403 Acesso em: 23 de setembro de 2010.

GILLIESON, D. *Caves: process, development, and management.* United Kingdom: Blackwell Publishers Ltd, 1996. p.315.

IBAMA. **APA Carste de Lagoa Santa:** patrimônio espeleológico, histórico e cultural. Brasília, IBAMA/CPRM, 1998. p.69.

IBAMA. Portaria n.57, de 05 de junho de 1997. Institui o “Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas – CECAV”, que passa a ter a constituição e o funcionamento constantes no anexo desta portaria. Diário Oficial da União, Brasília, 06 de junho de 1997. Seção 1, n.106, p.91.

IBAMA. Portaria n.887 de 15 de junho de 1990. Diário Oficial da União. Brasília, 20 de junho de 1990. Seção 1.

IBGE. **Mapa de vegetação do Brasil.** 1993

ICMBIO. Portaria n.78 de 03 de setembro de 2009. Cria o Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. Diário Oficial da União. Brasília, 04 de setembro de 2009. Seção 1, n.170, p.235-236.

INPE. **Fundamentos de geoprocessamento.** Apostila do curso de Fundamentos de Geoprocessamento proferido pelo INPE no Ministério Público do estado de Mato Grosso. Cuiabá, 01 de julho de 2005.

INPE. **Introdução ao SPRING.** Apostila do curso de Introdução ao SPRING proferido pelo INPE no Ministério Público do estado de Mato Grosso. Cuiabá, 22 de setembro de 2005.

INPE. **Tutorial 10 aulas: SPRING 5.0.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008. Apostila disponível em <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/banco.html>. Acesso em 18 de outubro de 2010.

JANSEN, D. C. **Monitoramento e avaliação de impactos sobre o patrimônio espeleológico.** Projeto de atuação do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – CECAV, Brasília, 30 de agosto de 2010.

LIMA, J. G. A. **Etno-Espeleologia: O estudo das manifestações culturais dos povos e suas relações com as cavernas.** In: Anais XXVII Congresso brasileiro de espeleologia, 2003, Januária, Minas Gerais. Sociedade Brasileira de Espeleologia. p.1-2.

LOBO, H. A. S. *et al.* **Eventos musicais causam impacto no micro clima de cavernas?: Avaliação das alterações na atmosfera subterrânea da gruta Morro Preto (PETAR, Iporanga, SP).** **GEONOMOS**, Belo Horizonte, v17, p.1-10, 2009.

LOCH, R. E. N. **Cartografia:** Representação, comunicação e visualização de dados espaciais. Florianópolis: Ed. UFSC, 2006. p.303.

MARTINS, V. B. **Metodologia baseada em sistemas de informação geográfica e análise multicritério para a seleção de áreas para a construção de um repositório para o combustível nuclear usado.** Rio de Janeiro, 2009. 124p. Tese de doutorado apresentada ao programa de pós graduação em Engenharia Nuclear, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

MMA. Portaria n.358 de 30 de setembro de 2009. Institui o Programa Nacional de Conservação do patrimônio espeleológico, que tem como objetivo desenvolver estratégia

nacional de conservação e uso sustentável do patrimônio espeleológico brasileiro. Diário Oficial da União. Brasília, 01 de outubro de 2009. Seção 1, n.188, p.63-64.

MOURA, A. C. M. **Reflexões metodológicas como subsídios ambientais baseados em Análise Multicritério.** In: ANAIS XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis, SC. INPE. p.2899-2906

OHM, R.; REECE, M. *Using GIS to manage two large cave systems, Wind and Jewel caves, South Dakota.* **Journal of cave and karst studies.** Alabama, USA. v.64, p.4-8, 2002.

PILÓ, L. B. Ambientes cársticos de Minas Gerais: Valor, fragilidade e impactos ambientais decorrentes da atividade humana. **O Carste.** Belo Horizonte, vol.11, n.3, p.50-58, julho de 1999.

XAVIER DA SIVA, J. **Geoprocessamento para análise ambiental.** Rio de Janeiro: Ed do Autor, 2001. 227p.

SOUZA, S. **Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas potenciais à degradação da qualidade da água.** Monografia do curso de Especialização em Geoprocessamento, 2008. Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais.

VETORAZZI, C. A. **Análise multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando a conservação de recursos hídricos.** Piracicaba, 2006. Tese para obtenção do título de Livre Docente do Departamento de Engenharia Rural na especialidade/disciplina Topografia – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo.

ANEXO 1 – Portaria No 358 de 30 de Setembro de 2009

Diário Oficial da União - Seção

Nº 188, quinta-feira, 1 de outubro de 2009

ISS_ 1677-7042 63

GABINETE DO MINISTRO PORTARIA No- 358, DE 30 DE SETEMBRO 2009

A MINISTRA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE, INTERINA, no uso de suas atribuições, e tendo em vista o disposto nos Decretos nº 6.101, de 26 de abril de 2007 e 99.556, de 1º de outubro de 1990, na redação dada pelo Decreto nº 6.640, de 7 de novembro de 2008, e

Considerando o art. 225 da Constituição Federal de 1988 que incumbe ao Poder Público preservar e restaurar os processos ecológicos essenciais e prover o manejo ecológico das espécies e ecossistemas;

Considerando a Lei no 6.938 de 31 de agosto de 1981, que institui a Política Nacional de Meio Ambiente, definindo diretrizes, objetivos, sistema e instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente;

Considerando a Lei no 9.985 de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC e dá outras providências;

Considerando a Lei no 11.516, de 28 de agosto de 2007, que dispõe sobre a criação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, definindo competências relacionadas à conservação e proteção do patrimônio espeleológico;

Considerando o Decreto nº 99.566, de 9 de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas, alterado pelo Decreto no 6.640, de 7 de novembro de 2008;

Considerando o Decreto nº 4.339 de 22 de agosto de 2002, que estabelece as diretrizes da Política Nacional de Biodiversidade, dispondo sobre a conservação e proteção de ecossistemas relevantes;

Considerando ainda a Resolução nº 347, de 10 de setembro de 2004, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, que dispõe sobre a proteção patrimônio espeleológico, resolve:

Art. 1º Instituir o Programa Nacional de Conservação do patrimônio espeleológico, que tem como objetivo desenvolver estratégia nacional de conservação e uso sustentável do patrimônio espeleológico brasileiro.

Art. 2º O Programa Nacional de Conservação do patrimônio espeleológico tem como princípios:

I - todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se, ao Poder Público e à coletividade, o dever de defendê-lo e de preservá-lo para as presentes e as futuras gerações;

II - onde exista evidência científica de dano irreversível à diversidade biológica, o Poder Público determinará medidas eficazes para evitar a degradação ambiental;

III - a instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente deverá ser precedida de estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade; e

IV - o valor de uso da biodiversidade é determinado pelos valores culturais e inclui valor de uso direto e indireto, de opção de uso futuro e, ainda, valor intrínseco, incluindo os valores ecológico, geológico, genético, social, econômico, científico, educacional, cultural, recreativo e estético.

Art. 3º As diretrizes gerais do Programa Nacional de Conservação do patrimônio espeleológico são:

I - valorização do patrimônio espeleológico, bem da sociedade brasileira;

II - integração de ações setoriais, por meio da descentralização de ações, do fortalecimento da ação governamental, do estabelecimento de parcerias e envolvimento dos setores interessados na implementação do Programa;

III - abordagem ecossistêmica para a gestão do patrimônio espeleológico, avaliando problemas, identificando soluções e propondo medidas adequadas de conservação, uso sustentável e recuperação dos recursos da geodiversidade.

Art. 4º Os Componentes do Programa Nacional da Conservação do patrimônio espeleológico devem ser considerados como os eixos de orientação para as etapas de detalhamento, implementação e avaliação deste Programa.

I - as metas estabelecidas para os Componentes poderão considerar a abordagem por bacias hidrográficas brasileira, quando couber;

II - as metas do Programa poderão ser detalhadas em Planos de Ação, para melhor desempenho da implementação do Programa; e

III - o Programa Nacional da Conservação do patrimônio espeleológico abrange os seguintes Componentes:

a) Componente 1 - Conhecimento do patrimônio espeleológico: visa o apoio à geração, sistematização e disponibilização de informações sobre o patrimônio espeleológico do país, apoiando a gestão com metas relacionadas à produção de inventários, à realização de pesquisas, tendo as seguintes metas iniciais:

1. Inventário Anual do patrimônio espeleológico Nacional;

2. Diagnóstico das Unidades Espeleológicas do Brasil; e

3. Programa de pesquisa aplicado à conservação e manejo de cavernas.

b) Componente 2 - Conservação do patrimônio espeleológico: visa a conservação *in situ* dos ecossistemas, incluindo os serviços ambientais, bem como definição de ações para implementação de instrumentos econômicos para a conservação do patrimônio espeleológico, tendo as seguintes metas iniciais:

1. Criação 30 Unidades de Conservação Federais com o objetivo de proteger cavidades naturais subterrâneas de significativa importância ecológica e cênica; e

2. Realização de estudos espeleológicos na elaboração de Planos de Manejo nas Unidades de Conservação federais.

c) Componente 3 - Utilização Sustentável dos Componentes do patrimônio espeleológico: prioriza metas de uso sustentável do patrimônio espeleológico, incluindo o ordenamento do esporturismo e o apoio a práticas e negócios sustentáveis que garantam a manutenção da geodiversidade e da funcionalidade do patrimônio espeleológico, tendo como meta inicial a elaboração de um programa de turismo sustentável para as cavernas brasileiras, incentivando a inserção do Brasil no cenário mundial da prática de espeleomergulho, com abertura do circuito nacional;

d) Componente 4 - Monitoramento, Avaliação, Prevenção e Mitigação de Impactos sobre o patrimônio espeleológico: visa estabelecer e fortalecer sistemas de monitoramento, de avaliação, de prevenção e de mitigação de impactos sobre o patrimônio espeleológico, apoiando inclusive processos de recomposição e recuperação dos ecossistemas degradados e dos componentes da geodiversidade, tendo como meta inicial a elaboração de norma para regulamentação do uso do patrimônio espeleológico com base no diagnóstico espeleológico brasileiro e em consonância com os princípios estabelecidos neste Programa;

e) Componente 5 - Divulgação sobre o patrimônio espeleológico: objetiva comunicar para os setores interessados informações sobre o patrimônio espeleológico, com a participação da sociedade, comunidade científica, povos indígenas, quilombolas e outras comunidades locais, no respeito à conservação do patrimônio espeleológico, tendo as seguintes metas iniciais:

1. Lançamento da Revista Brasileira de Espeleologia; e

2. Criação e implementação do Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas - CANIE.

f) Componente 6 - Fortalecimento Institucional para a Gestão do patrimônio espeleológico: objetiva o fortalecimento da infra-estrutura, formação e fixação de recursos humanos, criação de mecanismos de financiamento e fortalecimento do marco-legal, tendo como meta inicial a realização do primeiro curso de pós-graduação lato sensu em espeleologia do Brasil.

Art. 5º Cabe ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBIO a coordenação do Programa Nacional de Conservação do patrimônio espeleológico.

§ 1º O Instituto Chico Mendes estabelecerá Comitê Assessor, coordenado pelo Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas - CECAV, para auxiliar na elaboração, implementação e monitoramento do presente Programa.

§ 2º A competência, estrutura e representantes do Comitê Assessor serão definidos em ato específico no prazo de até 90 (noventa) dias após a data de publicação desta Portaria.

Art. 6º O Instituto Chico Mendes detalhará o Programa Nacional de Conservação do patrimônio espeleológico, com inclusão de outras metas para cada componente no prazo máxima de 180 (cento e oitenta) dias a contar da data de publicação desta Portaria.

Art. 7º Na implementação do Programa Nacional do patrimônio espeleológico, caberá ao Instituto Chico Mendes propor ao Ministério do Meio Ambiente:

I - articulação das ações do Programa Nacional do patrimônio espeleológico no âmbito do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA e junto aos demais setores do governo e da sociedade;

II - projetos em apoio às ações previstas no Programa Nacional do patrimônio espeleológico, buscando recursos financeiros;

III - articulação com os Ministérios afetos aos temas tratados para a elaboração e encaminhamento de propostas de criação ou modificação de instrumentos legais necessários à execução do Programa Nacional do patrimônio espeleológico;

IV - integração de políticas setoriais visando a implementação de ações direcionadas à gestão sustentável do patrimônio espeleológico (conservação, utilização sustentável, avaliação de impactos); e

V - estímulo à cooperação interinstitucional e internacional para a melhoria da implementação das ações de gestão do patrimônio espeleológico.

Art. 8º Na implementação do Programa Nacional do patrimônio espeleológico, caberá ao Instituto Chico Mendes:

I - coordenar a elaboração do Programa, definindo as metas a serem alcançadas, o arranjo de implementação do Programa, as parcerias necessárias e os indicadores para alcance do objetivo do Programa;

II - acompanhar e avaliar a execução dos componentes do Programa Nacional do patrimônio espeleológico;

III - monitorar, inclusive com indicadores, a execução das ações previstas do Programa Nacional do patrimônio espeleológico;

IV - coordenar a elaboração de Planos de Ação para o patrimônio espeleológico, decorrentes das metas estabelecidas no Programa; e

V - acompanhar, monitorar e avaliar a execução de Planos de Ação, decorrentes do detalhamento das metas do Programa.

Art. 9º A ação Conservação e Manejo do patrimônio espeleológico, código 18.541.1332.296.0001, do Programa Conservação e Recuperação de Biomas Brasileiro, do Plano Plurianual 2008-2011 financiará exclusivamente o Programa Nacional de Conservação do patrimônio espeleológico.

Art. 10º Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

IZABELLA TEIXEIRA