



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS



Ítalo Sousa de Sena

**ANÁLISE DO POTENCIAL GEOTURÍSTICO DA REGIÃO CENTRAL DA ÁREA DE
PROTEÇÃO AMBIENTAL CARSTE DE LAGOA SANTA - MG**

Belo Horizonte
2015

Ítalo Sousa de Sena

**ANÁLISE DO POTENCIAL GEOTURÍSTICO DA REGIÃO CENTRAL DA ÁREA DE
PROTEÇÃO AMBIENTAL CARSTE DE LAGOA SANTA - MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientadora: Úrsula Ruchkys de Azevedo

Coorientador: Carlos Fernando Ferreira Lobo

Belo Horizonte
Instituto de Geociências da UFMG

2015



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS

Aprovado pela Banca Examinadora em cumprimento a requisito para obtenção do
Título de **Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais**.

Dra. Úrsula Ruchkys de Azevedo IGC-UFMG
Orientadora

Dr. Carlos Fernando Ferreira Lobo IGC-UFMG
Coorientador

Dr. Ricardo Alexandrino Garcia IGC-UFMG
Membro da Banca, convidado

Dra. Ana Clara Moura Mourão NPGAU-UFMG
Membro da Banca, convidado

Dr. Múcio do Amaral Figueiredo DEGEO-UFSJ
Membro da Banca, convidado

Belo Horizonte, 18 de dezembro de 2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço;

Primeiramente aos meus pais e aos meus irmãos, por incentivarem desde o princípio a continuidade dos meus estudos, dando todo o apoio necessário ao longo da minha trajetória acadêmica;

À minha companheira de vida Elisa, que teve paciência em me tranquilizar perante as tensões da pesquisa, além de me dar apoio incondicional desde que começamos a dividir nossas rotinas;

À orientação da professora Úrsula, que foi imprescindível para que eu tomasse os caminhos da pesquisa em geoconservação;

Ao professor Carlos Lobo pela coorientação, e amizade que perdura desde os tempos da graduação;

Aos demais professores com os quais tive a oportunidade de dialogar a respeito de temas diversos ao longo das disciplinas, contribuindo para meu amadurecimento intelectual;

Aos dias de "sala da justiça", que foi palco da construção de amizades que irão perdurar uma vida, além de discussões engrandecedoras que ajudaram no desenvolvimento desta e demais produções científicas;

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão da bolsa de estudos;

Ao Instituto Estadual de Florestas (IEF), pelas figuras do Rogério Tavares e Cíntia Avelar, pela licença de pesquisa e apoio logístico durante os trabalhos de campo;

Aos parceiros do IBAMA/ICMBio pela concessão dos dados e abertura de espaço para apresentação da pesquisa junto ao conselho consultivo da APA Carste;

Aos amigos Carla Pereira, Darcy José Santos, Mauro Gomes e Rafael Salvador que me ajudaram na realização dos trabalhos de campo;

E aos demais que não estão aqui, mas com certeza, de alguma forma, contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

Nas últimas décadas o desenvolvimento dos ideais conservacionistas contribuiu de forma significativa para o aparecimento de novas modalidades de turismo. Dentre estas modalidades destaca-se o geoturismo, o qual tem como foco o aproveitamento turístico dos elementos abióticos da natureza, visando a sua valorização científica, didática e contemplativa. Atrelado ao geoturismo criou-se o conceito de geoconservação, que consiste principalmente em iniciativas voltadas para a proteção da geodiversidade, termo que descreve a diversidade dos componentes geológicos, geomorfológicos e pedológicos de uma determinada região. Para que as iniciativas atreladas ao geoturismo consigam ser empregadas de forma satisfatória, diversos métodos e técnicas de levantamento de dados foram desenvolvidos, tal como a inventariação e avaliação de geossítios. Com base em metodologias de quantificação de geossítios associado a ferramentas de modelagem cartográfica, esta pesquisa realizou um inventário de sítios de interesse para a geodiversidade na região central da APA Carste de Lagoa Santa, quantificando os valores associados à geodiversidade local, espacializando os dados por meio de técnicas de interpolação e análise multicritérios. Os resultados apresentaram que a porção centro-norte da área de estudo apresentou maior potencial para o geoturismo, enquanto a porção sul se mostra pouco apta para iniciativas desta natureza.

Palavras-chave: Geodiversidade, Geoturismo, Carste, Inventariação de Geossítios, Análise Multicritérios

ABSTRACT

During the last decades the development of conservationists ideas contributed significantly to appearance of new modalities of tourism. Among these modalities we highlight geotourism, which focuses on the touristic use of abiotic elements of nature, with a view to their scientific, didactic and contemplative values. Linked to geotourism was created the concept of geoconservation, which mainly consists of initiatives focused on protecting geodiversity, a term that describes the diversity of geological, geomorphological and pedological components of a particular region. In order for initiatives linked to the geotourism able to be used satisfactorily, several methods and data collection techniques were developed, such as inventory and assessment of geosites. Based on geosites quantification methodologies along with cartographic modeling tools, this research conducted an inventory of sites of interest to the geodiversity in central APA Carste Lagoa Santa, quantifying the values associated with the local geodiversity, spatializing data through interpolation and advanced analysis techniques. The results showed that the north-central portion of the study area showed the highest potential for geotourism, while the southern portion shown little apt for such initiatives.

Keywords: Geodiversity, Geotourism, Karst, Inventory of Geosites, Multicriteria Analysis

LISTA SIGLAS

APA - Área de Proteção Ambiental

CANIE - Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas

CPRM - Companhia Nacional de Pesquisa Mineral

EFCB - Estrada de Ferro Central do Brasil

GCR - *Geological Conservation Review*

GGN - *Global Geoparks Network*

GIGLES - *Global Indicative List of Geological Sites*

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IDW - *Inverse Distance Weighting*

IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

ISM - Instituto Superior Mineiro e Metalúrgico

LIGeom - Locais de Interesse Geomorfológico

MONA - Monumento Natural Estadual

PECG - Parque Estadual de Cerca Grande

PESU - Parque Estadual do Sumidouro

PIG - Pontos de Interesse Geológico

PUD - Potencial de Uso Didático

PUT - Potencial de Uso Turístico

RD - Risco de Degradação

RMBH - Região Metropolitana de Belo Horizonte

RPPN - Reserva Particular do Patrimônio Natural

SAD 69 - *South America Datum 1969*

SAPVN - Sistema de Áreas Protegidas do Vetor Norte

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SIGEP - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos

SIRGAS 2000 - Sistema de Referência Geocêntrico das Américas 2000

SRTM - *Shuttle Radar Topographic Mission*

UC - Unidade de Conservação

IUS - *International Union of Speleology*

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura

USGS - *United States Geological Survey*

ZEE - Zoneamento Econômico Ecológico

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diferentes relações da Geodiversidade	17
Figura 2: Aspectos sistêmico da paisagem cárstica	20
Figura 3: Mapa de localização da área de estudo	31
Figura 4: Contexto geológico da APA Carste de Lagoa Santa	33
Figura 5: Retrato de Lund aos seus 46 anos	36
Figura 6: Representação feita por Brandt das pinturas rupestres de Cerca Grande.....	37
Figura 7: Representantes da megafauna, extintos no último período glacial. As espécies apresentadas são: (A) Eremotherium laurillardi, (B) Haplophorus euphractus e (C)Taxodon platensis	38
Figura 8: Estruturas utilizadas para as pesquisas na Lapa do Mosquito	38
Figura 9: Fluxograma metodológico da pesquisa.....	40
Figura 10: Fluxograma metodológico do cálculo do Índice de Geodiversidade da APA Carste de Lagoa Santa.....	43
Figura 11: Locais de Interesse para a Geodiversidade.....	45
Figura 12: Esquema da dependência espacial do interpolador IDW	47
Figura 13: Mapa de fragilidade do meio abiótico da área de estudos.....	48
Figura 14: Mapa de vias e trilhas da área de estudos.....	49
Figura 15: Localização dos pontos de observação da geodiversidade.....	50
Figura 16: Aspecto da representação espacial dos dados pontuais de cavernas no formato raster utilizando diferentes ferramentas	52
Figura 17: Resultados dos índices de geodiversidade, utilizando Buffer (esquerda) e Kernel Density (direita).....	53
Figura 18: Mapa do índice de geodiversidade da APA Carste de Lagoa Sant.....	55
Figura 19: Maciço ruíniforme característico do local.....	57
Figura 20: Depressão que circunda os maciços calcários (poljé)	57
Figura 21: Aspecto de uma das cavidades naturais subterrâneas do sítio.....	58
Figura 22: Pinturas rupestres de Cerca Grande em detalhe	59
Figura 23: Aspecto da borda de uma dolina que compõe o sítio.....	60
Figura 24: Depressão característica da região das planícies cársticas fluviais.....	61
Figura 25: Aspecto de uma área alagada característica do local	62
Figura 26: Aspecto das feições cársticas da parte externa do maciço da Jaguará.....	62
Figura 27: Aspectos das marcas de fluxo hidrológico. Foto: Ítalo Sena.....	63
Figura 28: Espeleotema do tipo coluna, formado pelo encontro de estalactite com estalagmite	64
Figura 29: Vista do abrigo Samambaia a partir de uma estrada vicinal	66
Figura 30: Picoteamentos em bloco de rocha na base do abrigo Samambaia.....	67
Figura 31: Figuração rupestre localizada a cerca de 5 metros de altura em pequena depressão na rocha	67
Figura 32: Grande diáclase que corta o maciço no sentido NW-SE.....	68
Figura 33: Croqui de dois locais de escalada presentes no sítio da Lapa do Seu Antão. 69	
Figura 34: Antigas estruturas de fornos usadas para o beneficiamento do calcário	70
Figura 35: Campo de visão a partir de uma rodovia pavimentada próxima ao sítio.....	71
Figura 36: Reconstrução do rosto e crânio de Luzia.....	71
Figura 37: Entrada da Gruta da Lapinha com estruturas de acesso	72
Figura 38: Aspecto do interior da Gruta da Lapinha	73
Figura 39: Vista de dentro da Gruta da Macumba.....	74

Figura 40: Aspecto do teto da Gruta de Túneis com meandros provenientes do processo paragenético.....	75
Figura 41: Mirante à beira da estrada de Fidalgo	76
Figura 42: Vista à partir do mirante.....	76
Figura 43: Aspecto do interior da lavra desativada da Mineração Finacal	78
Figura 44: Caverna preenchida por sedimentos	78
Figura 45: Vista panorâmica à partir do mirante localizado no topo do maciço.....	79
Figura 46: Sumidouro da lagoa homônima no inverno de 1976	80
Figura 47: Bastonetes com alternância de cor e depredações pretéritas à criação do Parque.....	81
Figura 48: Vista à partir da antiga ponte da MG-010	82
Figura 49: Lagoa preenchida durante período úmido	83
Figura 50: Vista da dolina durante período de estiagem.....	84
Figura 51: Entrada da gruta Vargem da Pedra	85
Figura 52: Pinturas rupestres com pixações no abrigo Vargem da Pedra.....	85
Figura 53: Espacialização dos dados interpolados por meio do método IDW.....	89
Figura 54: Variável correspondente à fragilidade do meio abiótico.....	90
Figura 55: Variável referente à capilaridade da área de estudos	91
Figura 56: Variável referente à visibilidade à partir dos pontos de observação.....	91
Figura 57: Relação de cada variável e seu peso	92
Figura 58: Mapa do Potencial Geoturístico da Região Central da APA Carste de Lagoa Santa.....	93
Figura 59: Relação espacial entre PGT e PUD.....	94
Figura 60: Relação Espacial entre PGT e PUT	95
Figura 61: Relação espacial entre PGT e RD.....	95

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA SIGLAS.....	7
LISTA DE FIGURAS	9
SUMÁRIO.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Geodiversidade, geoturismo e geoconservação	14
2.2 Estratégias de Geoconservação.....	20
2.3 Modelagem Cartográfica Aplicada aos Estudos de Geodiversidade.....	25
3 CARSTE DE LAGOA SANTA	30
3.1 Localização	30
3.2 Aspectos Naturais.....	30
3.3 Aspectos Históricos e Patrimoniais.....	34
4 MATERIAL E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	40
4.1 Revisão Teórica e Construção de Banco de Dados Cartográficos.....	41
4.2 Modelagem do Índice de Geodiversidade.....	41
4.2.1 Escolha das Variáveis.....	42
4.2.2 Processamento dos Dados	42
4.3 Avaliação e Quantificação de Geossítios	43
4.3.1 Inventário	44
4.3.2 Quantificação dos Sítios de Geodiversidade.....	45
4.3.3 Espacialização dos Dados.....	46
4.4 Modelagem do Potencial Geoturístico	47
4.4.1 Construção das Variáveis.....	47

4.4.2 Análise de Multicritérios.....	50
5 SÍTIOS DE GEODIVERSIDADE DA REGIÃO CENTRAL DA APA CARSTE DE LAGOA SANTA	52
5.1 Índice de Geodiversidade.....	52
5.2 Sítios Inventariados.....	56
5.2.1 Cerca Grande	56
5.2.2 Fazenda Campinho	59
5.2.3 Fazenda Experiência da Jaguará.....	60
5.2.4 Fazenda Samambaia	64
5.2.5 Lapa do Seu Antão	67
5.2.6 Lapa Vermelha	70
5.2.7 Maciço da Lapinha.....	72
5.2.8 Maciço do Baú.....	75
5.2.9 Mineração Finacal.....	77
5.2.10 Polié Sumidouro	79
5.2.11 Rio das Velhas	81
5.2.12 Vargem da Pedra.....	82
6 MODELAGEM CARTOGRÁFICA COMO ESTRATÉGIA DE GEOCONSERVAÇÃO.....	86
6.1 Espacialização dos Dados.....	86
6.2 Potencial Geoturístico	90
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	96
8 REFERÊNCIAS.....	98
9 ANEXOS	104

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento dos ideais conservacionistas, intensificados ao longo da segunda metade do século XX, contribuíram consideravelmente para o surgimento de novas modalidades turísticas relacionadas à utilização e valorização dos elementos naturais como atrativos turísticos. Dentre as áreas mais utilizadas por essas modalidades merecem destaque aquelas que são protegidas por lei e para as quais a pessoas se deslocam seja para lazer, prática de esportes ou simples contemplação. Esse é um fator positivo, tanto do ponto de vista da divulgação do patrimônio natural, como para sua conservação.

Dentre os segmentos turísticos que abordam a temática conservacionista podemos citar o geoturismo. Esta modalidade tem como enfoque o aproveitamento turístico dos elementos abióticos da natureza, tais como as rochas, o relevo, os recursos hídricos, os fósseis e os solos, que integram o conceito de geodiversidade. O geoturismo pode auxiliar na promoção da conservação dos elementos abióticos da natureza por meio de práticas educativas e interpretativas. A conservação dos elementos abióticos da natureza recebe o nome de geoconservação e, além do geoturismo, envolve também a avaliação quantitativa e qualitativa dos sítios que apresentam valores turístico, científico, didático e educativo.

O Estado de Minas Gerais se destaca por sua rica geodiversidade, contando com regiões que abrigam vestígios de momentos específicos da evolução geológica do continente, e que apresentam alta atratividade para a prática do geoturismo. Dentre as regiões de alta geodiversidade do Estado está a do carste de Lagoa Santa que, devido aos processos cársticos, apresenta feições singulares como alta densidade de cavernas, espelotemas, formas de relevo, entre outras.

Nesse contexto, a pesquisa tem como principal objetivo realizar, por meio de técnicas de modelagem de dados espaciais, o zoneamento do potencial geoturístico para a região central da APA Carste de Lagoa Santa, integrando o Sistema de Áreas Protegidas do Vetor Norte (SAPVN) da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) destacando a relevância da geodiversidade da área e o turismo de natureza já praticado no local. Tendo como base a hipótese condutora da pesquisa, de que a modelagem de potencial geoturístico pode contribuir para o desenvolvimento de políticas de geoconservação e geoturismo na região do SAPVN, na medida em que

facilita a identificação de áreas que apresentem potenciais de uso e risco de degradação, auxiliando na gestão do território.

Dentre os objetivos específicos desta pesquisa, destacam-se:

- Calcular os índices de geodiversidade da APA Carste de Lagoa Santa, visando gerar dados para a modelagem de potencial geoturístico;
- Avaliar os potenciais de uso didático e turístico dos sítios de geodiversidade que compõem o SAPVN, bem como o risco de degradação associado a estes;
- Espacializar o potencial geoturístico da região central da APA Carste de Lagoa Santa, onde está localizado o Parque Estadual do Sumidouro.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Geodiversidade, geoturismo e geoconservação

O termo geodiversidade foi inicialmente utilizado em meados da década de 1940 pelo geógrafo argentino Frederico Alberto Daus, que o utilizou para designar a diversidade geográfica, caracterizada por diversidades paisagísticas e culturais na concepção da geografia cultural (SERRANO; RUIZ FLAÑO, 2007).

Contudo, nas últimas décadas, o uso de termo foi modificado, sendo utilizado para a diversidade do meio abiótico de um determinado local, e de acordo com Brilha (2005), sua aplicação nesta nova concepção é fato relativamente recente. A evolução do termo tem se desenvolvido principalmente a partir da Convenção da Biodiversidade, momento em que a noção de equivalência na diversidade de formas e elementos do meio físico do planeta Terra era recorrente entre os geocientistas (GRAY, 2004).

A Royal Society for Nature Conservation do Reino Unido definiu, em 1993, que *“a geodiversidade consiste na variedade de ambientes geológicos, fenômenos e processos ativos que dão origem a paisagens, rochas, minerais, fósseis, solos e outros depósitos superficiais que são suporte pra vida na Terra”*, ressaltando que a geodiversidade, na concepção de diversidade geológica, tem sido discutida pioneiramente por especialistas europeus e australianos (BRILHA, 2005).

Kozłowski (2004) classifica a geodiversidade como a:

“variedade natural da superfície terrestre, envolvendo os seus aspectos geológicos e geomorfológicos, solos, águas superficiais, bem como todos os demais sistemas resultantes de processos naturais (endógenos e exógenos) ou antrópicos” (KOZŁOWSKI, 2004, p. 834).

No âmbito nacional, no ano de 2006, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) elaborou o "Mapa de Geodiversidade do Brasil" e cunhou o conceito de geodiversidade como a:

"natureza abiótica (meio físico) constituída por uma variedade de ambientes, fenômenos e processos geológicos que dão origem às paisagens, rochas, minerais, solos, águas, fósseis e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento da vida na Terra, tendo como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, o científico, o educativo e o turístico" (CPRM, 2008, p. 34).

Tal conceituação concorda com a de Sharples (2002) que, em seu trabalho clássico "Conceitos e Princípios para a Geoconservação", definiu o termo como a "*gama (ou diversidade) de arranjos, processos e sistemas geológicos (substrato), geomorfológicos (geoformas) e pedológicos, dotados de valores intrínsecos, ecológicos e antropocêntricos*", apresentando a agregação de valores à geodiversidade.

Assim como Pereira (2010), que realizou a inventariação e avaliação do patrimônio geológico da Chapada Diamantina no Estado da Bahia, classificou a geodiversidade como:

"O conjunto de elementos abióticos do planeta Terra, incluindo os processos físico-químicos associados, materializados na forma de relevos (conjunto de geoformas), rochas, minerais, fósseis e solos, formados a partir das interações entre os processos das dinâmicas interna e externa do planeta e que são dotados de valor intrínseco, científico, turístico e de uso/ gestão" (PEREIRA, 2010, p.17).

Assim, a geodiversidade pode ser vista como parte fundamental dos sistemas terrestres, sendo necessário pensar na conservação dos elementos associados a ela que possuem valor científico, cultural, estético, educacional e que integram o patrimônio geológico. Estes valores lhe são atribuídos em razão da sua função econômica, ecossistêmica e cultural, em virtude de que esta sustenta e mantém as relações sociais que ocorrem no espaço, além da vida de uma forma geral.

De acordo com Ruchkys (2009), os fósseis, minerais, relevo e as paisagens atuais são os registros e produtos da evolução do planeta, portanto são partes integrantes do mundo natural, assim:

"neste cenário de preocupação com a conservação dos testemunhos do passado, a Geologia tem ganhado novas áreas de atuação, entre as quais uma delas se refere ao reconhecimento de que o passado geológico impresso nos registros fósseis, nos minerais, no relevo e nas rochas constitui, além de um recurso econômico, um patrimônio que deve ser conservado. Dessa forma, a promoção e a conservação do patrimônio geológico entram no século XXI como um dos maiores desafios da comunidade de geociências" (RUCHKYS, 2009, p. 36).

Portanto, a defesa do patrimônio geológico deve se dar não só pela conservação, mas também pela sua valorização e divulgação de sua relevância para a sociedade (RUCHKYS, 2009). Tendo em vista que parte do patrimônio geológico se encontra hoje em áreas protegidas, se faz necessário pensar em formas de aproveitamento do potencial

turístico deste patrimônio, conciliando a conservação ambiental com a visitação pública (BENTO; RODRIGUES, 2013).

A percepção da sociedade com relação à conservação da natureza, na maior parte das vezes, faz relações somente como conservação da biodiversidade, tornando a conservação do meio abiótico algo secundário. Somente a partir da segunda metade do século XX surgiram esforços que almejassem a inclusão da conservação da geodiversidade nas políticas de conservação da natureza (PEREIRA, 2010). Este movimento contribuiu, junto com o desenvolvimento da ideia de geodiversidade, para a concepção do termo geoconservação.

Atualmente as iniciativas para a geoconservação têm ganhando força em todo o mundo e também no cenário nacional, neste último caso principalmente com projetos de difusão do patrimônio geológico para o público leigo. A criação do projeto Caminhos Geológicos desenvolvidos nos estados do Rio de Janeiro, Bahia e Paraná, são exemplos claros de como a geodiversidade e a geoconservação têm adquirido atenção por parte dos pesquisadores e também do poder público (MANSUR et al., 2013).

Outro fator que demonstra os avanços na pesquisa à cerca da geodiversidade são as candidaturas para a inserção de geoparques brasileiros no *Global Geoparks Network* (GGN) sob os Auspícios da UNESCO, que conta com candidaturas como as do Geopark do Quadrilátero Ferrífero (MG), Bodoquena-Pantanal (MS) e o Geopark Araripe no Ceará, este último já integrante da GGN (SCHOBENHAUS; SILVA 2012).

Contudo, para que a conservação dos elementos da geodiversidade tenha êxito, é necessário compreender que conservá-la como um todo é inviável, fazendo-se necessária uma análise dos aspectos relevantes e significativos, sob a perspectiva dos valores científicos, pedagógicos, turísticos, recreativos e da conservação do patrimônio natural (Figura 1). Isto é, estabelecendo estratégias para a aplicação da geoconservação, definindo quais componentes da geodiversidade devem ser foco das práticas de gestão e conservação (PEREIRA, 2010).

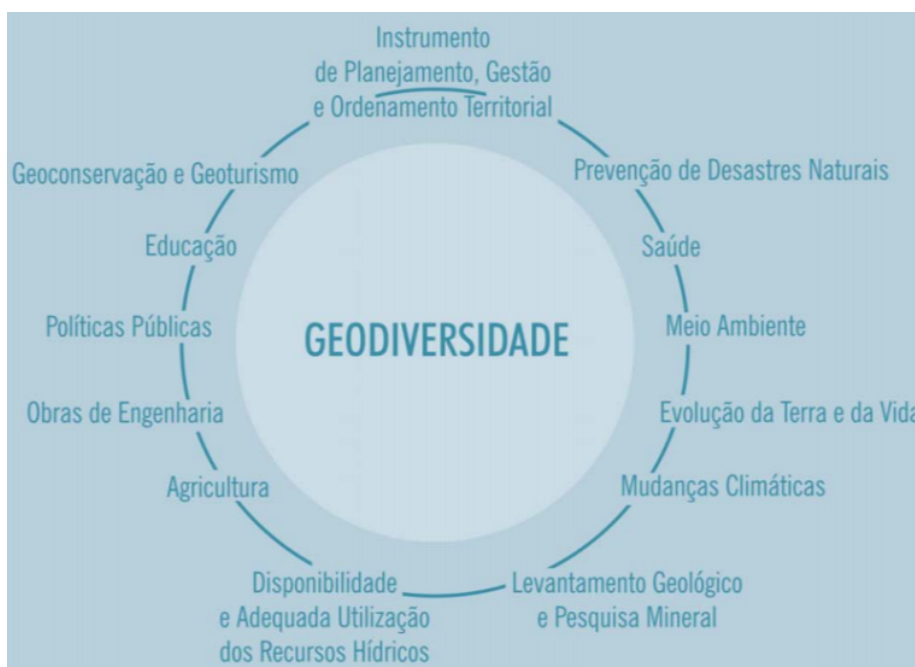


Figura 1: Diferentes relações da Geodiversidade. Fonte: CPRM, 2008, p. 3.

Uma das ferramentas utilizadas para a aplicação da geoconservação, principalmente em áreas protegidas, é o desenvolvimento do geoturismo, que na concepção de um geoparque, é apontado como uma atividade de extrema importância para a conservação do patrimônio geológico, devendo ser amplamente difundido e valorizado (NASCIMENTO et al., 2007).

Por se tratar de um tipo de turismo muito próximo do ecoturismo, o geoturismo apropria-se de algumas características deste outro segmento. Porém de acordo com Nascimento et al. (2007),

“Embora os aspectos associados ao meio abiótico, especialmente as rochas e o relevo, também sejam atrativos para o ecoturismo, o maior apelo para este segmento são, sem dúvida, os atrativos relacionados ao meio biótico – fauna e flora.” (NASCIMENTO et al., 2007, p. 2).

Com isso, estes dois segmentos de turismo não devem ser considerados como mesmo. Assim como Moreira (2009, p. 5) explicita “o Geoturismo não pode ser encarado como uma forma de Ecoturismo, e sim como um novo segmento, que conta inclusive com a aprovação e incentivos por parte da UNESCO, sendo específico em suas potencialidades e objetivos”, contudo existe uma semelhança entre estas duas vertentes do turismo, que é a de implicar “uma ferramenta para assegurar a conservação e a

sustentabilidade do local visitado, por meio da educação e da interpretação ambiental.” (NASCIMENTO et al., 2007).

Portanto o geoturismo não deve ser visto apenas um novo segmento do turismo de natureza, e sim uma estratégia de mercado que implica um grande potencial educativo e ambiental, por proporcionar a interpretação da geodiversidade para turistas e comunidades locais, o que o caracteriza como das estratégias para alcançar a geoconservação (BENTO; RODRIGUES, 2013).

2.1.1 Geodiversidade da paisagem cárstica

As paisagens cársticas são caracterizadas principalmente pela rica diversidade geoformas provenientes de processos geomorfogenéticos. De acordo com Christofolletti (1980), existem requisitos básicos para o desenvolvimento do modelado do relevo cárstico, que compreendem:

- A existência de rochas solúveis, na superfície ou em sua proximidade. O calcário é o tipo de rocha mais comum e de maior solubilidade;
- Quantidade moderada de precipitação, que interfere na dissolução da rocha;
- Amplitude topográfica acima do nível do mar elevada, para permitir a circulação das águas subterrâneas e o desenvolvimento das formas cársticas.

Dentre os modelados cársticos, podemos citá-los em três grupos distintos, sendo o exocarste (superficial), epicarste (intermediário) e endocarste (subterrâneo). Estes modelados são, predominantemente, "condicionados pelo intemperismo químico do ácido carbônico sobre as rochas carbonáticas" (TRAVASSOS, 2010, p. 39). O intemperismo químico inicia-se pela reação entre o gás carbônico com as partículas de água na atmosfera, dando origem a uma solução ácida. Com a precipitação, esta solução infiltra e percola pelas fraturas e poros da rocha calcária, lixiviando o carbonato de cálcio, causando a erosão química da rocha. Este processo desencadeia o aparecimento de formas como torres de pedra, dolinas, cavernas, lagoas cársticas, dentre outras (TRAVASSOS, 2010).

Estas formas cársticas são dotadas de características específicas, resultantes das particularidades dos processos associadas a cada uma das formas. Dentre as principais formas exocársticas podemos citar:

- Lapiás; que são microformas do carste que correspondem às caneluras ou sulcos paralelos superficiais que entalham e esculpem horizontal e/ou verticalmente, a superfície das rochas cársticas;
- Dolinas; que constituem depressões calcárias com contornos sinuosos de forma geométrica circular ou oval, possuindo largura e profundidade variadas. Apresentam-se com ou sem água e são classificadas como de abatimento e dissolução. As dolinas de abatimento, formadas por processos físicos de controle estrutural, podem ser simétricas ou assimétricas, enquanto que as de dissolução são originadas da solubilidade das rochas calcárias e em geral apresentam formas cônicas;
- Uvalas; se apresentam como depressões alongadas resultantes da evolução e coalescência de duas ou mais dolinas. “Possuem fundo irregular e um ou múltiplos sumidouros, podendo se transformar em lagoas temporárias, como outras depressões cársticas” (Kohler, 1994);
- Poljes; constituem planícies cársticas originadas por meio da dissolução dos calcários, devido à ação das águas. São maiores, em extensão, que as uvalas e “apresentam fundo plano atravessado por fluxo contínuo de água que pode ser confinada em sumidouro” (Kohler, 1994). Nos poljes são encontrados terrenos férteis, propícios à agricultura;
- Maciços; integram planaltos cársticos com centenas de quilômetros de extensão, apresentando “paredões recobertos por lapiás, limitando superfícies erosivas” (Kohler, 1994);
- Abismos; são cavidades com desenvolvimento resultante das relações entre o carste e a estrutura da rocha calcária, podendo ser verticais, inclinados ou mistos;
- Canhões ou Canyons; consistem em vales de flancos retilíneos e íngremes, cavados, normalmente, por rios oriundos de áreas não cársticas;
- Verrugas ou banquetas; são “afloramentos individualizados de alguns decímetros a um metro de diâmetro e altura” (Kohler, 1994);
- Humes; são morros testemunhos rochosos em uma planície ou polié;
- Torres; se apresentam como formas agudas ou cônicas, residuais, com base não superior a 30 m;

- Cones; constituem “saliências cônicas ou pontões pontilhando as planícies que se desenvolvem por causa da acumulação de detritos” (Christofoletti, 1980).
- Sumidouros e surgências; locais em que a drenagem passa a ser subterrânea (sumidouro) ou superficial (surgência);

As particularidades das formas e processos que modelam a paisagem cárstica salientam a complexidade do sistema como um todo (Figura 2), conferindo ao contexto cárstico geformas de escalas regionais, como os poliés, ao contexto estritamente local, como os espeleotemas que se formam dentro das cavidades subterrâneas a partir da precipitação dos minerais lixiviados da rocha.

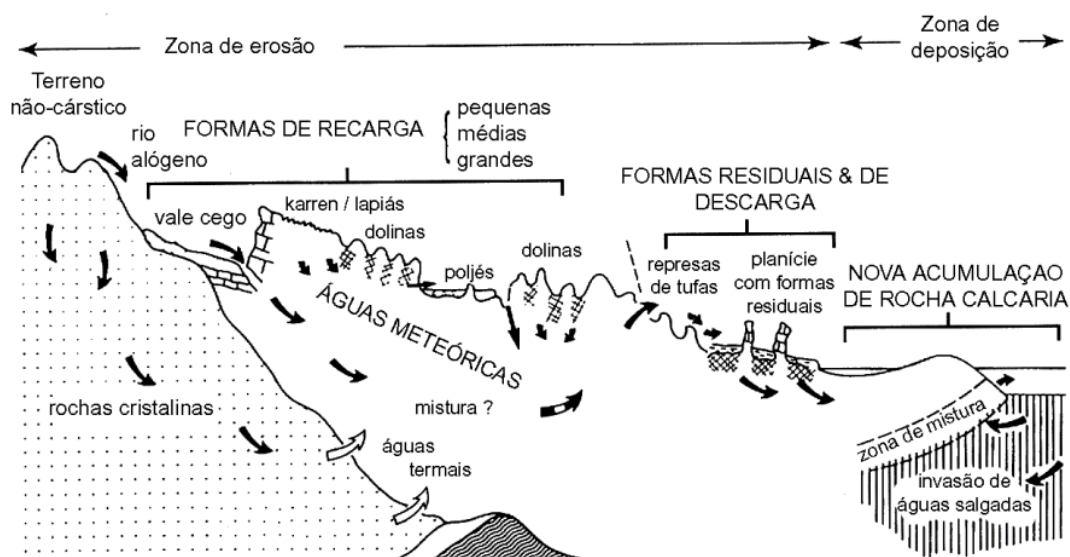


Figura 2: Aspecto sistêmico da paisagem cárstica (Adaptado de FORD; WILLIAMS, 2007, p. 7)

2.2 Estratégias de Geoconservação

Antes mesmo do desenvolvimento do geoturismo a geoconservação passa por várias etapas que se complementam tendo início com o inventário do patrimônio geológico. Segundo Pereira (2010), é neste momento em que se identificam os locais carentes de tal iniciativa, e baseando-se na realização de levantamentos, avaliações e catalogação, seguindo da descrição minuciosa dos bens ou locais de interesse de um determinado local.

Segundo Brilha (2005), a inventariação deve ser feita de forma sistemática, abrangendo toda a área estudada, após esta etapa realiza-se a definição tipológica dos

geossítios a serem inventariados, visando identificar aqueles que apresentem características de exceção, que os destaquem entre os demais sítios.

Sharples (2002) delimita a inventariação de geossítios em duas linhas de abordagem, a Identificação *Ad Hoc* e a Abordagem Estratégica. A primeira envolve a identificação pontual de locais que serão alvo da geoconservação por estarem vulneráveis a atividades que possam causar impactos ao patrimônio geológico. A segunda consiste em um levantamento estratégico e sistemático de uma área específica, identificando locais alvo de geoconservação, com uma abordagem que inclui três metodologias distintas de inventariação:

- **Inventário de reconhecimento**, que consiste em identificar feições ou locais significativos por meio de revisões bibliográficas, consulta a especialista e trabalhos de campo;
- **Inventário temático e sistemático**, o qual é realizado a partir de uma avaliação comparativa e interpretativa de todas as feições e sistemas de uma determinada região e pode ser aplicada de duas maneiras, sendo estas a Abordagem de Classificação e Abordagem Georregional;
- **Inventário de detalhe**, no qual é feito um inventário detalhado, levantando-se informações específicas a cerca da sensibilidade e significância dos geossítios, elaborando estratégias e ferramentas de manejo dos mesmos.

Apesar de existirem inúmeras propostas e metodologias para inventariação do patrimônio geológico, as iniciativas europeias apresentam-se na vanguarda e merecem destaque. Pereira (2006) realiza uma proposta metodológica para inventariação do patrimônio geomorfológico português. Em seu trabalho é sugerida a identificação dos locais de interesse geomorfológico por meio de temas ao invés de áreas geográficas, subdividindo o país em nove categorias temáticas, sendo estas: geoformas graníticas, geoformas vulcânicas, geoformas cársticas, geoformas residuais, geoformas tectônicas, geoformas fluviais, geoformas litorais, paisagens culturais e geoformas glaciares ou periglaciares.

No contexto espanhol, García-Cortés & Urquí (2009) realizaram o inventário do país utilizando o método desenvolvido por Sharples (2002), classificando as unidades geológicas e baseando-se em critérios genéticos da geologia, o que resultou em 12 domínios geológicos. Assim, cada geossítio deve ser enquadrado em algum dos temas

ou tipos de interesse geológico a seguir: estratigrafia, sedimentologia (incluindo paleoclimas e paleogeografia), geomorfologia, paleontologia, tectônica, petrologia & geoquímica, geotecnia, minerometalogenético, mineralogia & cristalografia, hidrogeologia, história da geologia e outros.

Já Peñalver (2013) realiza um inventário para a baía de Havana em Cuba, na qual foi adaptada a metodologia do Instituto Superior Mínero Metalúrgico de Moa (ISMMM), que foi responsável pela criação do Grupo de Proteção e Conservação do Patrimônio Geológico-Mineiro e trabalha na avaliação e conservação dos Pontos de Interesse Geológico (PIG) e do patrimônio industrial mineiro e metalúrgico. Esta metodologia é baseada no projeto Geosites, desenvolvida pela União Internacional de Ciências Geológicas da UNESCO que, desde 1995 busca homogeneizar a atividade dos lugares de valor geológico com alto interesse patrimonial.

No Brasil as iniciativas de inventariação do patrimônio geológico se originaram com a instalação da Comissão Brasileira dos Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), que visa levantar e incluir sítios nacionais na lista da *Global Indicative List of Geological Sites* (GIGLES). A SIGEP pode ser considerada a iniciativa mais efetiva aplicada no âmbito nacional, sendo a metodologia empregada para a inventariação baseada em propostas individuais espontâneas da comunidade geocientífica brasileira. Tal metodologia pode ser considerada como identificação *Ad Hoc* de acordo com Sharples (2002). Até 2012, ano da suspensão das candidaturas, a SIGEP descreveu 116 geossítios, publicados em três volumes, sendo 58 no primeiro, 40 no segundo e 16 no terceiro, além de 49 propostas ainda não publicadas, porém estão disponíveis em formato eletrônico.

Outra ação de inventariação do patrimônio geológico no Brasil pode ser verificada no trabalho de Ruchkys (2007), que realizou o inventário dos geossítios da região do Quadrilátero Ferrífero. Em sua pesquisa a autora caracterizou os sítios de acordo com as recomendações da UNESO e SIGEP, especificando de acordo com sua localização, importância, descrição e medidas de proteção. Cada geossítio foi relacionado a categorias específicas do patrimônio geológico, podendo, no caso da região de estudos, encaixar nas seguintes tipologias: importância geocológica, história da mineração, valor geocientífico, valor didático-educativo e valor turístico.

Já Lima (2008) discute uma proposta para a realização de um inventário para todo o território brasileiro de forma sistematizada. A proposta é organizada a partir de sete estágios de aplicação, sendo a partir da definição do objetivo da inventariação;

organização de grupos de trabalho; revisão bibliográfica; identificação dos contextos geológicos; caracterização dos contextos geológicos; identificação dos geossítios para cada contexto geológico e caracterização dos mesmos. A autora ressalta que este método deve ser aplicado na instância estadual, por meio dos órgãos públicos responsáveis pela pesquisa geológica, de forma que todos atuem de forma conjunta. Apesar de ter uma noção organizada do processo de inventariação, a metodologia permanece dependente da iniciativa pública, o que pode vir a dificultar a execução da estratégia, devido ao grande número de atores envolvidos.

Pereira (2010) realizou a inventariação do patrimônio geológico da região da Chapada Diamantina, considerando os valores turístico, científico e pedagógico. A abordagem do levantamento se enquadra no inventário de reconhecimento de acordo com Sharples (2002). Em seu trabalho o autor caracterizou um total de 40 geossítios, que foram separados de acordo com o enquadramento geológico em que estão inseridos, podendo pertencer às Coberturas Neoproterozóicas, Coberturas Mesoproterozóicas e Rochas Paleoproterozóicas e do Embasamento Arqueano. Após o processo de inventariação, o autor seguiu para a etapa de quantificação dos geossítios, que consistiu em avaliar os seguintes critérios: valor intrínseco, valor científico, valor turístico, valor de uso/gestão.

De acordo com o mesmo autor, no cenário global ainda são pouco os trabalhos que têm como o foco o desenvolvimento de métodos de inventariação, havendo uma maior preocupação com relação às metodologias de quantificação dos geossítios. Este fator faz com que haja uma lacuna a respeito dos critérios de seleção adotados para a escolha dos locais a serem inventariados.

As metodologias de quantificação partem da ideia comum de estabelecer um conjunto de valores que são organizados de acordo com parâmetros, que são pontuados por meio de uma série de critérios. Na sequência são aplicadas fórmulas matemáticas para o cálculo da nota final do elemento analisado, o que permite uma comparação entre os sítios avaliados.

Segundo Pereira (2010), no que se refere à valoração e quantificação dos elementos da natureza, é necessário estabelecer um conjunto de critérios capazes de selecionar, entre todos os elementos do entorno natural, os de caráter superlativo, e que se mostra acima da média, sendo representante dos múltiplos aspectos da diversidade do meio natural. Por isso a valoração dos elementos da geodiversidade deveria tratar de estabelecer os parâmetros de avaliação, para

identificar o grau de representatividade e a importância de um lugar determinado, levando em conta os objetivos da quantificação, sem depreciar seu valor intrínseco.

Em seu trabalho, Pereira (2010) faz uma sintetização dos vários métodos de quantificação, analisando as principais diferenças e semelhanças de abordagens, no que tange aos objetivos da análise quantitativa, escala de interpretação e critérios e parâmetros de avaliação.

O autor supracitado ainda salienta que existem parâmetros de caráter universal, que apresentam relevância no que tange a análise quantitativa dos geossítios, e que devem ser considerados no método de avaliação empregado. O grau de preservação/deterioração deve considerar o grau de conservação, a fim de manter as condições originais do geossítio, ponderando o efeito dos processos naturais e antrópicos. Já a abundância/raridade exprime o nível de singularidade do local avaliado, e pode depender da escala abordada no levantamento. A representatividade para processos geológicos/geomorfológicos deve ser considerada a fim de demonstrar o potencial de o geossítio servir como exemplo de modelos ou processos, e a possibilidade de transposição didática destes fenômenos para os vários públicos. A acessibilidade tem como prerrogativa indicar as condições de acesso aos locais, e, finalmente, o grau de conhecimento científico tem como objetivo analisar a disponibilidade de informações disponíveis a respeito do geossítio avaliado.

Brilha (2015) também realizou uma análise acerca dos métodos de avaliação quantitativa, e identificaram duas tipologias de sítios que merecem avaliações distintas devido às suas particularidades quanto à estratégia a ser adotada, podendo ser classificado com um geossítio, que será avaliado quanto à sua relevância científica, ou sítio de geodiversidade, o qual será analisado conforme sua relevância para o ensino ou turismo, assim o sítio pode ser quantificado com parâmetros específicos para cada abordagem. Além destas avaliações, o autor elaborou critérios que avaliam o risco de degradação dos sítios, o que contribui no momento de avaliar a propensão dos sítios analisados à deterioração por meio de processos naturais ou antrópicos, assim como ponderar o nível de proteção existente no local.

Nos últimos anos, com o desenvolvimento dos métodos de quantificação da geodiversidade e avanços nas técnicas provenientes dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), a representação da geodiversidade tem ganhado espaço no meio técnico/acadêmico, ampliando as possibilidades de análises integradas acerca da geodiversidade, geoturismo, geoconservação e patrimônio geológico.

2.3 Modelagem Cartográfica Aplicada aos Estudos de Geodiversidade

De acordo com Tomlin (1990), o modelo cartográfico é um processo de operações algébricas que são aplicadas sobre um conjunto de informações que pertencem a uma mesma delimitação espacial. Os dados, estruturados de forma matricial, são processados pixel a pixel, assim as operações podem ocorrer entre dois grupos ou mais, resultando sempre em um novo produto cartográfico (PEÑALVER, 2013).

O conceito básico de um modelo pode ser compreendido como:

"qualquer representação simplificada da realidade ou de um aspecto do mundo real que surja como de um interesse ao pesquisador, que possibilite reconstruir a realidade, prever um comportamento, uma transformação ou uma evolução" (CHRISTOFOLETTI, 1999, p. 8)

Um modelo tenta conceber de forma sintetizada a estruturação da realidade, de forma subjetiva. Não deve, portanto, ser considerado como a realidade em si, mas sim uma visão desta.

Existem modelos icônicos, que são uma simples redução da realidade em relação escalar, tal como uma maquete de um edifício. Já os modelos simbólicos representam a realidade por meio de linguagens convencionadas, como por exemplo, os mapas. E também existem os modelos matemáticos, que estão no topo da escala de abstração, onde a realidade é apresentada por meio da sua quantificação.

No viés geográfico, Brunet et al. (1993), citados por Christofolletti (1999), apontam quatro tipos de modelos, sendo estes os modelos matemáticos, modelos de sistemas, modelos preditivos e modelos gráficos ou coromáticos. Neste sentido, os modelos matemáticos partem da lógica das equações para simplificar os processos a serem analisados. Os modelos de sistemas são esquemas lógicos que visam elencar os processos, fluxos e retroalimentações existentes em um sistema. Modelos preditivos, como o próprio nome já sugere, prezam por utilizar as relações entre matrizes de dados de um sistema espacial, a fim de gerar dados que têm a capacidade de "prever" os possíveis resultados, dado parâmetros, ou cenários, para que este funcione. Os modelos coromáticos visam representar a estrutura do espaço de um determinado campo geográfico, regido pela lei da organização geográfica.

A construção de um modelo exige a compreensão do mesmo de uma forma generalizada, a fim de propiciar uma abstração capaz de entender as relações existentes no sistema que se pretende representar. Usualmente, o modelo é construído partindo de algo simples, e ao passo que se aumenta a complexidade do mesmo, este será capaz de simular um determinado comportamento de um sistema (FORD, 1999).

Numa concepção mais ampla, Moura (2014), enfatiza que os modelos em geografia envolvem propriedades locais (onde), atributos (o que) e temporais (quando), como forma de descrever o espaço geográfico. Dentre os recursos mais utilizados para a análise ambiental destaca-se o geoprocessamento, que utiliza técnicas de modelagem espacial e geoestatística por sua versatilidade na representação espacial dos fenômenos. Christofletti (1999) ressalta que este avanço é decorrência das inovações na área computacional, possibilitando uma nova experiência na representação de dados topográficos e da realidade virtual. O que contribui para uma maior consistência nos dados analisados se comparado a um modelo enunciado apenas em linguagem verbal.

A modelagem e análise dos fenômenos espaciais é realizada por meio dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), que são ferramentas de gestão de produção de dados. Isso contribuiu para a transformação da cartografia tradicional para a digital, tornando etapas básicas o georreferenciamento, resolução espacial e escolha da estrutura de dado a ser utilizada, seja ela vetor ou raster (MOURA, 2014).

Os SIGs são, de acordo com CÂMAREA et. al (2004),

"sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e armazenam a geometria e os atributos dos dados que são georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica" (CÂMAREA et. al., 2004, p. 27).

Estas plataformas possibilitam a aplicação de modelos, permitindo além da representação gráfica dos fenômenos a serem estudados até a proposição de avaliações heurísticas obtidas por meio de algoritmos que sintetizem a realidade de alguma forma (MOURA, 2014). Porém, para que a análise por meio de modelos em geoprocessamento aconteça é necessário se pensar na estrutura de dados e nas implicações que estas lógicas podem causar na observação dos fenômenos estudados.

Dentre os cuidados inerentes aos dados para a modelagem cartográfica por geoprocessamento cabe ressaltar o método de aquisição da informação. A resolução e a escolha da forma e estrutura do dado utilizado, influenciando de forma direta na

confeção de um modelo. A exemplo da resolução digital, temos que, de acordo com a escala de aquisição dos dados analógicos (mapas impressos), não existe muitas das vezes uma preocupação quanto às anotações a respeito das fontes, dificultando as utilizações que vão além da resolução mínima possível (MOURA, 2014).

Além da preocupação quanto à resolução, destacam-se também as forma e estruturas dos dados utilizados. As formas podem variar entre pontos, linhas e polígonos, já as estruturas estão organizadas em duas grandes lógicas, sendo estas a vetorial e matricial (*raster*). A estrutura vetorial se baseia na ideia do espaço contínuo, e é representada por meio de vetores, indicados pelo comprimento, direção e sentido, já a lógica matricial é baseada numa matriz de pontos, sendo cada ponto considerado um *pixel*, e representa uma porção da área analisada e é regida pela resolução de obtenção dos dados (MOURA, 2014).

Oliveira et al. (1994), citados por Moura (2014) salientam que a sobreposição de dados, que compõe a operação mais importante dos SIGs, é facilitada pela estrutura *raster*, representando a informação de uma maneira mais realística, contudo com um apelo estético reduzido. E é capaz de representar estruturas espaciais como ponto, a linha ou área por meio de um conjunto de *pixels*, trabalhando com uma superfície discretizada (dividia em unidades discretas, células), fazendo uso da geometria digital (MOURA, 2014).

Portanto a estrutura *raster* possibilita, no ambiente SIG, a aplicação de uma extensa variedade de operações, que por sua vez produzem e fornecem informações novas. Dentre estas operações, cabe ressaltar a análise de multicritérios, que nas palavras de Moura (2007):

"(...) se baseia justamente na lógica básica da construção de um SIG: seleção das principais variáveis que caracterizam um fenômeno, já realizando um recorte metodológico de simplificação da complexidade espacial; representação da realidade segundo diferentes variáveis, organizadas em camadas de informação; discretização dos planos de análise em resoluções espaciais adequadas tanto para as fontes dos dados como para os objetivos a serem alcançados; promoção da combinação das camadas de variáveis, integradas na forma de um sistema, que traduza a complexidade da realidade; finalmente, possibilidade de validação e calibração do sistema, mediante identificação e correção das relações construídas entre as variáveis mapeadas" (MOURA, 2007, p. 2900).

Partindo desta lógica, alguns autores iniciaram a aplicação dos modelos cartográficos por meio de operações em geoprocessamento para análises acerca da geodiversidade brasileira. As iniciativas da CPRM geraram a publicação em 2006 do

mapa de geodiversidade do Brasil, seguido em 2010 do mapa do estado de Minas Gerais. Para a confecção destes mapas foram considerados dados como geologia, hidrografia, altimetria, pontos de interesse para a geodiversidade (campos de óleo e gás, sítios geológicos, recursos minerais, paleontologia), declividade, Zoneamento Econômico e Ecológico (ZEE), dentre outros. Estes dados foram analisados com o auxílio de *softwares* de SIG no formato vetorial, obtendo-se 19 domínios geológico-ambientais que, por sua vez, foram subdivididos em 62 unidades geológico-ambientais.

Outro trabalho desenvolvido com técnicas de geoprocessamento para a análise da geodiversidade é o realizado por Pereira (2014) e Pereira et al. (2013), que utilizaram a estrutura *raster* para calcular o índice de geodiversidade da Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte (APA Sul da RMBH). Em seu método, o autor lançou mão da conversão dos dados vetoriais em matriciais, propiciando uma análise mais detalhada do território, discretizando o espaço em parcelas (*pixels*) com resolução de 20m. Esta abordagem geralmente é restrita a dados que foram gerados com uma resolução (escala) de detalhe, tornando difícil a aplicação deste método para grandes regiões.

O índice de geodiversidade representa, de forma sintetizada, a diversidade geológica existente em uma determinada área, e pode ser obtido através de técnicas variadas. Nos trabalhos de Serrano e Ruiz-Flaño (2007, 2009), o índice foi obtido por meio da análise e processamento de dados vetoriais, o que demandou a normalização da superfície devido às diferenças entre os dados utilizados. Já nos trabalhos de Hjort e Louto (2010), Pereira et al. (2013) e Pereira (2014) os dados analisados estavam estruturados no formato matricial, onde a superfície analisada foi classificada a partir de *pixels* formando dados *raster*, o que possibilitou que o cálculo dos índices fosse obtido sem maiores complicações, devido o fato das informações estarem discretizadas com as mesmas dimensões.

Ainda não foi alcançado um consenso quanto à definição de quais elementos e processos que compõem a geodiversidade de um determinado local com relação aos dados utilizados no cálculo. Este fato faz com que os índices de geodiversidade sejam, na maioria das vezes, subordinados à quantidade e qualidade das informações disponíveis (PEREIRA, 2014).

Em sua pesquisa, o autor supracitado analisa as implicações da utilização de diferentes conjuntos de variáveis, e considera a estrutura de dados *raster* e a

oportunidade de se realizar testes os principais pontos positivos da adoção das técnicas de geoprocessamento para a obtenção do índice de geodiversidade.

Porém o mesmo autor salienta que as diferenças entre a quantidade e escala dos dados disponíveis dificultam a caminhada a um consenso quanto às quais variáveis são relevantes para a confecção do índice de geodiversidade, impedindo comparações entre índices de diferentes áreas.

Já Goulart et al. (2015) realizou um zoneamento turístico para a região do Geopark Quadrilátero Ferrífero, lançando mão do método de mineração de dados (*data mining*) para a análise espacial e classificação das variáveis. Em seu trabalho, os autores consideraram geossítios inventariados, atrativos relacionados ao patrimônio material, imaterial e natural, rodovias e limites políticos locais, classificando a região em quatro unidades turísticas: Unidade Caraça, Unidade Curral, Unidade Moeda e Unidade Ouro Branco.

3 CARSTE DE LAGOA SANTA

3.1 Localização

A Área de Proteção Ambiental (APA) Carste de Lagoa Santa foi criada pelo Governo Federal pelo decreto 98.881 de 25 de janeiro de 1990. Possui 35.600 hectares, abrangendo parte dos municípios de Lagoa Santa, Pedro Leopoldo, Matozinhos e Funilândia (Figura 3). Situa-se na província espeleológica mineira do carste de Lagoa Santa, definição resultante da predominância do calcário na formação das rochas que compõem o Grupo Bambuí, sendo identificada pela ocorrência de um denso conjunto de feições geomorfológicas condicionadas por processos de dissolução e por uma hidrografia mista de componentes fluviais (subaéreos) e cársticos (subterrâneos) (BERBERT-BORN, 2002).

Atualmente a APA abriga parte do Sistema de Áreas Protegidas do Vetor Norte (SAPVN) da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), sistema que é composto por 20 áreas protegidas, sendo que sete Unidades de Conservação (UCs) já foram criadas, com o intuito de garantir a conservação do patrimônio natural e histórico-cultural da região, bem como manter uma rede de corredores ecológicos.

O valor científico da área é mundialmente conhecido, por seus acervos arqueológicos e paleontológicos que guardam partes da história de evolução e ocupação humana na região, bem como fósseis da fauna do pleistoceno. O pesquisador e naturalista dinamarquês Peter W. Lund foi responsável por grande parte destes achados e, num período em que a teoria evolucionista ainda era discutida no primeiro mundo, suas descobertas contribuíram consideravelmente para sua defesa.

3.2 Aspectos Naturais

A região de Lagoa Santa, de acordo com a classificação de Köppen, é caracterizada pelo clima Aw, quente com temperaturas no mês mais frio, superiores a 18°C, definindo duas estações alternadas entre si, uma chuvosa (verão) e outra seca (inverno), com amplitudes térmicas anuais inferiores a 5°C (RIBEIRO, 1995).

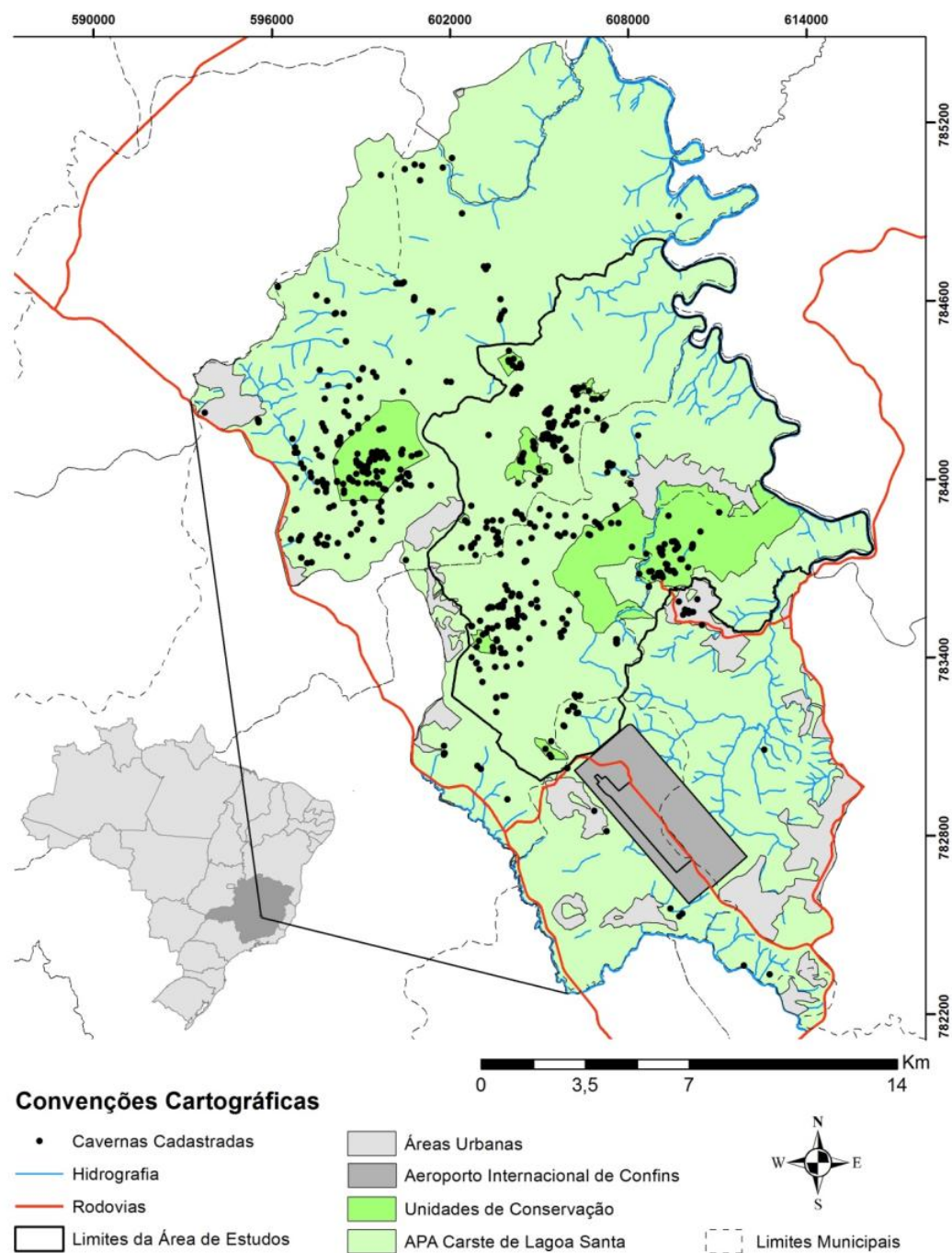


Figura 3: Mapa de localização da área de estudo.

Os solos predominantes são dos tipos latossolos vermelho-escuros álico e podzólico vermelho-amarelo distrófico, na porção do município de Lagoa Santa, e podzólico vermelho-amarelo distrófico em Pedro Leopoldo (IBAMA, 1998). Os solos da região são utilizados em sua maioria para a atividade agrícola, o que no cenário de um sistema cárstico é preocupante, devido à possibilidade de contaminação da rede

hídrica de aquíferos, que se apresenta sensível às alterações intensas (EVANGELISTA; TRAVASSOS, 2014).

O Planalto de Lagoa Santa está inserido no domínio morfoclimático dos Cerrados, cuja flora apresenta-se composta por cerradões, cerrados e campos gerais (AB'SABER, 1977). A Floresta Estacional Decidual, comumente conhecida como *mata seca*, está diretamente relacionada aos afloramentos calcários da região. Esta fitofisionomia é identificada pela perda de mais de 50% de sua cobertura foliar nos períodos de estiagem. No PESU, os maciços do Sumidouro, abrigo Samambaia e Lapinha apresentam composição notável deste tipo vegetacional.

Localizada no extremo sudeste da província estrutural pré-cambriana do Cráton do São Francisco, a APA Carste de Lagoa Santa é geologicamente composta majoritariamente por calcários do Grupo Bambuí, e se mostram como um dos sistemas cársticos tropicais mais notáveis do Brasil. Em Lagoa Santa ocorrem afloramentos de calcários, siltitos, folhelhos e calciofilitos alterados, recobertos por solos de origem eluvial, coluvial e aluvial (KOHLENER, 1989).

Segundo Kohler (1989), o Grupo Bambuí engloba as formações Vespasiano, Sete Lagoas e Serra de Santa Helena (Figura 4). De acordo com Sampaio (2010), o carste de Lagoa Santa, as duas unidades carbonáticas composicionalmente (membros Pedro Leopoldo e Lagoa Santa da Formação Sete Lagoas) estão sobrepostas a rochas de composição granítica (gnaisses, granitoides e migmatitos) agrupada sob a denominação Complexo Gnáissico-Migmatítico Indiferenciado.

Geomorfologicamente, a porção central da APA Carste de Lagoa Santa compreende a região do médio Rio das Velhas, onde são percebidas formações cársticas expressivas. A corrosão e os abatimentos endocársticos, associados aos outros processos morfogenéticos da dinâmica interna e externa, são os principais responsáveis pela dinâmica e evolução de seu relevo (KOHLENER, 1989).

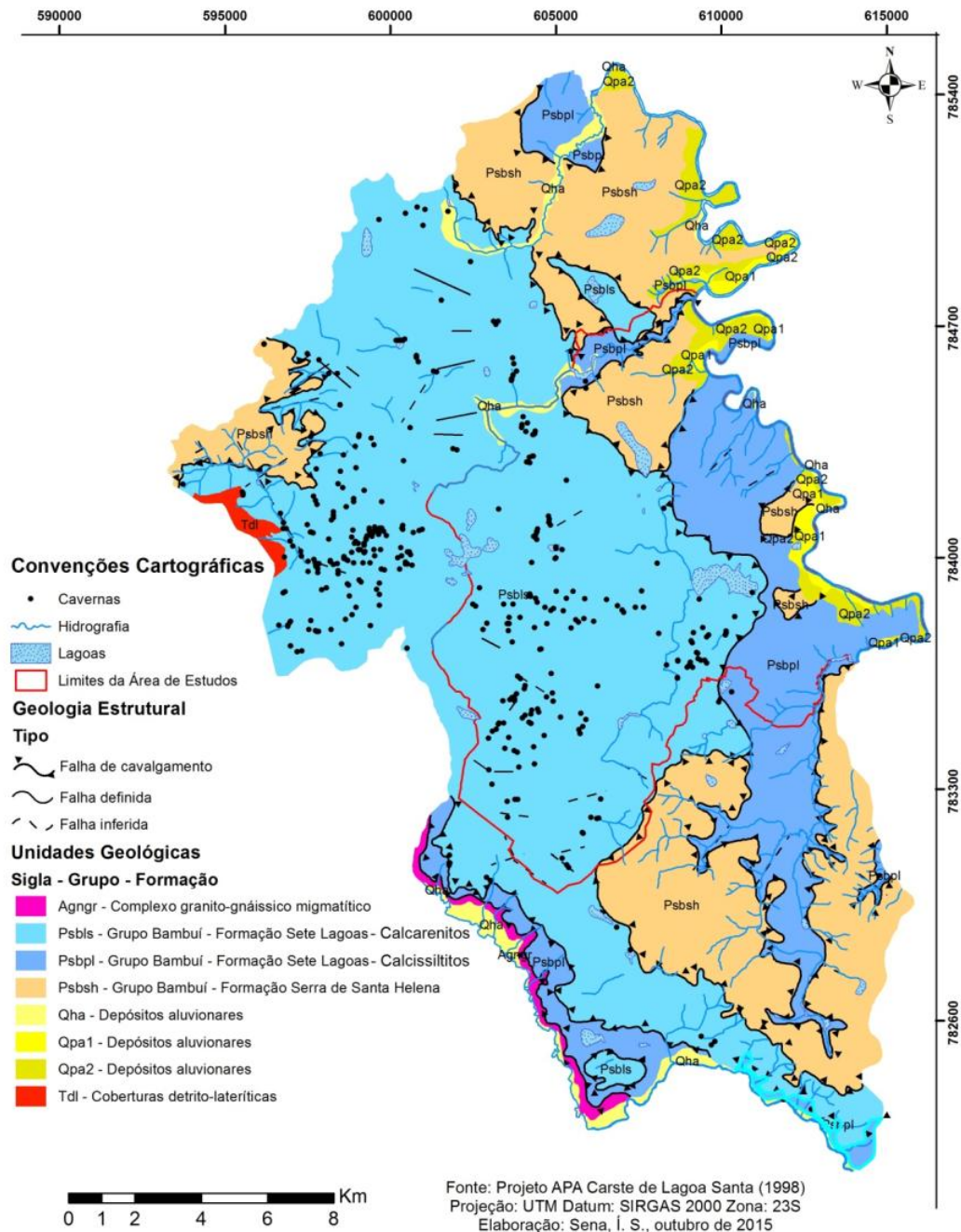


Figura 4: Contexto geológico da APA Carste de Lagoa Santa

No quadro geomorfológico da região, Kohler (1989) categorizou quatro domínios do exocarste, com gêneses e dinâmicas bastante específicas, se desenvolvendo entre as cotas 850 e 650 metros, totalizando a espessura total do pacote calcário (KOHLENER, 1989):

a) desfiladeiros e abismos com altos paredões, os quais apresentam formas exuberantes devido à espessura do pacote calcário que os compõe, o que propiciou o desenvolvimento de um endocarste representativo, com testemunhos preservados destes processos. Estas feições estão relacionadas principalmente às rochas da Formação Sete Lagoas, nas cotas mais elevadas do calcário;

b) o cinturão de uvalas é caracterizado por depressões cársticas com dimensões superiores as 1000 metros e forma alongada, podendo apresentar a formação de lagoas temporárias com profundidades que podem alcançar 4 metros. Sua distribuição na região se dá principalmente na porção direita da base da Serra dos Ferradores, se estendendo de SE a NW, compreendendo o conjunto deprimido de Confis e Lapa Vermelha, seguindo para a planície de Mocambeiro, limitando-se com o Planalto de Dolinas;

c) o planalto dolinas situa-se abaixo das cotas de 800 metros e acima de 700 metros, apresentando grande densidade de depressões circulares (dolinas) com profundidades de até 20 metros, com paredões abruptos comumente relacionados às quebras no contorno circular. Também são caracterizados por maciços, torres, lagos e depressões suaves. O planalto de dolinas se desenvolve da porção SW, limitando a norte com as planícies cársticas;

d) planícies cársticas ou poljés estão localizadas na região de Fidalgo e Mocambeiro e apresentam cotas abaixo dos 670 metros e declividades entre zero e três. As planícies estão classificadas como poljés, inundando periodicamente pelas águas do aquífero cárstico, tendo como nível de base regional o Rio das Velhas. O poljé de Fidalgo está associado ao sistema do ribeirão Samambaia, compondo a paisagem da lagoa do Sumidouro, enquanto o poljé Mocambeiro está relacionado ao córrego homônimo.

3.3 Aspectos Históricos e Patrimoniais

A região do carste de Lagoa Santa é dotada de relevante importância pré-histórica. O local está relacionado com achados arqueológico, datados de cerca de 12.000 anos, momento em que grupos humanos primitivos se estabeleceram durante um

período no local (SOUZA et al., 2006). Considerados caçadores coletores, estes grupos deixaram vestígios cerâmicos e líticos além de registros rupestres ao longo das formações cársticas da região (LIMA, 2006), esses ficaram conhecidos como "povo de Luzia" ou "Homem de Lagoa Santa" (EVANGELISTA; TRAVASSOS, 2014).

Já no período histórico, o processo de ocupação humana na região se intensificou com o surgimento da bandeira de Fernão Dias Paes Leme, seguindo com a consolidação da atividade extrativista no rio das Velhas, propiciando a fixação de povoados como o Arraial de São João do Sumidouro e Arraial do Rio das Velhas, correspondendo atualmente aos núcleos urbanos de Pedro Leopoldo e Santa Luzia, respectivamente (PLAMBEL, 1986).

Além das bandeiras, a atividade tropeira também desempenhou papel importante no desenvolvimento regional. O tropeiro Felipe Rodrigues de Macedo, que fixou residência em 1733 no local então conhecido como Lagoa Grande, era portador de doenças de pele e, ao se banhar nas águas cársticas, obteve êxito na cura de suas enfermidades. As notícias das águas medicinais se espalharam atribuindo o nome Lagoa Santa ao pequeno arraial (EVANGELISTA; TRAVASSOS, 2014).

No início do século XIX, com a escassez do ouro, atividades agropastoris ganharam espaço. Este fator se deve principalmente às características topográficas e hídricas, provenientes do sistema cárstico da região, que favoreceram a expansão desta atividade (KOHLE, 1989).

As características cársticas de grande potencial para pesquisa científica despertaram o interesse de naturalistas que, no começo do século XIX, chegaram à região e documentaram e catalogaram boa parte do patrimônio natural e histórico. Dentre eles destaca-se Peter Wilhelm Lund (1801 - 1880), naturalista dinamarquês que se encantou pela terra, estabelecendo residência em Lagoa Santa de 1835 até 1880, ano de sua morte. Suas pesquisas foram responsáveis pela descoberta e registro de aproximadamente 800 sítios arqueológicos e paleontológicos (Figura 5).

Influenciado pelos naturalistas de seu tempo, como Alexander von Humboldt e Charles Darwin, realizou inúmeras viagens e escavações e, conseqüentemente, importantes descobertas. Suas atividades científicas foram facilitadas devido à boa condição financeira da família, que custeou seu trabalho com recursos próprios “sem ter tido sequer um dia de trabalho assalariado” (HOLTEN; STERLL, 2011).



Figura 5: Retrato de Lund aos seus 46 anos (HOLTEN; STERLL, 2011, p 20).

Ao longo das suas atividades científicas Lund explorou, enquanto Brandt realiza levantamentos topográficos, uma considerável quantidade de cavernas e deixa sobre as mesmas alguns relatos de campo, mapas, gravuras que ilustram espeleotemas e as formas que utilizou para a exploração de seus interiores e finaliza seus estudos indicando o conteúdo fóssil analisado em cada uma delas, sistematizando um inventário pioneiro do patrimônio geológico da região (FARIA et al., 2015).

Ao passo que Lund desenvolvia a descrição dos fósseis encontrados nas cavernas do carste de Lagoa Santa, Brandt realizava a documentação dos achados de Lund, que incluíam desde desenhos dos fósseis e paisagens da região até mapas das cavernas e representações de pinturas rupestres (Figura 6), o que contribuiu para a documentação do patrimônio geológico da região de Lagoa Santa, e conseqüentemente agregou novos valores à geodiversidade do local.



Figura 6: Representação feita por Brandt das pinturas rupestres de Cerca Grande (HOLTEN et al., 2012).

Em 1840 as pesquisas de Lund ganham um salto que marcaria a história evolutiva da vida na Terra. Neste ano foram encontrados os primeiros ossos humanos na gruta do Sumidouro, que se localiza na base do maciço rochoso que compõe a lagoa do Sumidouro. Esta ocasião ocorreu por mera eventualidade do período seco que assolava o clima da região na época tornou possível a exploração da caverna, alcançando-se novos achados relevantes do patrimônio arqueológico e geológico nacional (HOLTEN; STERLL, 2011).

Este fato científico marcou sua carreira como naturalista, pois foi a partir daí que Lund começou a desconstruir uma teoria que até então estava dominando a academia europeia, o catastrofismo de Cuvier. Este mérito se deve ao fato de Lund ter encontrado provas de que os animais extintos da megafauna (Figura 7) haviam coabitado a região com seres humanos. Em relato à Sociedade Real dos Antiquários do Norte, em Compenhage, o naturalista afirma que visitou 800 cavernas durante seus levantamentos, contudo em apenas seis destas havia ossos humanos, que pertenciam a cerca de 30 indivíduos de idades variadas (PÔSSAS et al., 2012).

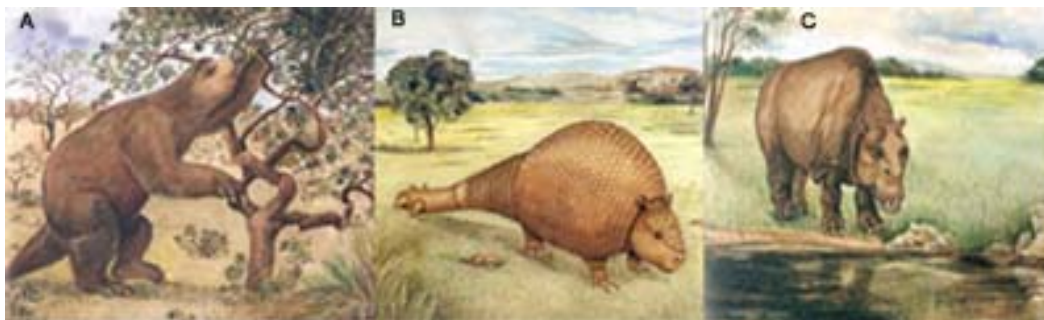


Figura 7: Representantes da megafauna, extintos no último período glacial. As espécies apresentadas são: (A) *Eremotherium laurillardi*, (B) *Haplophorus euphractus* e (C) *Taxodon platensis* (CARTELLE, 1994).

Durante o período de 1835 a 1845 Lund realizou levantamentos paleontológicos em um grande número de cavernas do carste de Lagoa Santa, contribuindo para documentação do patrimônio geológico da região (Figura 8). E foi durante pesquisa na gruta Cerca Grande que Lund percebeu novas formas no carste que o ajudaram a interpretar a dinâmica da morfogênese cárstica. Uma série de marcações na rocha indicavam níveis variados da água, e abaixo destas marcas a rocha se mostrava mais fraturada e erodida. Estes detalhes contribuíram para que Lund concebesse que a gruta Cerca Grande havia sido formada por fluxos de água corrente por períodos variados.



Figura 8: Estruturas utilizadas para as pesquisas na Lapa do Mosquito (HOLTEN; STERLL, 2011, p. 149).

A vegetação também foi objeto de estudos feitos por naturalistas, tal como o levantamento feito por Eugenius Warming, em 1892, o qual elaborou um tratado fitoecológico denominado: *Lagoa Santa - Et Bitrag til den biologiske Plategeografi*. Nessa obra são descritos os solos, clima e formações vegetais nativas e cultivadas, bem como o uso do solo (IBAMA, 1998).

Ao longo do século XX, com a transferência da capital de Minas Gerais pra região central do Estado, Lagoa Santa e seu entorno passaram por transformações mais constantes. Um exemplo do desenvolvimento proveniente da centralização do poder foi a instalação da Estrada de Ferro Central do Brasil (EFCB) em Sete Lagoas. Recentemente, com a construção do Aeroporto Internacional de Confins, tornou-se necessária a atenção à proteção do patrimônio ambiental da região, dentre as iniciativas cita-se a criação das unidades de conservação que compõem a APA Carste de Lagoa Santa (EVANGELISTA; TRAVASSOS, 2014).

4 MATERIAL E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia de modelagem cartográfica do potencial geoturístico utilizada nessa pesquisa pode ser dividida em 3 etapas principais, como definido pelo fluxograma a seguir (Figura 9):

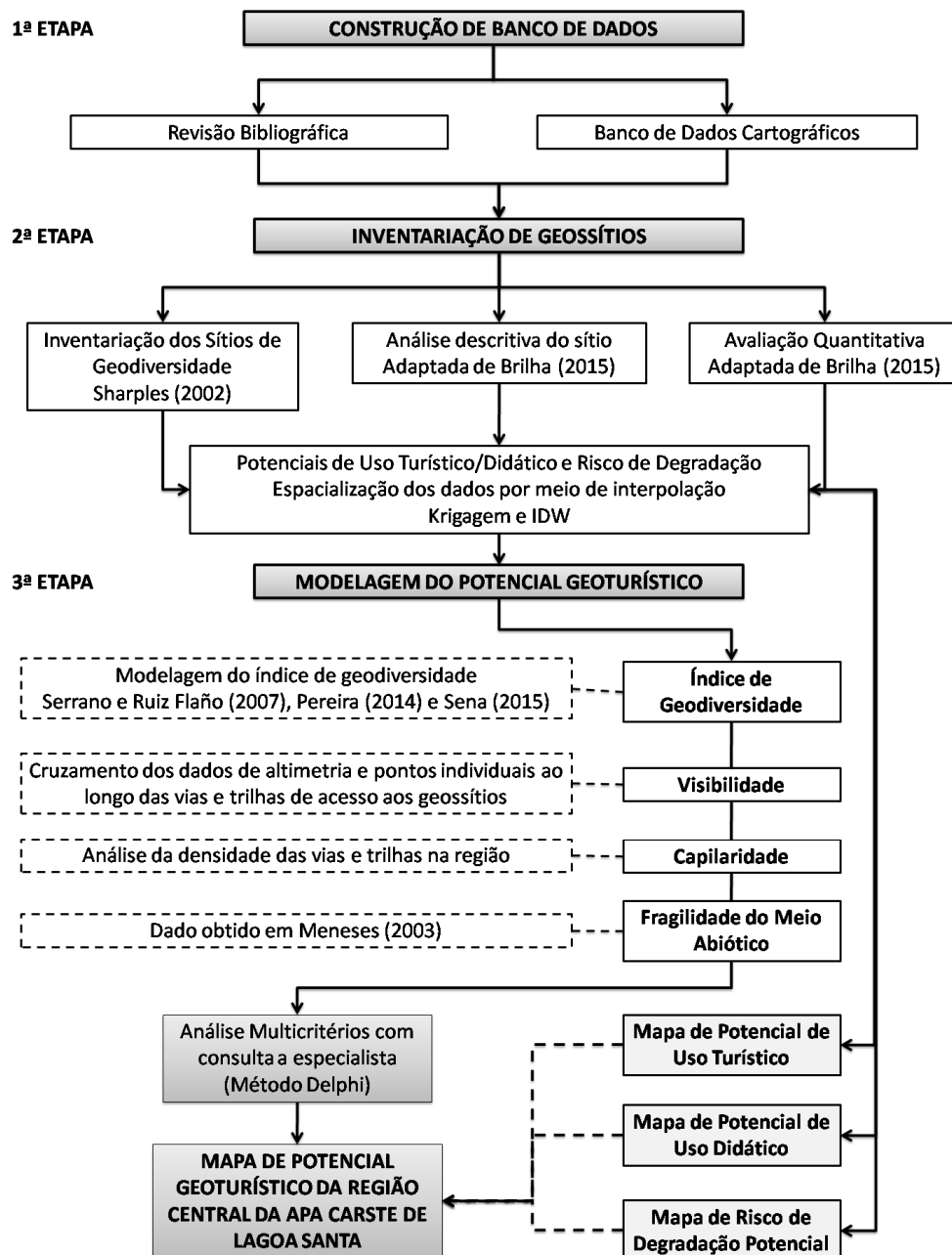


Figura 9: Fluxograma metodológico da pesquisa.

Num primeiro momento foi realizada a construção de um banco de dados, seguido da etapa inventariação e quantificação dos geossítios, finalizando pelo processo de processamento e modelagem dos dados, produzindo o mapa de potencial geoturístico da área.

4.1 Revisão Teórica e Construção de Banco de Dados Cartográficos

Inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico, que possibilitou a sistematização de publicações que abordam os temas geodiversidade, patrimônio geológico, inventariação e avaliação de geossítios, geoturismo e geoconservação, além de métodos de modelagem espacial referentes a estes temas.

A revisão conceitual a cerca do trinômio geodiversidade, geoturismo e geoconservação visa delinear como os temas estão sendo desenvolvidos e aplicados atualmente. Esta etapa teve como objetivo aprofundar a noção da potencialidade do geoturismo como ferramenta para a geoconservação.

Os dados cartográficos utilizados na pesquisa foram obtidos do Projeto APA Carste de Lagoa Santa. Este estudo foi elaborado no ano de 1998 pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), em conjunto com a Fundação Biodiversitas e o CPRM, no qual resultou no plano de manejo da APA Carste de Lagoa Santa. Os dados foram disponibilizados no formato vetorial *shapefile* e matricial no formato *raster* na escala de 1:50.000. Estes dados foram sistematizados e pré-processados a fim de viabilizar a utilização dos mesmos nas etapas metodológicas subsequentes, sendo inicialmente reprojatados do datum SAD 69 para SIRGAS 2000.

Os dados de cavidades naturais subterrâneas, em específico, foram atualizados da plataforma CANIE (Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas) do SINIMA (Sistema Nacional de Informações do Meio Ambiente), dado que os dados disponíveis no Projeto APA Carste de Lagoa Santa se encontravam desatualizados.

4.2 Modelagem do Índice de Geodiversidade

Neste trabalho optou-se por espacializar o índice de geodiversidade com base nos trabalhos de Pereira et al. (2013) e Pereira (2014), que utilizam o formato matricial na quantificação e espacialização na produção dos índices de geodiversidade.

4.2.1 Escolha das Variáveis

Utilizaram-se as variáveis, com seu respectivo número de feições, que estão disponíveis no banco de dados do Projeto APA Carste de Lagoa Santa (IBAMA, 1998) que representam a geodiversidade: litologia (8 feições), geologia estrutural (2 feições), geomorfologia (19 feições), hidrologia (5 feições), pedologia (13 feições), sítios espeleológicos (1 feição), sítios paleontológicos (1 feição). Além dessas variáveis foram utilizadas também aquelas associadas ao valor cultural da geodiversidade local: sítios cerâmicos (1 feição), sítios pré-cerâmicos e arte rupestre (1 feição). Devido à relação de sítios cerâmicos, pré-cerâmicos e de arte rupestre com os valores culturais da geodiversidade, essas variáveis também foram utilizadas.

4.2.2 Processamento dos Dados

Os dados cartográficos disponíveis foram pré-processados a fim de adequá-los à aplicação do modelo (Figura 10). Como a avaliação quantitativa da geodiversidade ainda passa por evoluções metodológicas, não existindo um consenso entre os pesquisadores a respeito das variáveis que condicionam a obtenção desses valores, decidiu-se incluir variáveis pontuais e lineares da maneira distinta à aplicada por Pereira (2014). O referido autor lança mão da ferramenta *Buffer*, do pacote de ferramentas *Analysis Tools*, do *software ArcMAP*, contudo foi concluído que a aplicação deste mecanismo pode resultar na supervalorização de alguns locais, devido à expressão espacial.

Assim, para os dados pontuais (cavidades naturais subterrâneas, sítios cerâmico, pré-cerâmicos, paleontológicos e arte rupestre) e lineares (hidrografia e geologia estrutural) optou-se por aplicar a ferramenta *Kernel Density*, do pacote de ferramentas *Spatial Analyst*, do *software ArcMap 10.1*.

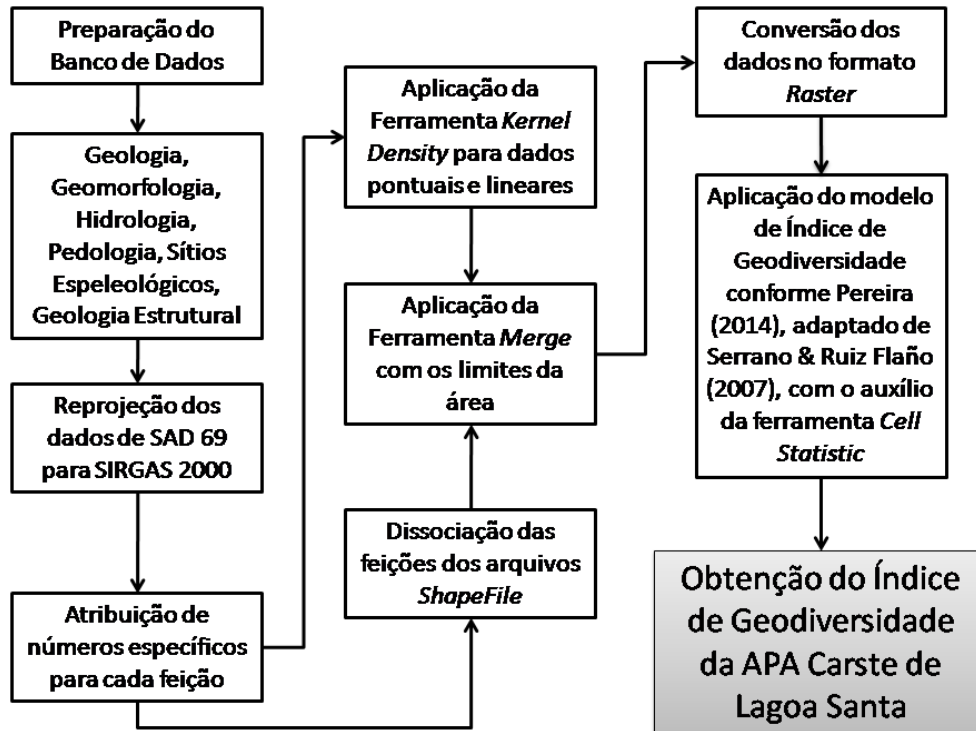


Figura 10: Fluxograma metodológico do cálculo do Índice de Geodiversidade da APA Carste de Lagoa Santa.

Após o tratamento dos dados, o índice de Geodiversidade foi calculado a partir da adaptação da equação (1) de Pereira (2014), adaptada de Serrano e Ruiz-Flaño (2007).

$$G = \frac{N}{A} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde G equivale ao índice de Geodiversidade, N ao número de elementos físicos de cada área (*pixel*) e A à área. Esse cálculo foi realizado com o auxílio do *software ArcMap 10.1*, aplicando a ferramenta *Cell Statistics*, ponderando a quantidade de elementos por *pixel* por meio da estatística de sobreposição, computando a variedade.

4.3 Avaliação e Quantificação de Geossítios

Esta etapa do processo metodológico da pesquisa consistiu na realização de um inventário de sítios de interesse para a geodiversidade, seguido de uma breve descrição e avaliação quantitativa destes sítios. Foi utilizado como base teórico-metodológica o

trabalho de Sharples (2002) para a estratégia de inventariação e de Brilha (2015) para a aplicação da avaliação quantitativa.

4.3.1 Inventário

No processo de inventariação dos sítios de interesse para a geodiversidade, foram considerados duas fontes de dados iniciais. Inicialmente foi utilizado o trabalho de Evangelista e Travassos (2014), que realizaram um inventário de Locais de Interesse para a Geomorfologia (LIGeom) para a área do Parque Estadual do Sumidouro (PESU). No total, os autores inventariaram 6 geossítios, sendo estes somando 10 LIGeom, dos quais foram considerados conforme as tipologias de formas isoladas, tipo área, e panorâmica.

Após a etapa de caracterização dos LIGeom, os autores prosseguiram com a avaliação quantitativa dos locais. A quantificação foi realizada seguindo a atribuição de valores de acordo com as características do LIGeom. Os valores científico, adicional, geomorfológico, de uso, de proteção e de gestão, compreende o valor total que auxiliou na construção de um *ranking*.

A segunda fonte de dados utilizada na inventariação dos sítios de interesse para a geodiversidade foi o Índice de Geodiversidade, obtido conforme descrito no item 4.2 deste capítulo. Com base no mapa resultante da modelagem do índice, foram selecionados, dentro da área de estudos, locais que apresentaram altos índices de geodiversidade, tendo em vista a preocupação em abarcar os locais com alta representatividade para a geodiversidade, assim como uma melhor distribuição espacial, objetivando um melhor desempenho do modelo de potencial geoturístico.

Além das fontes de dados indicadas acima, foi considerada uma demanda proveniente do gestor do PESU, que indicou locais que seriam relevantes para a pesquisa, e também com relação ao aproveitamento turístico dos arredores do parque.

Assim, foram selecionados 12 sítios de interesse para a geodiversidade: Fazenda Samambaia, Fazenda Campinho, Lapa do Seu Antão, Lapa Vermelha, Maciço da Lapinha, Maciço do Baú, Mineração Finacal, Polje Sumidouro, Rio das Velhas, Vargem da Pedra, Cerca Grande e Fazenda Experiência da Jaguará (Figura 11). Os sítios de geodiversidade foram descritos de forma qualitativa com o auxílio de uma ficha de inventário.

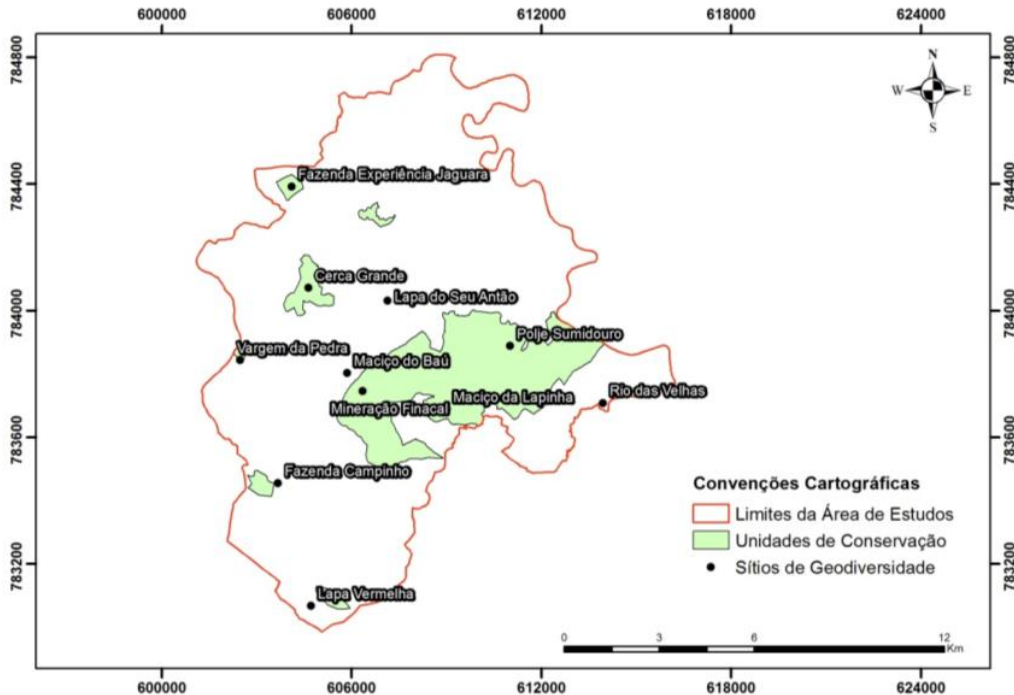


Figura 11: Locais de Interesse para a Geodiversidade.

4.3.2 Quantificação dos Sítios de Geodiversidade

Após a realização do inventário de geodiversidade, deu-se início ao processo atribuição das notas para cada um desses sítios. Os critérios utilizados foram adequados do trabalho de Brilha (2015), que apresenta uma avaliação pautada em quatro fatores potenciais: de uso científico, de uso didático, de uso turístico e de risco de degradação (Anexos 1 e 2). Porém, nesse trabalho decidiu-se adotar somente três fatores de quantificação: o Potencial de Uso Didático (PUD), Potencial de Uso Turístico (PUT) e Risco de Degradação (RD). Não foi utilizado o Potencial de Uso Científico devido ao fato desta pesquisa abordar o geoturismo como estratégia para a geoconservação.

De acordo com proposta por Bilha (2015), o PUD é regido por 12 critérios, sendo estes: vulnerabilidade; acessibilidade; limitações de uso; segurança; logística; densidade populacional; associação a outros valores; cenário; singularidade; condições de observação; potencial didático; e diversidade geológica. Nesse trabalho adaptou-se a metodologia de Bilha (2015), excluindo os critérios de logística e densidade populacional, os quais seriam irrelevantes para a análise no contexto da área de estudos devido à escala de análise. Esta adaptação também foi aplicada para o PUT, que compartilha 10 critérios com o PUD.

O RD foi obtido por 5 critérios: deterioração dos elementos geológicos; proximidade a área/atividades com potencial degradativo; proteção legal; acessibilidade; e densidade populacional. Como nos fatores PUD e PUT, adaptou-se o método retirando o critério de Densidade Populacional. Ao final, foi confeccionada uma Ficha de Avaliação Quantitativa (Anexo 3), contendo os critérios correspondentes para o cálculo do PUD, PUT e RD de cada sítio de geodiversidade, sendo esses regidos por parâmetros específicos pontuados de 1 a 4, conforme explicitado por Brilha (2015).

Após a obtenção dos valores para cada critério, correspondente a cada fator de avaliação, foi calculada a média ponderada, na qual se considera pesos específicos para cada critério. A atribuição destes pesos tem como finalidade gerar um *ranking* dos sítios inventariados, contribuindo para analisar os potenciais e quais devem ser alvos de estratégias de geoturismo e/ou geoconservação. Dado que o método foi adaptado para a realidade da área de estudos, os pesos ponderados foram redefinidos (Anexo 4).

Brilha (2015) sugere uma classificação do RD a partir das notas obtidas na avaliação quantitativa (Tabela 1: Classificação do Risco de Degradação segundo Brilha (2015)), discretizando em três classes:

Tabela 1: Classificação do Risco de Degradação segundo Brilha (2015)

Nota final	Risco de Degradação
<200	Baixo
201-300	Médio
301-400	Alto

Para a avaliação foram realizados trabalhos de campo, nos quais foram visitados os sítios de geodiversidade selecionado realizando a documentação fotográfica dos sítios visitados, a fim de representar os elementos da geodiversidade que compõem os locais. Os sítios foram descritos na Ficha de Inventário (Anexo 5), onde foram retradas suas características relevantes a fim de contribuir na avaliação quantitativa.

Após a execução dos trabalhos de campo foi aplicada a avaliação quantitativa nos sítios descritos, da qual originou a pontuação final referente ao PUD, PUT e RD de cada sítio de acordo com os pesos de cada critério de avaliação.

4.3.3 Espacialização dos Dados

A fim de espacializar os resultados obtidos, lançou-se mão da ferramenta de interpolação *Inverse Distance Weighted* (IDW), do pacote de ferramentas *Spatial Analyst* do *software ArcMAP 10.1*. Este interpolador utiliza o modelo estatístico denominado “Inverso das Distâncias”, que se baseia na dependência espacial das amostras, isto é, supõe que quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre seus valores (Figura 12). Dessa forma atribui maior peso para as amostras mais próximas do que para as amostras mais distantes do ponto a ser interpolado. Assim o modelo consiste em se multiplicar os valores das amostras pelo inverso das suas respectivas distâncias ao ponto de referência para a interpolação dos valores.



Figura 12: Esquema da dependência espacial do interpolador IDW.

Assim, após a obtenção das notas de PUD, PUT e RD dos sítios de geodiversidade, foi possível interpolar os valores apurados em campo para toda a área de estudos.

4.4 Modelagem do Potencial Geoturístico

4.4.1 Construção das Variáveis

A modelagem cartográfica proposta contou com um total de 4 variáveis, sendo a primeira (Índice de Geodiversidade) confeccionada de acordo com o item 4.2.2, a segunda variável, que representa a Fragilidade do Meio Abiótico, foi adquirida no levantamento elaborado por Meneses (2003). Já as variáveis de Capilaridade e Visibilidade foram construídas a partir da densidade de vias de acesso e do cruzamento de informações de altimetria e pontos de observação selecionados ao longo do trabalho de campo.

A Fragilidade do Meio Abiótico consiste na representação da estrutura física do geossistema conforme sua instabilidade potencial. Para a obtenção destes dados, Meneses (2003) selecionou as variáveis Rochas Carbonáticas, Relevo Cárstico, Carste Encoberto, Classes de Declividade alta (20% a 45%) e muito alta (45%), Gleissolos e Cambissolos, Vulnerabilidade do Aquífero Cárstico e, por fim, Patrimônio Natural. Estes dados foram processados com o auxílio de uma análise de multicritérios, na qual foram ponderados pesos com base na consulta a especialistas. Para a utilização desta variável no modelo de potencial geoturístico, aplicou-se o pré-processamento necessário para adequar os dados à estrutura utilizada na pesquisa, transformando os dados para o formato *raster* (Figura 13).

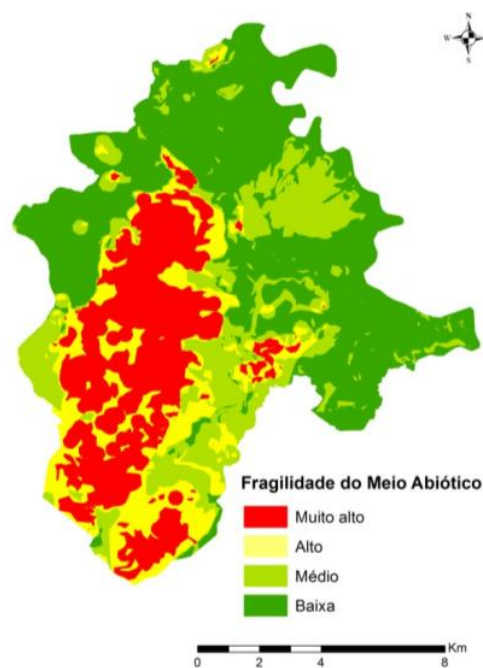


Figura 13: Mapa de fragilidade do meio abiótico da área de estudos.

A Capilaridade foi gerada para expressar espacialmente a viabilidade de ser percorrer a área de estudos por meio de estradas pavimentadas, estradas vicinais e trilhas. Para a confecção desta variável foram levantados dados correspondentes às vias de acesso, enquanto as trilhas foram vetorizadas com o auxílio de imagens de satélite disponíveis no *software Google Earth* (Figura 14). Após o levantamento dos dados vetoriais, estes foram adequados à projeção cartográfica SIRGAS 2000, a fim de equalizar com os demais dados utilizados na pesquisa. Posteriormente foi gerado um mapa de densidade das vias de acesso da área de estudos, para tal foi lançado mão da ferramenta *Kernel Density* do pacote *Spatial Analyst* do *software ArcMAP 10.1*.

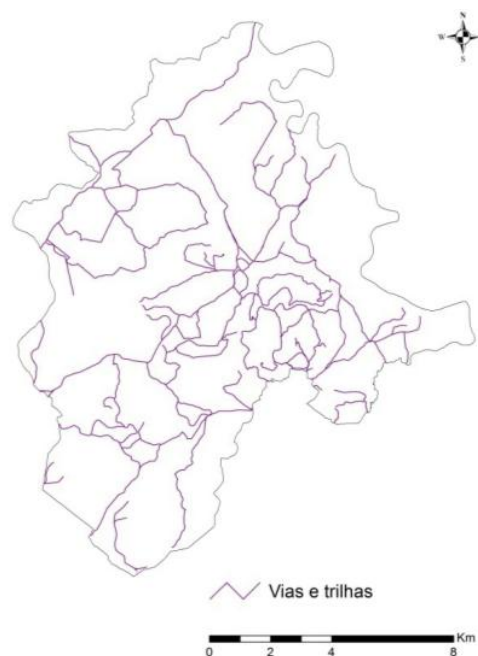


Figura 14: Mapa de vias e trilhas da área de estudos.

Para gerar a variável de Visibilidade foram cruzados os dados de relevo e pontos de observação da geodiversidade escolhidos durante o trabalho de campo, que estão associados aos locais com mirantes, estradas e trilhas. Para tanto, efetuou-se a aquisição dos dados matriciais referentes à altitude, os quais foram obtidos na plataforma *EarthExplorer* da *United States Geological Service* (USGS). Os dados são provenientes da missão *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), e foram adquiridos originalmente com a resolução de 90 metros, contudo estão disponíveis com *pixels* de 30 metros, realizado por meio de processamento digital de imagens. Em seguida, os dados topográficos foram combinados com os dados dos pontos de observação

propostos a fim de se obter a referência de visibilidade da área analisada (Figura 15). Assim, utilizou-se a ferramenta *ViewShed* do pacote de *Spatial Analyst* do *ArcMAP 10.1*, gerando um resultado binário onde são apresentados, no formato *raster*, os locais visíveis e não visíveis.

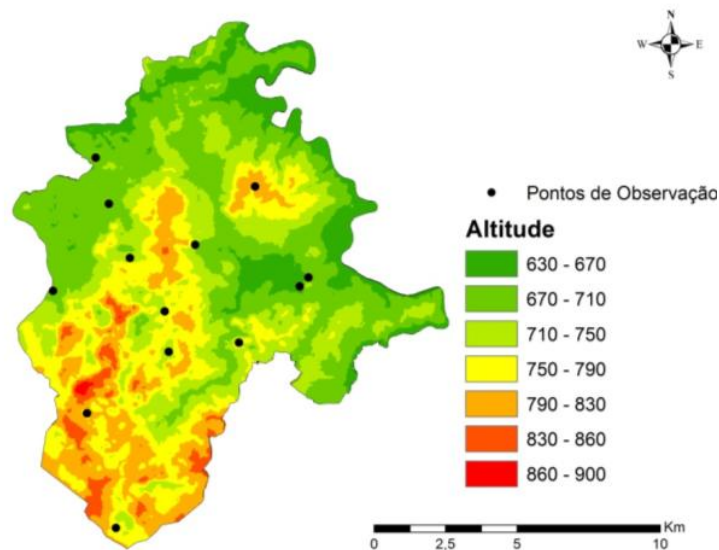


Figura 15: Localização dos pontos de observação da geodiversidade.

4.4.2 Análise de Multicritérios

Esta etapa metodológica consiste na aplicação da análise de multicritérios para a obtenção do Potencial Geoturístico da região central da APA Carste de Lagoa Santa. Após a construção das quatro variáveis que compõem o modelo, estas foram pré-processadas a fim de equalizar as estruturas dos dados para a utilização na análise multicritérios.

Para tal, foi utilizada a ferramenta *Reclassify* do pacote *Spatial Analyst*, transformando os valores originais dos dados no formato *raster*, considerando as classes dos dados originais, transpondo para notas, que são expressas pelo valor do *pixel* (

Após o processo de reclassificação dos dados matriciais, deu-se início à ponderação dos pesos das variáveis para a inserção destas na análise de multicritérios. Para esse fim, foi aplicado o método de consulta a especialistas (*Delphi*).

Tabela 2: Relação das variáveis e a nota após reclassificação).

Após o processo de reclassificação dos dados matriciais, deu-se início à ponderação dos pesos das variáveis para a inserção destas na análise de multicritérios. Para esse fim, foi aplicado o método de consulta a especialistas (*Delphi*).

Tabela 2: Relação das variáveis e a nota após reclassificação

Variável	Classes	Reclassificação
Geodiversidade	Muito alto	5
	Alto	4
	Médio	3
	Baixo	2
	Muito baixo	1
Fragilidade do Meio Abiótico	Muito Alto	1
	Alto	2
	Baixa	3
Capilaridade	Muito Baixa	4
	Alta	5
	Média	3
Visibilidade	Baixa	1
	Visível	5
	Não visível	1

Foi enviado um questionário para especialistas, contando com acadêmicos que atuam no campo da geoturismo, geodiversidade, geoconservação e patrimônio geológico, bem como profissionais que atuam na região cárstica de Lagoa Santa. O questionário é composto com um breve texto contendo os propósitos centrais da pesquisa e um quadro onde as variáveis são apresentadas e explicadas de forma objetiva e sucinta, utilizando-se de termos que possam ser compreendidos por profissionais de áreas diversas (Anexo 6). Foi pedido que as variáveis fossem ponderadas, atribuindo-se notas a cada uma destas, a fim de alcançar uma soma final de 100%.

5 SÍTIOS DE GEODIVERSIDADE DA REGIÃO CENTRAL DA APA CARSTE DE LAGOA SANTA

5.1 Índice de Geodiversidade

Assim como executado por Pereira (2014) e Sena et al (2015), foram realizados testes sistemáticos a fim de analisar o desempenho da aplicação de diferentes ferramentas para a expressão espacial de dados pontuais e lineares no formato *raster*. Os testes das ferramentas e variáveis se mostraram essenciais para a percepção do comportamento de certas variáveis dentro do cálculo do índice de geodiversidade. Assim como foi percebido pelo autor supramencionado, a aplicação da ferramenta *Buffer* faz com que alguns locais fiquem supervalorizados, evidenciando de forma imprecisa o fenômeno a ser representado, o que pôde ser percebido em regiões como a do Complexo Arqueológico de Poções, e o mosaico de UCs na região centro-norte da APA Carste (Figura 16).

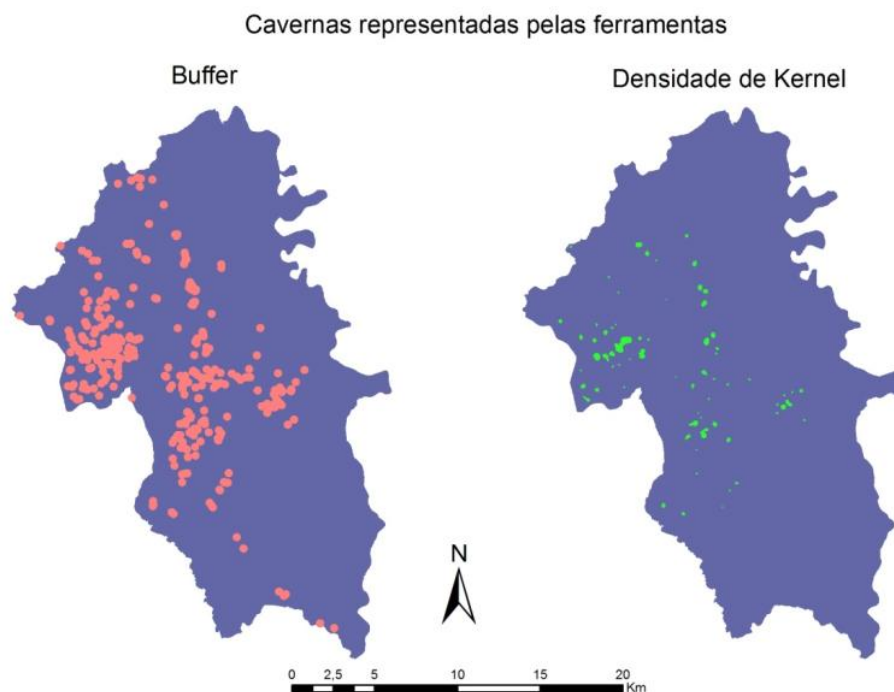


Figura 16: Aspecto da representação espacial dos dados pontuais de cavernas no formato raster utilizando diferentes ferramentas.

Assim, por meio da análise exploratória dos dados e ferramentas disponíveis, foi possível refinar os resultados obtidos para o índice de geodiversidade da APA Carste de Lagoa Santa, alcançando um produto mais aproximado da realidade (Figura 17).

Assim, a fim de representar a geodiversidade da APA Carste de Lagoa Santa, utilizou-se o banco de dados disponível e os procedimentos descritos no item 4.2. Como a aplicação metodológica foi de caráter exploratório, realizaram-se testes com o intuito de avaliar o desempenho da utilização de diferentes ferramentas de geoprocessamento para a construção de algumas das variáveis que integram a noção de geodiversidade.

Utilizou-se a ferramenta *Kernel Density* para expressar espacialmente variáveis de representação espacial na forma de pontos e linhas. Foi aplicado um raio de busca de 250 metros, a fim de respeitar a legislação do raio de influência em cavernas assim como foi aplicado à ferramenta *Buffer*. Os dados foram gerados com 30 metros de resolução, a fim de adequar à escala dos dados primários. A utilização desta ferramenta se mostrou efetiva, dado que evita a supervalorização espacial de alguns locais com alta densidade, aproximando o resultado da realidade em si.

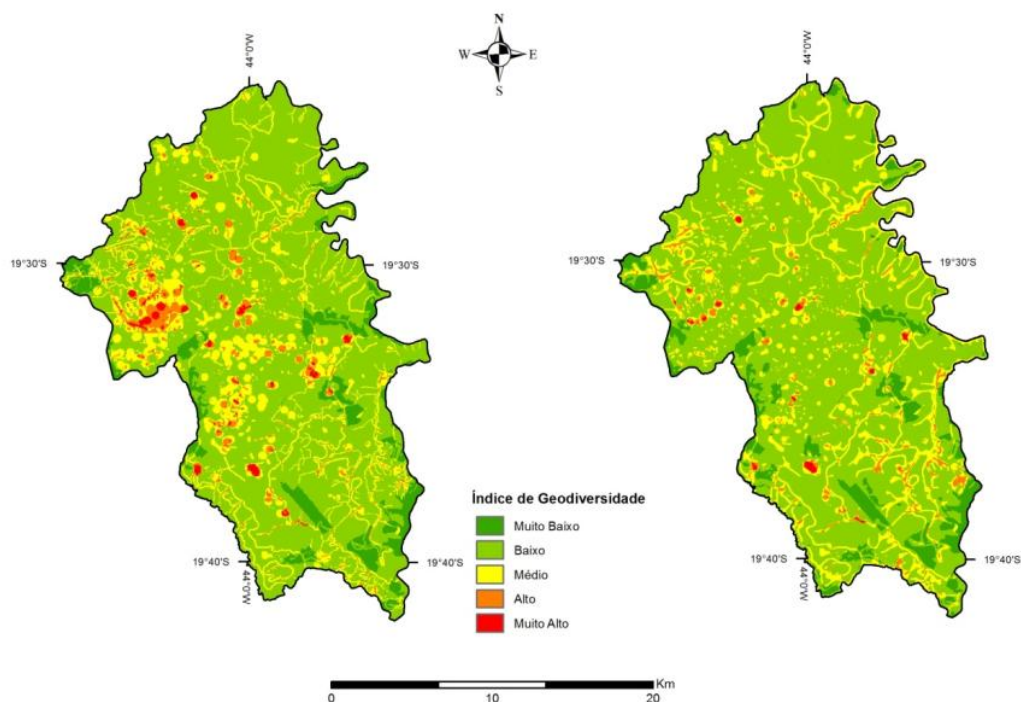
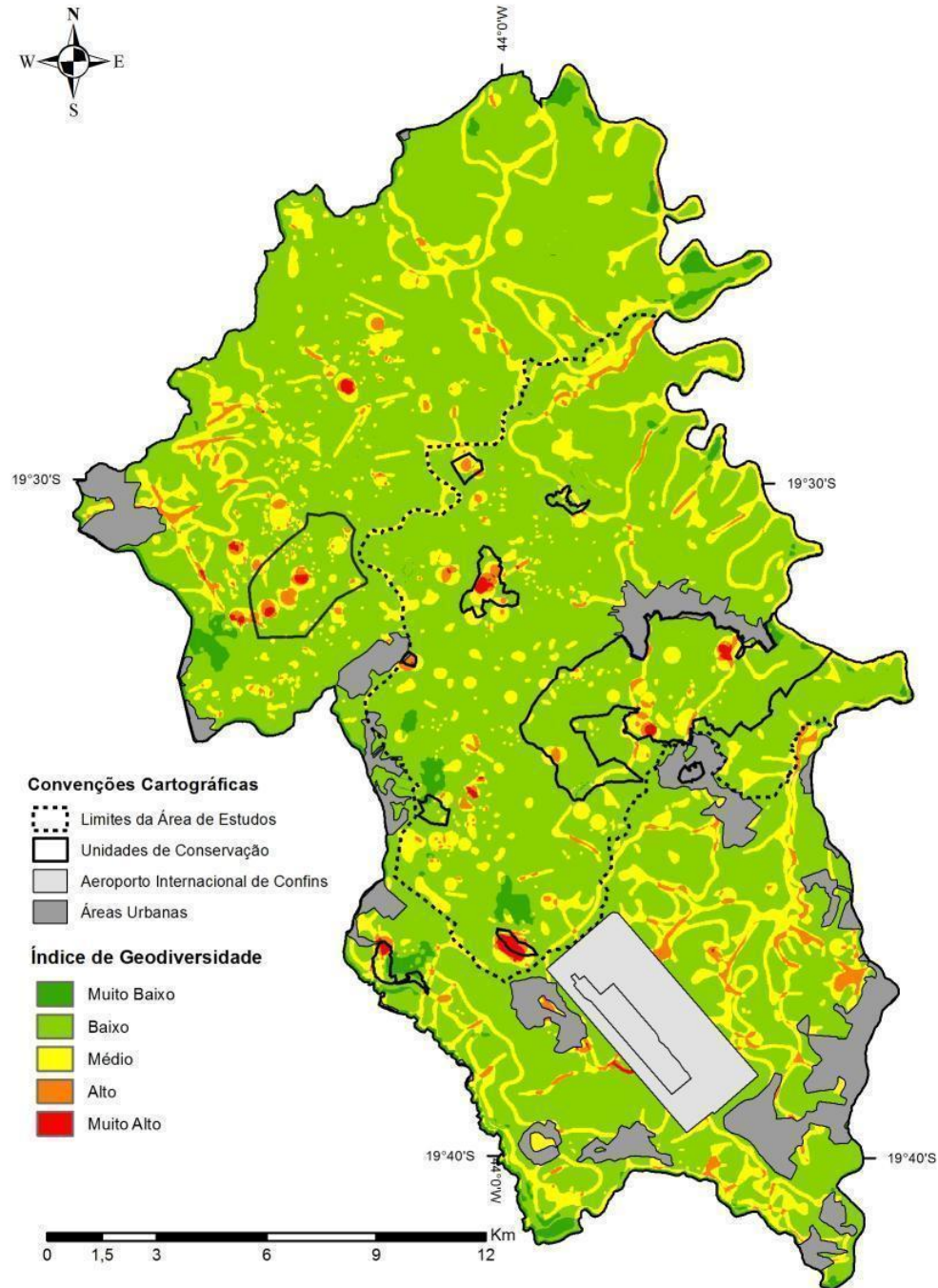


Figura 17: Resultados dos índices de geodiversidade, utilizando Buffer (esquerda) e Kernel Density (direita).

O resultado obtido permite observar que a modelagem cartográfica conseguiu representar as áreas com geodiversidade mais expressiva, localizadas principalmente na porção noroeste, central e sul da APA Carste de Lagoa Santa (Figura 18). Foi também possível verificar que as UCs que integram a área incorporam parte dos locais que apresentaram altos índices de geodiversidade, tendo destaque o PESU, na porção central, e o Conjunto Arqueológico e Paisagístico de Poções, na porção noroeste.

Entretanto, existem áreas que apresentaram altos índices de geodiversidade e estão localizadas na região onde está inserido o Aeroporto Internacional de Confins, local que concentra o vetor de desenvolvimento da RMBH. Por se tratar de uma região cárstica, o sistema ambiental se mostra frágil a impactos diretos e indiretos, o que aumenta a preocupação com relação à conservação da geodiversidade da região.

Pode-se dizer que a aplicação da modelagem cartográfica do índice de geodiversidade contribuiu para a espacialização da geodiversidade da APA Carste de Lagoa Santa, indicando os locais com relevância em relação à diversidade de fenômenos geológicos e geomorfológicos, assim como a presença de elementos que agregam valor a geodiversidade como os sítios pré-cerâmicos, cerâmicos e de arte rupestre.



Fonte: Projeto APA Carste de Lagoa Santa (1998)
 Projeção: UTM Datum: SIRGAS 2000 Zona: 23S
 Elaboração: Sena, Í. S., fevereiro de 2015

Figura 18: Mapa do índice de geodiversidade da APA Carste de Lagoa Santa

5.2 Sítios Inventariados

Foram inventariados 12 sítios de geodiversidade: Cerca Grande, Fazenda Campinho, Fazenda Experiência da Jaguará, Fazenda Samambaia, Lapa do Seu Antão, Lapa Vermelha, Maciço da Lapinha, Maciço do Baú, Mineração Finacal, Poljé Sumidouro, Rio das Velhas e Vargem da Pedra. A descrição dos sítios que se segue é baseada na ficha de inventário (Anexo 5).

5.2.1 Cerca Grande

O sítio de Cerca Grande está localizado em Mocambeiro, distrito do município de Matozinhos. O local apresenta patrimônio arqueológico de alta relevância científica e histórica, o que resultou na utilização de mecanismos específicos de proteção deste patrimônio. Inicialmente os afloramentos de Cerca Grande foram tombados por intermédio do IPHAN em 1956. Entretanto, somente em 2010 que, por meio do Decreto Estadual nº 45.398, o local se tornou uma Unidade de Conservação de proteção integral, com o nome de Parque Estadual de Carce Grande (PECG), gerido pelo IEF (IEF, 2010a).

O acesso ao sítio é feito por estrada não pavimentada ao norte de Mocambeiro, sendo necessária a permissão prévia para atravessar trecho de estrada em propriedade particular. Por ainda não ter um plano de manejo, o PECG está fechado a visitação, o que diminui sua vulnerabilidade. Porém o sítio apresenta locais com alta fragilidade, tal como figurações rupestres e depósitos químicos delicados.

A área do PECG é caracterizada pelos calcários pertencentes ao Membro Lagoa Santa, que tem associado solos residuais decorrentes dos processos de alteração do substrato pedológico. A geomorfologia é caracterizada por uma série de afloramentos calcários isolados, com alturas que chegam a mais de 30 metros. A morfologia destes é bem irregular, marcada principalmente por fendas com reentrâncias e canais que se interconectam. Em algumas partes da área o relevo está bem dissecado, apresentando uma paisagem ruiforme, caracterizado por formas como torres e blocos de calcário desagregados (Figura 19). Associados aos maciços existem uma sucessão de sumidouros intermitentes, com a presença de pequenas dolinas.

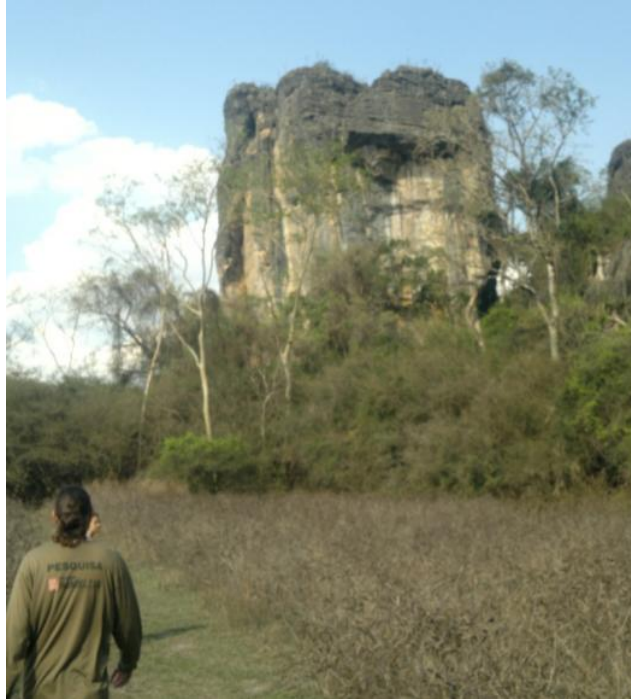


Figura 19: Maciço ruíniforme característico do local. Foto: Ítalo Sena.

As feições exocársticas do local conferem à paisagem uma beleza cênica com alto potencial de aproveitamento turístico e educativo. O local também evidencia o processo de dissolução atuando sobre o relevo, sendo possível observar um poljé, o qual e está relacionado à dinâmica fluvial do córrego Mocambo (Figura 20).



Figura 20: Depressão que circunda os maciços calcários (poljé). Foto: Ítalo Sena.

Além das feições exocársticas, o sítio apresenta grande quantidade de cavidades naturais subterrâneas e ainda permite evidenciar amplos abrigos sob-rocha. Contudo, a maioria das cavidades da área apresenta poucos metros de extensão. A morfologia dos condutos é condicionada principalmente pelo fraturamento da rocha e acamamento da rocha. Existe também quantidade representativa de cavidade verticais, caracterizadas por abismos e fendas de natureza labiríntica.

Algumas cavidades existentes no local são amplas, de fácil acesso e com poucas zonas afólicas (Figura 21), o que aumenta seu potencial para a visitação, seja turística ou didática.



Figura 21: Aspecto de uma das cavidades naturais subterrâneas do sítio. Foto: Ítalo Sena.

Dentre os depósitos químicos que compõem a área de estudos destacam-se cortinas, escorrimentos, estalactites, estalagmites e pérolas, porém somente alguns são dotados de singularidade no cenário regional. Tais feições apresentam formas peculiares que, além de atrair a atenção de quem as observa, pode ter função para exemplificar processos químicos de dissolução e precipitação que ocorrem no interior das cavernas.

Os sítios arqueológicos que compõem a área de estudos possuem conjuntos de figurações rupestres que podem ser considerados uma expressão típica da Tradição Estilística Planalto (Figura 22). Caracteriza-se pelo predomínio quantitativo ou, pelo

menos, visual, de representações zoomorfas, entre as quais quadrúpedes, sobretudo cervídeos, que formam a maioria das representações (BAETA, 2011).



Figura 22: Pinturas rupestres de Cerca Grande em detalhe. Foto: Ítalo Sena.

5.2.2 Fazenda Campinho

O sítio Fazenda Campinho é uma Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), cujo proprietário é a Holdercim Brasil S/A, abrangendo uma área de 43 hectares, criada no ano de 2001 e integra o SAPVN da RMBH. A acessibilidade é feita por uma estrada não pavimentada em boas condições de tráfego, e está a sudeste da fábrica de cimentos. O local apresenta relevância ecológica, por apresentar uma série de sumidouros e ressurgências, porém sofre pressões pela proximidade da Fábrica de Cimentos Campinho, da empresa Holcim S/A.

A litologia do sítio é composta por rochas sedimentares do Grupo Bambuí, englobando a formação Sete Lagoas, constituída pelo membro Pedro Leopoldo. A geomorfologia do local é marcada por dolinas e uvalas de bordas abruptas, deixando expostos paredões calcários. O sítio se localiza na porção oeste da região classificada como Planalto de Dolinas de acordo com a categorização geomorfológica de Kohler (1989), e apresenta o carste desenvolvido em áreas cobertas por solos de espessura variável. Berbet-Born (2002) considera o local como um dos pontos de interesse para a

geodiversidade, na descrição do geossítio do Carste de Lagoa Santa, cadastrado no SIGEP.

Apesar da facilidade de acesso, o local apresenta restrições quanto à entrada nas cavidades e outras em outras localidades que possuem feições cársticas, sendo necessária licença prévia da empresa proprietária. Porém é possível observar a porção superior das bordas abruptas das dolinas, sendo observáveis detalhes do epicarste e a associação das *matas secas* no topo dos afloramentos (Figura 23).



Figura 23: Aspecto da borda de uma dolina que compõe o sítio. Foto: Ítalo Sena.

5.2.3 Fazenda Experiência da Jaguará

O sítio de geodiversidade da Fazenda Experiência da Jaguará, localizado no município de Matozinhos, é tombado como um Monumento Natural (MONA) e integra o mosaico de UCs que compõem o setor central da APA Carste de Lagoa Santa, fazendo parte do SAPVN da RMBH. Atualmente a gestão do local é feita pelo IEF em conjunto com uma empresa agrícola homônima ao sítio.

O local é acessível por estrada não pavimentada, que também dá acesso ao PEEG. Apresenta baixa vulnerabilidade devido às restrições de acesso, sendo possível adentrar ao local somente com autorização prévia por parte do IEF. No entanto o sítio apresenta alta fragilidade, principalmente no que tange a dinâmica fluvial existente na região.

A litologia do sítio é composta por rochas sedimentares do Grupo Bambuí, englobando a formação Sete Lagoas, apresentando traços dos membros Pedro Leopoldo e Lagoa Santa, e a formação Serra de Santa Helena. Geomorfologicamente, o sítio se localiza na região denominada Planícies Cársticas Fluviais, constituídas pelo ambiente de rebaixamento topográfico da APA Carste de Lagoa Santa, apresentando alto índice de dissecação, condicionando um relevo de baixo grau de declividade (Figura 24).



Figura 24: Depressão característica da região das planícies cársticas fluviais. Foto: Ítalo Sena.

O maciço que compõe o sítio apresenta topo com alto grau de lapiezamento, com fendas verticais extensas com profundidades acentuadas. No entorno do maciço há ocorrência de pequenas áreas alagadas nos períodos mais úmidos do ano, que são alimentadas pelo lençol freático (Figura 25). As bordas formam paredões quase verticais, com aproximadamente 15 metros de desnível, e assim como seu topo, são bastante recortadas e sulcadas por processos de dissolução do calcário, que dão um aspecto de ruína ao conjunto rochoso, conferindo ao mesmo grande beleza cênica (Figura 26: Aspecto das feições cársticas da parte externa do maciço da Jaguará. Foto: Ítalo Sena.).

O patrimônio espeleológico associado ao maciço da Experiência da Jaguará apresenta-se principalmente na base do mesmo, devido principalmente ao processo de carstificação da oscilação do nível freático. Este fator condiciona processos de cavernamentos com desenvolvimento predominantemente horizontal e de fácil acesso.

Dentre as cavidades existentes no local, apenas quatro apresentam desenvolvimento superior a 150 metros, sendo estas a Lapa Experiência da Jaguará I, Lapa Experiência da Jaguará II, Gruta da Coruja e Gruta da Pedra Alta (IEF, 2010b). A abrasão da rocha matriz por fluxo hidrológico é um dos processos de formação das cavernas do local, podendo ser observados vestígios desta dinâmica nas paredes e teto das cavidades (Figura 27).



Figura 25: Aspecto de uma área alagada característica do local. Foto: Ítalo Sena.



Figura 26: Aspecto das feições cársticas da parte externa do maciço da Jaguará. Foto: Ítalo Sena.



Figura 27: Aspectos das marcas de fluxo hidrológico. Foto: Ítalo Sena.

As cavidades do local não apresentam grande número e diversidade de depósitos químicos, apresentando ornamentações comuns como estalactites, estalagmites, colunas e escorrimentos de calcita (Figura 28). Porém algumas cavidades se destacam devido à sua relevância científica, dado ao fato de terem sido encontrados fósseis de animais extintos dentro de cavernas como a Lapa Experiência da Jaguará II e a Gruta do Pomar. Existem cavidades com importância religiosa, tal como nas cavernas Lapa Experiência da Jaguará I e II, que possuem imagens sacras e recebem visitação por parte da comunidade do entorno (IEF, 2010b).

A ocupa o pr -histórica da região   diretamente relacionada aos lagos sazonais e abrigos sob-rocha, caracterizando o local como fonte vários vestígios desta ocupa o humana, apresentando pinturas rupestres e marca es de picoteamento na rocha, além de materiais l ticos lascados e polidos e fragmentos cerâmicos encontrados nos arredores do maciço rochoso. Além dos resquícios arqueológicos, o maciço também abriga vestígios de estruturas de minera o e edifica es datadas do século XVIII e XIX, que guardam a traços da história da coloniza o do vale do Rio das Velhas (IEF, 2010b).

As características peculiares do exocarste e endocarste local, bem como a representatividade paleontológica e arqueológica do local, conferem a este alto potencial para visitação turística e/ou educativa. O fácil acesso e a proximidade à sede da fazenda contribuem para este potencial.



Figura 28: Espeleotema do tipo coluna, formado pelo encontro de estalactite com estalagmite. Foto: Ítalo Sena.

5.2.4 Fazenda Samambaia

A região do sítio da Fazenda Samambaia está quase em sua totalidade dentro dos limites do PESU, e recebe o nome de uma das sub-bacias do carste de Lagoa Santa, o córrego Samambaia. Este curso d'água é principal abastecedor da Lagoa do Sumidouro, a qual termina em uma série de sumidouros próximo ao maciço homônimo.

A acessibilidade é feita por estrada pavimentada que liga o distrito de Quintas do Sumidouro a Pedro Leopoldo, passando por trechos de estradas de terra que levam à sede da fazenda, que atualmente serve como alojamento para pesquisadores.

Apesar de estar parcialmente protegido por lei, o sítio está numa região onde há uso agropecuário e silvicultura de eucalipto e, se tratando de uma micro bacia, está sujeito a impactos indiretos devido à estes usos. O local também abriga rico patrimônio arqueológico, que também apresenta fragilidade quanto à deterioração por uso antrópico.

Geologicamente, o córrego está inserido no contexto do Membro Lagoa Santa, compondo a Formação Sete Lagoas como uma seção superior, e constituem-se principalmente de calcarenitos, calcissiltitos e/ou espartitos/microespartitos, brecha, estromatólitos e milonitos protoderivados (IBAMA, 1998). Sobre os relacionamentos hidrogeológicos da bacia do córrego Samambaia, Auler (1994) salienta que as surgências ao longo do curso tendem a pertencer ao sumidouro localizado dentro da cavidade Lapa Vermelha I, que apresenta grande lago que ocupa todo conduto principal da caverna. Esses fluxos hidrológicos estão potencialmente relacionados a uma área ao sul da bacia, aos arredores de Confins e Lagoa Bonita.

O contexto geomorfológico em que se enquadra o sítio é caracterizado pelo Vale do Samambaia, onde está inserido o corredor ecológico do PESU, devido a importante função sistêmica no carste regional. Segundo IEF (2010d),

"Trata-se de um vale pouco encaixado que apresenta planície aluvia de dimensões variáveis, atingindo algumas centenas de metros de largura nos arredores da Fazenda Palestina. Esta drenagem tem sofrido intensas interferências antrópicas desde o início da colonização na área, sob forma de captações e desvios" (IEF, 2010d, p.45).

Dentre os locais visitados no sítio Fazenda Samambaia, destaca-se o abrigo Samambaia, ponto que apresenta lago sazonal que se forma no fundo de uma dolina localizada na base de um maciço calcário com cobertura vegetal predominantemente de *mata seca* (Figura 29).



Figura 29: Vista do abrigo Samambaia a partir de uma estrada vicinal. Foto: Ítalo Sena.

O local também é marcado pela ocorrência de figurações rupestres, picoteamentos e bacia de polimento. Segundo Baeta (2011), os picoteamentos existentes no local se tratam biomorfos, associados a incisões rasas e bacia de polimento em uma superfície muito lisa, indicando se tratar de um suporte antigo, servindo para afiação de material lítico (Figura 30). As pinturas rupestres presentes no local são marcadas por características da Tradição Planalto, com representações de animais da fauna local (Figura 31), além de registros de materiais líticos, como machado semilunar nos terraços do córrego Samambaia (BAETA, 2011).



Figura 30: Picoteamentos em bloco de rocha na base do abrigo Samambaia. Foto: Ítalo Sena.



Figura 31: Figuração rupestre localizada a cerca de 5 metros de altura em pequena depressão na rocha.

Foto: Ítalo Sena.

5.2.5 Lapa do Seu Antão

O sítio de geodiversidade da Lapa do Seu Antão está localizado próximo ao distrito de Fidalgo, pertencente a Pedro Leopoldo, e é considerado um Parque Natural de Escalada de Lazer, sendo gerido por um clube de escalada desde 2010. O local está

uma área rural particular que abriga um laboratório de escalada, que desenvolve iniciativas sustentáveis para a prática esportiva em áreas naturais.

A região em que o sítio está inserido é caracterizado pelos calcários pertencentes ao Membro Lagoa Santa, assim como o sítio de Cerca Grande, apresentando ocorrência de calciossiltitos de acordo com Meneses (2013). Geomorfologicamente, o sítio se enquadra nas classes das planícies cársticas de Fidalgo e Mocambeiro, que são marcadas pela presença do *poljé* do Sumidouro (IBAMA, 1998). O sítio apresenta feições cársticas comuns no contexto regional, apresentando-se como um maciço calcário cortado por uma série de diáclases e algumas ocorrências de cavernas (Figura 32).



Figura 32: Grande diáclase que corta o maciço no sentido NW-SE. Foto: Ítalo Sena.

O sítio é frequentemente utilizado para a prática da escalada, e está sinalizado com painéis de aviso e conta atualmente com 126 vias para a atividade esportiva. O grupo de escalada, Montis, é responsável pelo local e foi fundado em 2011 como uma associação sem fins lucrativos, e tem como objetivo o desenvolvimento social, cultural e esportivo. O grupo disponibiliza para os frequentadores do local uma série de croquis para indicar os níveis de dificuldade das vias de escalada (Figura 33).

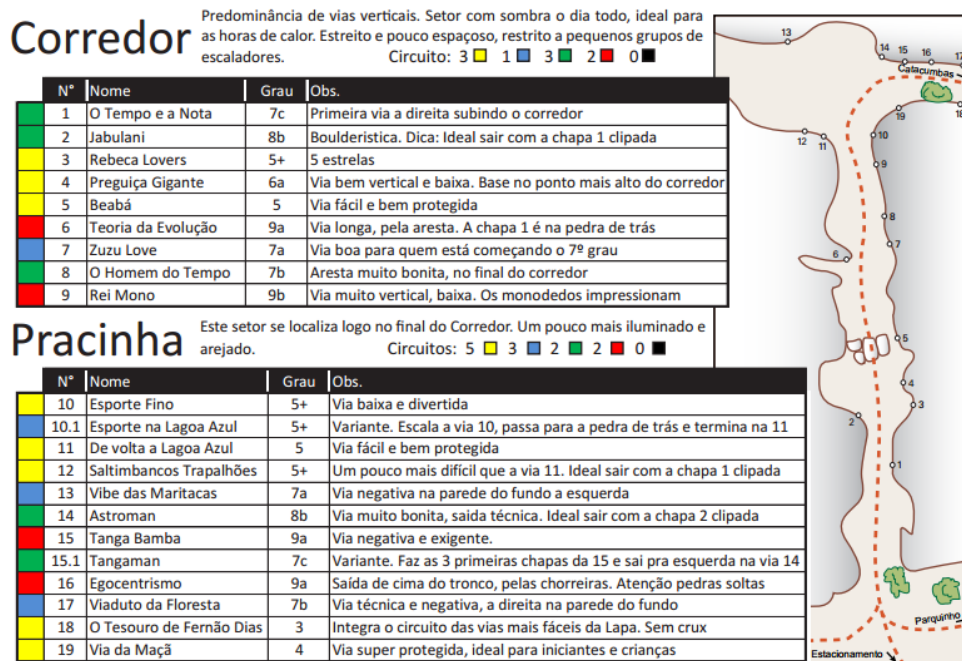


Figura 33: Croqui de dois locais de escalada presentes no sítio da Lapa do Seu Antão (MONTIS, 2012, p. 11).

O sítio também abriga resquícios da mineração e beneficiamento de calcário, sendo possível observar a antiga frente de lavra e estrutura em ruínas dos fornos (Figura 34), o que demonstra uso da geodiversidade do sítio associado a outros valores.



Figura 34: Antigas estruturas de fornos usadas para o beneficiamento do calcário. Foto: Ítalo Sena.

5.2.6 Lapa Vermelha

O sítio de geodiversidade da Lapa Vermelha está protegido como uma MONA sob gestão do IEF. Este se apresenta como um dos locais de maior relevância científica da área de estudos, sendo palco de um dos achados arqueológicos mais representativos do continente. Devido à sua importância arqueológica e proximidade a um empreendimento minerário, existem restrições quanto ao acesso às cavernas, sendo possível apenas observar as feições cársticas a partir da rodovia que passa pelo local.

O local está inserido no contexto do Planalto das Pequenas Depressões, apresentando maciços rochosos com presença de janelas, arcadas, torres, lagos, dolinas e uvalas. Por sustentar floresta semi-decídua, durante a época de estiagem a mata seca facilita a observação da rocha calcária acinzentada, marcada pela presença de caneluras de dissolução e outras feições do carste local (IBAMA, 1998).

A partir da rodovia é possível observar algumas características do exocarste local, tal como a abertura frontal do maciço, formando a Lapa Vermelha I (Figura 35). Neste ponto observa-se também aspectos da hidrologia relacionada à cavidade, onde existe um rebaixamento do relevo, que condiciona o fluxo da água em direção à caverna, formando um lago nos períodos mais úmidos do ano.



Figura 35: Campo de visão a partir de uma rodovia pavimentada próxima ao sítio. Foto: Ítalo Sena.

No local estão importantes sítios arqueológicos, como a Lapa Vermelha IV, onde a missão arqueológica franco-brasileira liderada por Annette Laming-Emperaire descobriu nos anos 70 o crânio de "Luzia", com mais de 11 mil anos, sendo ainda hoje um dos mais antigos esqueletos humanos das Américas (Figura 36). Além de contar com este registro arqueológico de destaque, o sítio ainda conta com algumas ocorrências de grafismos rupestres, que datam de cerca de 3,8 mil anos, que foram encontrados nas primeiras camadas de escavação (PROUS, 1992 citado por BAETA, 2011).



Figura 36: Reconstrução do rosto e crânio de Luzia. Imagem retirada de:
<http://i.ytimg.com/vi/D6nmr5tofq0/hqdefault.jpg>.

5.2.7 Maciço da Lapinha

O sítio de geodiversidade Maciço da Lapinha está localizado dentro dos limites do PESU, sendo um dos locais com turismo já consolidado, contando com dois museus, trilhas interpretativas, vias de escalada e trajetos espeleoturísticos (Figura 37). O acesso é feito pelo distrito de Lapinha, que pertence a Lagoa Santa. O local tem estacionamento com capacidade para considerável número de veículos, e conta com uma linha de transporte urbano que liga Lagoa Santa ao distrito de Lapinha, tendo um ponto de parada próximo ao receptivo turístico do PESU.

Por estar integralmente dentro dos limites do PESU, o sítio apresenta vulnerabilidade moderada, estando sujeita a possíveis depredações por parte do alto fluxo de turistas no local.



Figura 37: Entrada da Gruta da Lapinha com estruturas de acesso. Foto: Ítalo Sena.

O maciço da Lapinha está geologicamente localizado na região pertencente à Formação Sete Lagoas, correspondente ao Grupo Bambuí, que apresenta calcários de coloração cinza e tonalidades médias a escuras. Tectonicamente a área foi palco de uma deformação progressiva, heterogêneas e com deslocamentos em regime dúctil-rúptil, expressando estes processos nos calcários mais impuros. A litologia local condicionou o

surgimento de feições exocársticas que caracterizam as formas de relevo presente na área.

O endocarste do sítio é caracterizado por um agrupamento expressivo de cavernas ao longo e no entorno do Maciço da Lapinha, englobando cerca de 15 cavernas no entorno próximo e mais 6 cavernas no mesmo maciço, porém mais afastadas. O número total de ocorrências soma 21 grutas, ou seja, mais da metade do total de grutas registradas no parque (IEF, 2010d). Dentre as cavidades do sítio se destacam três, sendo a primeira a Gruta da Lapinha, que é o principal atrativo turístico do sítio. A importância da caverna está relacionada a princípio à sua relação com o naturalista Peter Wilhelm Lund (Figura 38), porém hoje a cavidade se apresenta como uma das maiores em profusão de espeleotemas abertos ao público no país. A caverna tem uma extensão total de 730 metros, tendo a área de visitação turística 510 m e um desnível de 40 m, o acesso é facilitado no interior da caverna por estruturas como escadas e corrimões (COSTA, 2008).



Figura 38: Aspecto do interior da Gruta da Lapinha. Foto: Acervo PESU-IEF.

Outras cavidades que apresentam relevância são a Gruta da Macumba e a Gruta de Túneis. A primeira integra o circuito turístico do Maciço da Lapinha, e guardam vestígios de rituais de religiões de matriz africana, apresentando um valor cultural do

sítio, esta se localiza próximo ao espaço de recepção dos turistas, e contém depósitos químicos como placas calcínicas suspensas e duas entradas (Figura 39).

A Gruta de Túneis é a mais extensa cavidade do PESU chegando a quase um quilômetro de desenvolvimento, e é caracterizada por uma gênese paragenética. A cavidade é marcada por condutos meandantes, trechos com teto relativamente baixo, sendo uma cavidade de difícil acesso, estando fora do circuito turístico convencional do PESU (Figura 40). A caverna é comumente utilizada para visitas técnicas ligadas à espeleologia.



Figura 39: Vista de dentro da Gruta da Macumba. Foto: Ítalo Sena.



Figura 40: Aspecto do teto da Gruta de Túneis com meandros provenientes do processo paragenético.

Foto: foxgeologia.blogspot.com.br.

5.2.8 Maciço do Baú

A região dos maciços Macacos-Baú não é área protegidas e são observáveis a partir de um mirante à beira da estrada de Fidalgo (Figura 41 e Figura 42), porém o acesso ao restante do sítio é restrito, sendo somente liberado a partir de licença de pesquisa. Contudo há uma iniciativa que objetiva instituir um Monumento Natural na área do maciço. O acesso ao mirante é fácil, sendo possível estacionar automóveis próximo ao local de observação. Pelas restrições de acesso, o local apresenta baixa vulnerabilidade, podendo sofrer impactos indiretos pelo uso agropecuário nos arredores do sítio.

A morfologia da área chama a atenção pela alta densidade de dolinas, pela presença de maciços calcários residuais com vários lapiás e cavernas, além da vasta riqueza paleontológica e arqueológica. O sítio integra a Depressão Poligonal de Macacos Baú, fazendo parte do compartimento dos Planaltos Cársticos, com grande concentração de dolinas e uvalas, assim como morros residuais e alongados. A depressão que caracteriza a área é constituída por quatro uvalas que apresentam lagoas temporárias, tendo no setor mais rebaixado da depressão a Lagoa dos Macacos, que constitui uma zona de descarga hídrica de origem subterrânea (RIBEIRO, 2006). Além de se destacar por seu conjunto morfológico constituído de topos planálticos,

normalmente convexos ou alongados, e zonas epicársticas com a presença de mata seca (PILÓ, 1998).

A feição exocárstica mais representativa do sítio é a responsável pelo nome do mesmo, sendo constituído por uma torre calcária que apresenta um antigo conduto exposto devido à ação do intemperismo, restando apenas uma seção transversal do mesmo, que se assemelha a uma "fechadura" de baú.



Figura 41: Mirante à beira da estrada de Fidalgo. Foto: Ítalo Sena.



Figura 42: Vista a partir do mirante. Foto: Ítalo Sena.

Dentre os outros locais de interesse para a geodiversidade que se encontram no sítio está a gruta do Baú, que conta com desenvolvimento superior a 800 metros. Além de apresentar dimensão representativa, a caverna ainda abriga depósitos químicos singulares no contexto regional, como represas de travertino com profundidades notáveis. Assim como Evangelista e Travassos (2014) descreveram, os potenciais de uso das feições geomorfológicas relevantes do Maciço do Baú podem ser utilizados para o turismo sem maiores preocupações com a deterioração dos elementos da geodiversidade, porém o local carece da instalação de infraestrutura básica para a visitação.

5.2.9 Mineração Finacal

O sítio de geodiversidade da Mineração Finacal está localizado na porção oeste do PESU, e é acessado por meio da estrada de Fidalgo, mesma que dá acesso ao sítio Maciço do Baú. Atualmente o local está fechado para visitação, porém o fácil acesso e a baixa vulnerabilidade e fragilidade conferem a este alto potencial para o uso turístico e didático.

A região é caracterizada pelo Planalto Cárstico, sendo compreendido como uma região com altos índices de carstificação no relevo, sendo notadas pelo adensamento de processos de dolinamentos, bem como maciço aflorantes, características compartilhadas com o sítio anteriormente descrito.

No local funcionou um empreendimento minerário que hoje se encontra desativado, o que propiciou que a frente de lavra ficasse exposta, apresentando características do epicarste local (Figura 43). Conforme apresentado por Evangelista e Travassos (2014), o local.

"apresenta um epicarste expressivo e identificado em virtude da exposição da fina camada de solo seguida por uma zona intemperizada no contato solo/rochas. (...) o fluxo da água ocorre de modo diferenciado em virtude do contato da água com rocha, proporcionando maior pressão e aumentando, assim, a dissolução da rocha e alargando os condutos. Nesse estágio concentram-se porções de materiais ainda inconsolidados devido aos processos intempéricos" (EVANGELISTA; TRAVASSOS, 2014, p. 91).



Figura 43: Aspecto do interior da lavra desativada da Mineração Finacal. Foto: Ítalo Sena.

Os autores supracitados avaliaram a relevância didática e turística do sítio quanto ao valor para a geomorfologia, e salientam que o local apresenta feições como cavernas preenchidas por sedimentos (Figura 44). Também apresentam que estas cavernas podem estar associadas a níveis freáticos pretéritos, favorecendo o afloramento do lençol e acúmulo de águas pluviais. O local, apesar de apresentar características que aumentem seu potencial para a visitação, não dispõe de equipamentos de apoio e serviços turísticos, assim como no Maciço do Baú.



Figura 44: Caverna preenchida por sedimentos. Foto: Ítalo Sena.

5.2.10 Polié Sumidouro

O Poljé do Sumidouro, que dá nome ao PESU, é um dos principais pontos de visitação turística da região. O acesso é feito pelo distrito de Fidalgo, onde existem estruturas de apoio à visitação, tal como escadas com corrimão, painéis informativos, lixeira e dois mirantes, sendo um deles localizado no alto do maciço (Figura 45) e outro na borda nordeste da lagoa. Dos mirantes é possível observar todo o conjunto paisagístico que compõe o poljé do Sumidouro, o que proporciona a percepção da depressão cárstica e sua dependência do sistema fluviocárstico do córrego Samambaia, além das relações ecológicas com o cerrado, áreas de regeneração e matas secas associadas ao maciço calcário, assim como foi descrito na avaliação de Evangelista e Travassos (2014).

O local é caracterizado por uma grande depressão, que consiste num poljé cujo sumidouro está associado a um maciço calcário (hume) na porção leste da lagoa, que por sua vez compreende o Planalto Lagoa Santa. A lagoa é alimentada pela micro bacia do córrego Samambaia (sítio descrito no item 5.2.4), que tem grande importância na dinâmica hidrogeológica do carste regional, tendo seu sumidouro na base do maciço (Figura 46).



Figura 45: Vista panorâmica a partir do mirante localizado no topo do maciço. Foto: Ítalo Sena.



Figura 46: Sumidouro da lagoa homônima no inverno de 1976. Foto: Kohler, 1989.

No maciço do Sumidouro encontra-se também a gruta que leva o mesmo nome e foi local de uma das descobertas mais relevantes do naturalista Peter Wilhelm Lund. Por estar condicionada ao fluxo hídrico da lagoa do Sumidouro, a caverna é inacessível nos períodos de maior precipitação e possibilitando o acesso durante os tempos de estiagem, o que possibilitou que Lund pesquisasse a caverna em 1843. Em suas pesquisas Lund encontrou dois esqueletos humanos fossilizados, além de restos de animais, o que contribuiu para o amadurecimento científico do naturalista, sugerindo a coexistência de do homem com os animais pré-históricos (BAETA, 2011; HOLTEN; STERLL, 2011).

O sítio também tem figurações rupestres caracterizadas por sucessões de linhas (Figura 47) que, segundo Wlatar (1958) citado por Baeta (2011), poderiam indicar um sistema de anotação linear, dando uma noção de cronologia. Existe uma alternância nas cores utilizadas na confecção das pinturas do local, sendo ainda percebidas algumas grades pretas e circunferências vermelhas, com sinais de retoques em algumas figurações de quadrúpedes, o que pode ser um indício de uso constante do local por grupos humanos (BAETA, 2011).



Figura 47: Bastonetes com alternância de cor e depredações pretéritas à criação do Parque. Foto: Ítalo Sena.

5.2.11 Rio das Velhas

O sítio que compreende o Rio das Velhas foi avaliado a partir da antiga ponte da MG-010, e compreende o nível de base regional, condicionando o carste existente na margem esquerda do mesmo. Regionalmente o curso do rio das Velhas é um importante marco geográfico, responsável pela definição territorial do limite da APA Carste de Lagoa Santa, do PESU e dos municípios limítrofes ao longo de todo o seu curso.

Geologicamente o local está inserido no domínio do membro Pedro Leopoldo, compreendido pela porção basal da Formação Sete Lagoas, e é caracterizado por carbonatos impuros ou calcarenitos muito finos, calcários dolomíticos, dispostos em sua maioria em camadas horizontais, apresentando coloração de bege a rósea e cinza a cinza-claro (CPRM, 2010). O rio das Velhas também engloba a Formação Santa Helena, que se apresenta composta por rochas pelito-arenosas, siltitos argilosos e esparsas lentes de rochas carbonáticas.

Os Depósitos Aluvionares e Terraços são encontrados em vários trechos do rio das Velhas e seus afluentes, e possuem espessura de até cinco metros, são constituídos principalmente por sedimentos argiloso-arenosas semiconsolidados, sendo possível ainda identificar intercalação de seixos de quartzo, fragmentos de siltito, arenito, areia grossa e porosa, e material ferruginoso (CPRM, 2010). Como nível de base regional, o

Rio das Velhas exerce papel importante no modelado do relevo cárstico, sendo seus principais tributários o córrego Samambaia e córrego Mocambo.

A partir da antiga ponte da MG-010 é possível observar trechos com a rocha aflorante e parte do aspecto meandrante do rio, além da presença de matas secas na margem esquerda (Figura 48). Estes aspectos contribuem para que o sítio tenha relevância para o uso didático, podendo servir para exemplos acerca da dinâmica fluvial cársticas e suas relações ecológicas.



Figura 48: Vista a partir da antiga ponte da MG-010. Foto: Ítalo Sena.

5.2.12 Vargem da Pedra

O sítio de geodiversidade da Vargem da Pedra atualmente é protegido legalmente como um MONA, sendo uma das UCs que integram o SAPVN da RMBH. O local está inserido na borda leste do sítio urbano do distrito de Matozinhos, sendo facilmente acessado por ruas pavimentadas. A facilidade de acesso junto da sua localização geográfica faz com que o sítio apresente alta vulnerabilidade, e sua fragilidade está associada principalmente a lagoa intermitente e às figurações rupestres encontradas no local.

Geologicamente, o sítio está localizado no Membro Lagoa Santa, consistindo na porção superior do substrato litológico da região, assentadas sobre um embasamento cristalino, que contribui na dinâmica hidrogeológica regional, o que propicia a formação

de lagoas temporárias. A área do sítio é caracterizada por uma dolina que compõe um complexo de dolinas que inundam periodicamente, formando um sistema de lagos na planície de Mocambeiro (Figura 49 e Figura 50). O local é marcado por um grande maciço calcário localizado na porção mais baixa da dolina, ficando com sua base submersa em períodos de alta pluviosidade.

A região da Vargem da Pedra compreende as chamadas Planícies Cársticas e Fluviais, com altitudes inferiores a 700 metros. Os solos do local têm predominância de cambissolos ocupando porções inundáveis, e latossolos relacionados às encostas mais elevadas não inundáveis, e neossolos litólicos associados ao maciço rochoso (IEF, 2010c).



Figura 49: Lagoa preenchida durante período úmido. Foto: Ambiente Brasil (2010).



Figura 50: Vista da dolina durante período de estiagem. Foto: Ítalo Sena.

O local abriga os sítios espeleológicos da gruta Vargem da Pedra e abrigo Vargem da Pedra. A gruta está localizada em afloramento calcário pouco evidente a sudeste da lagoa (Figura 51), tendo desenvolvimento linear considerável e nível freático aparente no interior do salão principal durante os períodos úmidos. A cavidade tem morfologia labiríntica, com um salão amplo com água cristalina azul-esverdeada, saturada de carbonato de cálcio, o que propicia a formação de espeleotemas chamados de "jangadas", que consistem na precipitação de mineral de calcita na superfície da água. O abrigo está localizado no maciço principal, e contém pinturas rupestres com alto nível de degradação (Figura 52), e é caracterizada por dois condutos retilíneos e paralelos, ligados por condutos intermediários nas porções superiores do maciço, apresentando espelotemas comuns como escorrimentos (IEF, 2010c).



Figura 51: Entrada da gruta Vargem da Pedra. Foto: Ítalo Sena.



Figura 52: Pinturas rupestres com pichações no abrigo Vargem da Pedra. Foto: Ítalo Sena.

6 MODELAGEM CARTOGRÁFICA COMO ESTRATÉGIA DE GEOCONSERVAÇÃO

6.1 Espacialização dos Dados

Ao decorrer das visitas aos sítios inventariados, foram computadas as notas referentes a cada critério obtendo-se a nota final por meio de uma média ponderada (Tabela 3: Notas da avaliação quantitativa do PUD e PUT, Tabela 4: Notas da avaliação quantitativa do RD, Tabela 5: Nota final da avaliação quantitativa dos sítios).

Tabela 3: Notas da avaliação quantitativa do PUD e PUT

Sítio	Potencial de Uso Didático e Turístico								Potencial Didático		Potencial Turístico	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	I	J
Critérios	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	I	J
Cerca Grande	4	2	3	2	4	3	4	4	4	4	4	2
Fazenda Campinho	2	2	2	2	2	1	1	2	2	3	2	2
Fazenda Exp. Jaguara	3	2	2	2	4	1	2	4	4	4	4	2
Fazenda Samambaia	3	1	2	4	3	1	2	4	2	3	3	3
Lapa do Seu Antão	2	3	4	4	4	2	2	4	4	3	4	4
Lapa Vermelha	3	3	2	3	3	1	4	3	4	4	3	2
Maciço da Lapinha	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4
Maciço do Baú	3	4	3	3	3	2	2	2	2	3	3	4
Mineração Finacal	3	4	3	3	4	1	1	4	3	3	4	4
Poljé Sumidouro	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Rio das Velhas	2	4	4	3	1	1	1	3	4	2	4	4
Várzea da Pedra	4	4	2	4	3	2	2	3	3	4	4	1

Tabela 4: Notas da avaliação quantitativa do RD

Sítio	Risco de Degradação			
	A	B	C	D
Critérios	A	B	C	D
Cerca Grande	3	1	1	2
Fazenda Campinho	3	2	1	2
Fazenda Exp. Jaguara	2	2	3	2
Fazenda Samambaia	2	4	3	1

Lapa do Seu Antão	2	4	4	3
Lapa Vermelha	2	4	2	3
Maciço da Lapinha	1	1	1	4
Maciço do Baú	2	1	1	4
Mineração Finacal	1	3	1	4
Polié Sumidouro	1	2	1	3
Rio das Velhas	3	4	4	4
Várzea da Pedra	4	4	2	4

Tabela 5: Nota final da avaliação quantitativa dos sítios

Sítio	Potencial de Uso Didático	Potencial de Uso Turístico	Risco de Degradação
Cerca Grande	345	340	185
Fazenda Campinho	200	205	210
Fazenda Exp. Jaguará	305	300	225
Fazenda Samambaia	255	250	260
Lapa do Seu Antão	340	340	315
Lapa Vermelha	315	305	265
Maciço da Lapinha	380	380	145
Maciço do Baú	270	280	180
Mineração Finacal	310	305	195
Poljé Sumidouro	380	390	155
Rio das Velhas	280	270	365
Vargem da Pedra	320	325	350

O Potencial de Uso Didático (PUD) os sítios Maciço da Lapinha, Poljé Sumidouro, Cerca Grande e Lapa do Seu Antão apresentaram notas consideráveis, devido principalmente aos quesitos relacionados à acessibilidade, segurança, potencial didático e geodiversidade, obtendo notas de 380, 380, 345 e 340 respectivamente. Já a Fazenda Campinho apresentou a menor nota para o PUD, totalizando 200 ao final da avaliação, devido à dificuldade de acessar e observar os locais de interesse para a geodiversidade, sendo possível verificar somente pequenos trechos de afloramento rochoso próximo às bordas das dolinas que compõem o sítio, bem como em relação às cavidades presentes no local, que necessitam de licença prévia para serem acessadas. Os

demais sítios apresentaram notas que variam entre 255 e 310, mostrando uma tendência padrão para o uso didático destes locais.

As notas de Potencial de Uso Turístico (PUT) apresentaram comportamento próximo do PUD, isso se deve especialmente pela diferença entre estas duas avaliações constituir de apenas dois critérios. Os locais que apresentaram PUT considerável estão relacionados principalmente à região do PESU e PEGC, mostrando a região da MONA Fazenda Campinho com notas de Muito Baixo a Baixo, assim como ocorre com a Fazenda Samambaia (Figura 53). Assim, os valores finais de PUT para cada sítio variou de 5 a 10 para mais ou para menos. A inserção de critérios mais específicos e adequados à realidade do local estudado poderia detalhar a análise, ressaltando as diferentes potencialidades dos sítios, contribuindo para uma análise mais aprofundada.

Na avaliação do Risco de Degradação (RD) o comportamento dos dados apresentou uma correlação com a proteção legal dos sítios analisados. Locais como os relacionados ao PESU, PEGC e MONA Fazenda Experiência da Jaguará apresentaram de Muito Baixo a Médio risco de degradação, enquanto os locais como Lapa Vermelha, Rio das Velhas e Vargem da Pedra se mostraram os sítios mais vulneráveis a degradação, devido principalmente à exploração mineral e ocupação humana próxima aos sítios (Figura 53). Considerando que esta avaliação julgou o RD a partir de apenas quatro critérios, cabe pensar que o mesmo poderia ser integrado com mais parâmetros adaptados à realidade da área de estudos.

Assim como foi apresentado no item 4.3.3 do capítulo 4, os dados coletados durante a avaliação quantitativa foram espacializados por meio da interpolação, pelo método do IDW. Conforme explicitado, os resultados para PUD e PUT apresentaram comportamentos similares, enquanto o RD se mostrou dependente da proteção legal dos sítios inventariados, com ressalvas para a Lapa Vermelha, que está associada a uma mineração a norte do sítio, e Vargem da Pedra que está localizada numa região com certo adensamento urbano. Estes dois sítios estão tombados com Monumentos Naturais Estaduais e apresentaram notas para RD de 265 e 350, respectivamente, e apresentaram estas notas principalmente em relação ao critério "B" da avaliação, que diz respeito à proximidade à áreas/atividades com potencial de degradação. Já a Lapa do Seu Antão apresentou de Alto a Muito Alto para o risco RD, o que se deve a avaliação quantitativa considerar um peso relevante para proteção legal do sítio, e por estar sujeita a deterioração dos elementos da geodiversidade mediante o uso do local.

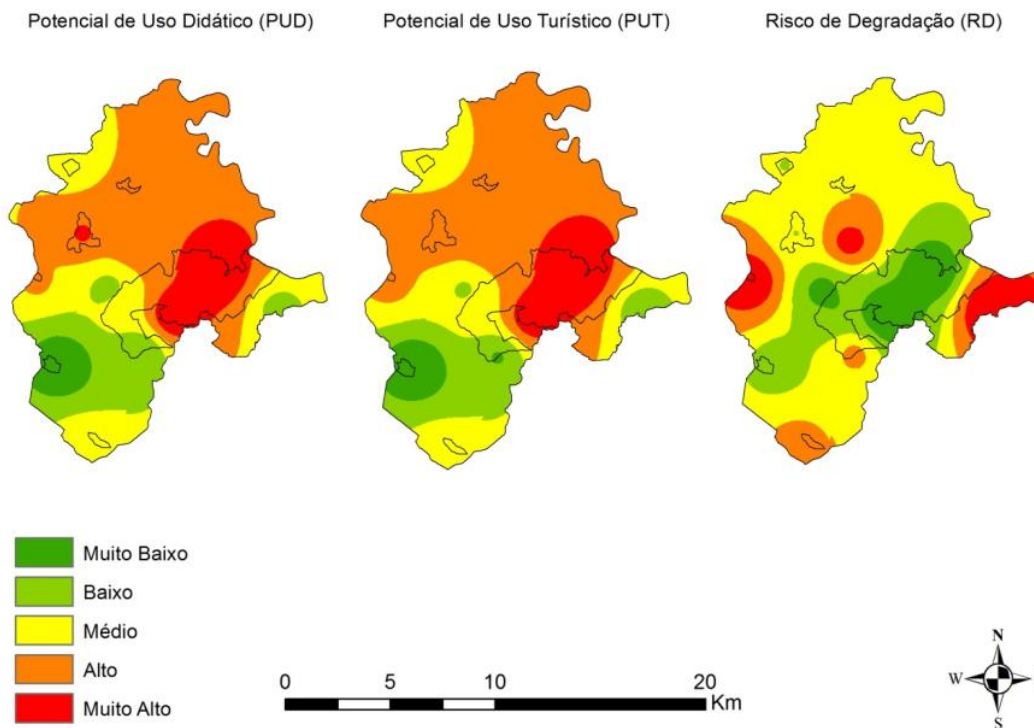


Figura 53: Espacialização dos dados interpolados por meio do método IDW.

Optou-se por analisar também a acurácia do método para interpolar os valores dos locais vizinhos aos sítios. Para isso, foi gerada uma tabela (Anexo 7) que apresenta os erros provenientes da aplicação desta ferramenta para a espacialização dos dados. Foi percebida uma margem de erro considerável ao inferir o PUD para os sítios da Fazenda Campinho, Fazenda Samambaia, Maciço da Lapinha, Rio das Velhas e Poljé Sumidouro, comportamento que se repetiu para a interpolação dos valores do PUT. Este desempenho se deve principalmente à amostragem de pontos utilizada na interpolação, partindo do pressuposto de que quanto menor a amostragem, maior o erro.

Para o RD este comportamento também foi percebido, porém para os sítios Rio das Velhas, Vargem da Pedra, Lapa do Seu Antão, Maciço da Lapinha e Poljé Sumidouro. Estes dados podem servir como norte para o desenvolvimento de um método de quantificação mais harmonioso com os propósitos da pesquisa, porém não deslegitima os dados já levantados.

6.2 Potencial Geoturístico

Assim como foi abordado no item 4.4.1, as variáveis que integram o modelo cartográfico de Potencial Geoturístico foram construídas a partir da utilização de técnicas de geoprocessamento, com exceção da variável de Fragilidade do Meio Abiótico (Figura 54), que foi obtida do levantamento realizado por Meneses (2003). A variável de Capilaridade apresentou uma concentração de vias principalmente na região dos distritos de Fidalgo, Lapinha e Quintas do Sumidouro, e dentro da área do PESU, pela presença de um número considerável de trilhas (Figura 55). Outras regiões como a porção noroeste e sul da área de estudos apresentaram algumas manchas com alto índice de capilaridade, fato relacionado principalmente à presença de rodovias pavimentadas e estradas vicinais de propriedades rurais particulares.

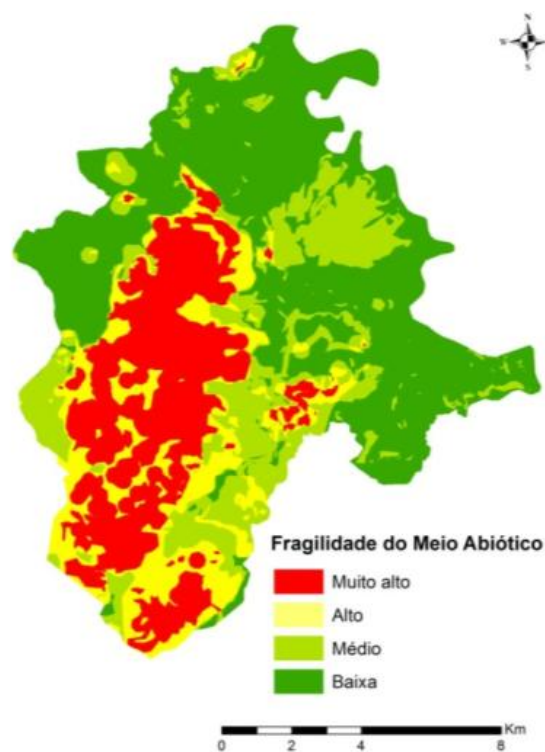


Figura 54: Variável correspondente à fragilidade do meio abiótico.

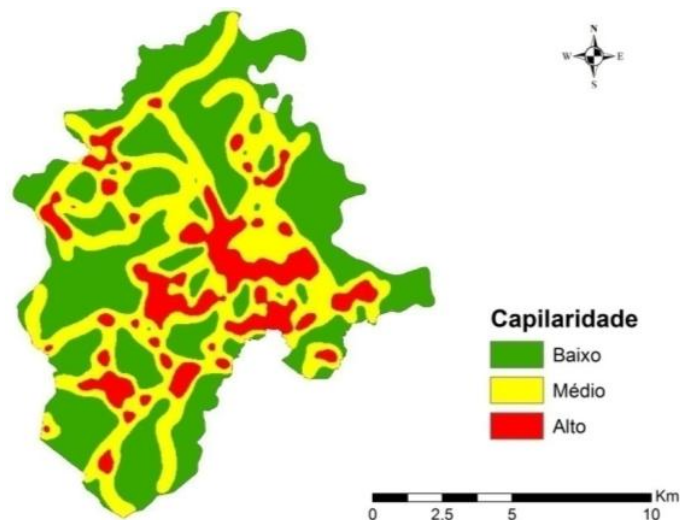


Figura 55: Variável referente à capilaridade da área de estudos.

A Visibilidade, obtida a partir de pontos de observação selecionados ao longo do trabalho de campo, se mostrou concentrada principalmente na região do PESU, o que pode ser explicado pela grande depressão da lagoa do Sumidouro e dos mirantes escolhidos (Figura 56). Outras localidades, como a região sudoeste e norte da área de estudos, apresentaram baixa visibilidade. Esta resposta pode estar relacionada, na porção sudoeste, com alta densidade de processos de dissolução da rocha, fazendo com que o relevo fique menos homogêneo. Já na porção norte, a visibilidade ficou comprometida devido à baixa capilaridade da região, restringindo a possibilidade de um maior número de pontos de observação da geodiversidade.

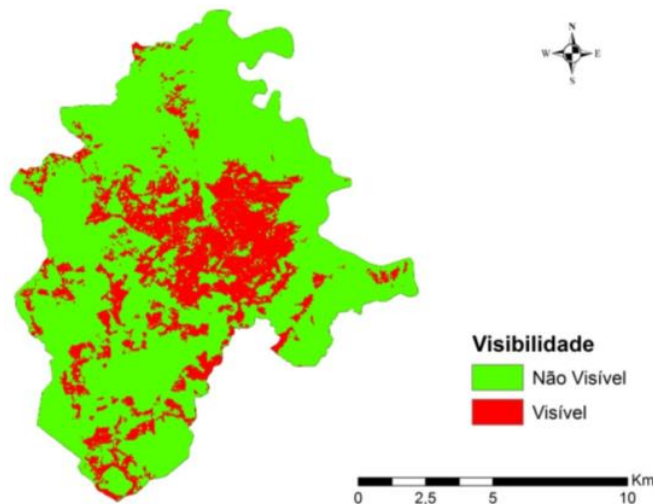


Figura 56: Variável referente à visibilidade a partir dos pontos de observação.

Após as respostas dos especialistas, foi realizada uma média entre as notas atribuídas para cada variável, chegando à porcentagem final de peso da variável (Figura 57).

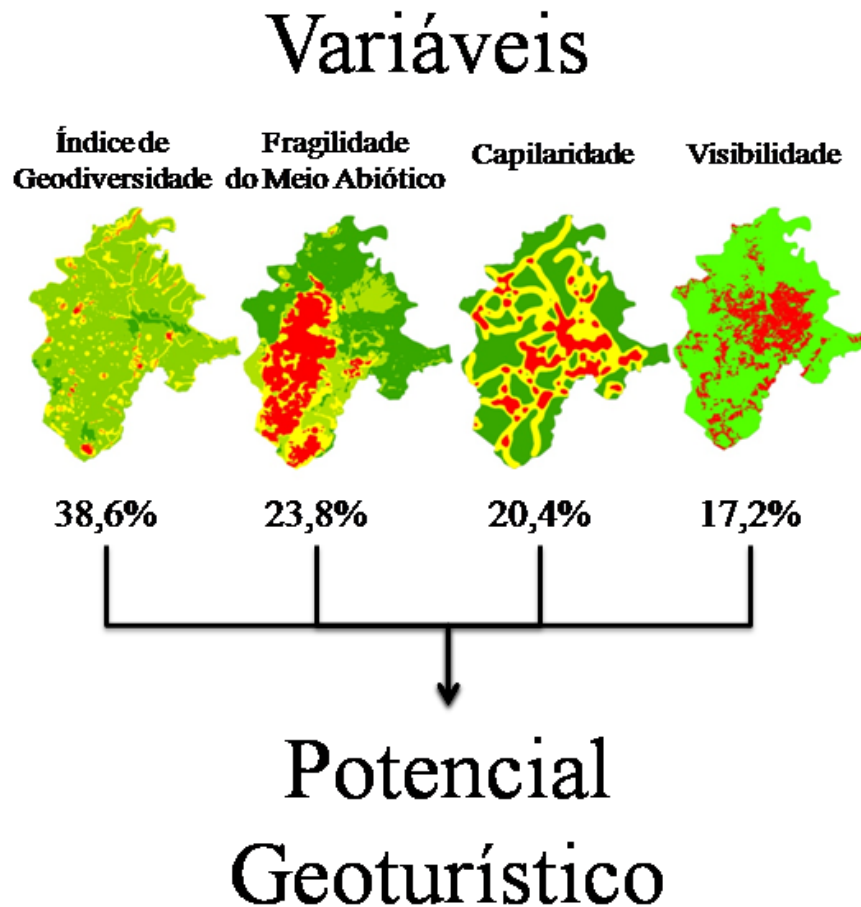


Figura 57: Relação de cada variável e seu peso.

Assim como foi explicitado no item 4.4.2, após as etapas de construção das variáveis e consultas a especialistas, os dados foram analisados com o auxílio de uma análise multicritérios. Para tal, lançou-se mão da ferramenta *Raster Calculator*, do pacote *Spatial Analyst*, onde foram atribuídos os pesos correspondentes a cada variável do modelo obtendo-se, ao final, o mapa de Potencial Geoturístico (Figura 58). A partir do resultado é possível perceber que o potencial geoturístico está relacionado principalmente à região do PESU, apresentando valores de Alto a Muito Alto também para áreas como a Lapa do Seu Antão e região da Fazenda Campinho, Fazenda Experiência da Jaguará e Cerca Grande, já a área da Lapa Vermelha mostrou valores de Médio para Alto.

Apesar não ter sítios de geodiversidade na porção norte da área de estudo, a mesma apresentou de Médio a Alto potencial geoturístico para quase toda sua totalidade, enquanto os sítios Maciço do Baú e Mineração Finacal não apresentaram alto potencial para o geoturismo. O sítio de geodiversidade do Rio das Velhas, a partir do ponto avaliado, apresentou potencial de Médio a Baixo, porém existem outros trechos do Rio das Velhas que não foram visitados durante o campo de avaliação quantitativa, alguns destes trechos mostraram potencial majoritariamente Médio.

Foi observado que a porção norte da área apresentou maiores potenciais para o geoturismo do que a porção sudoeste. Na porção sul da área de estudos se concentram os empreendimentos minerários, enquanto ao norte a atividade mais representativa é a agropecuária, estes fatores podem ter influenciado o resultado final do modelo, dado ao fato do impacto ambiental/visual e principalmente às restrições de acesso aos sítios.

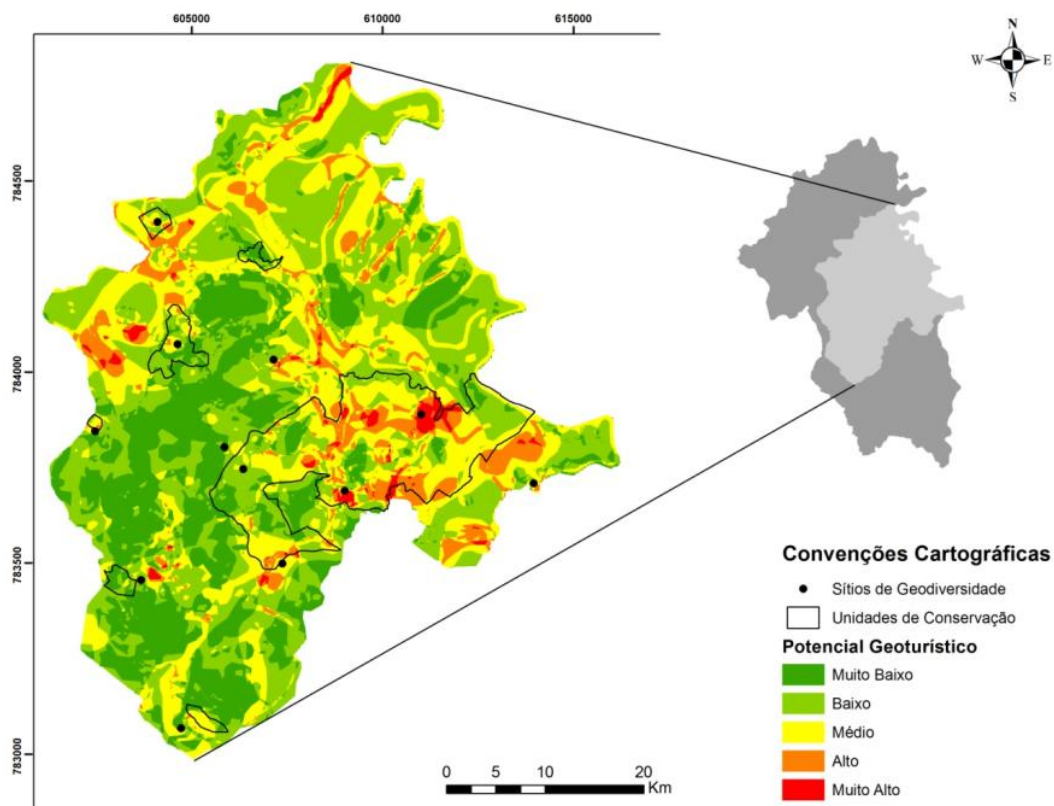


Figura 58: Mapa do Potencial Geoturístico da Região Central da APA Carste de Lagoa Santa.

A relação da área com o PGT é descrito na Tabela 6, onde é percebido que 10% da área de estudo possui de Alto a Muito Alto potencial geoturístico, enquanto 62% da área apresenta de Baixo a Muito Baixo e 28,3% da área se mostra com médio potencial:

Tabela 6 Relação entre Área e Potencial Geoturístico

Potencial	Área Correspondente (km ²)	Percentual da Área (%)
Muito Baixo	34,1	24,2
Baixo	53,1	37,8
Médio	39,8	28,3
Alto	11,5	8,2
Muito Alto	2,1	1,5
Total	140,5	100

Com base em uma análise visual dos mapas gerados por meio da interpolação das notas dos sítios inventariados, foi possível perceber uma relação espacial entre os mapas de Potencial Geoturístico e os mapas de Potencial de Uso Didático, Turístico e Risco de Degradação (Figuras Figura 59, Figura 60 e Figura 61). No mapa de PUD e PUT é perceptível uma relação direta com o PGT, no qual a região norte se apresenta com maior potencialidade para práticas didáticas e turísticas ligadas ao geoturismo, enquanto para o mapa de Risco de Degradação existe uma relação com as áreas protegidas por lei, mostrando que a porção central da área tende a ter menos risco.

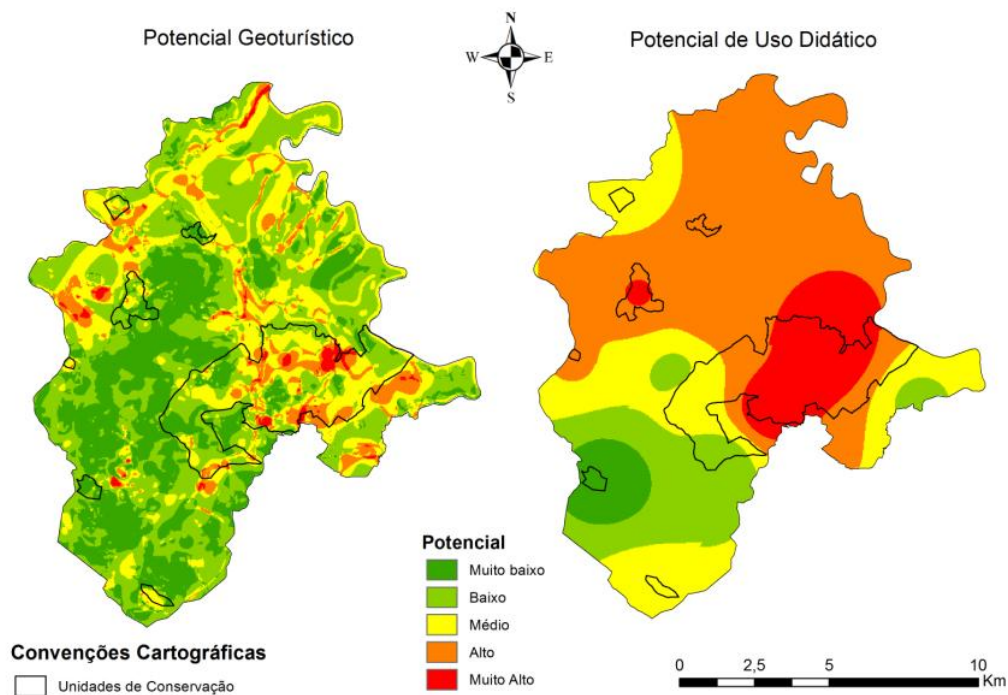


Figura 59: Relação espacial entre PGT e PUD.

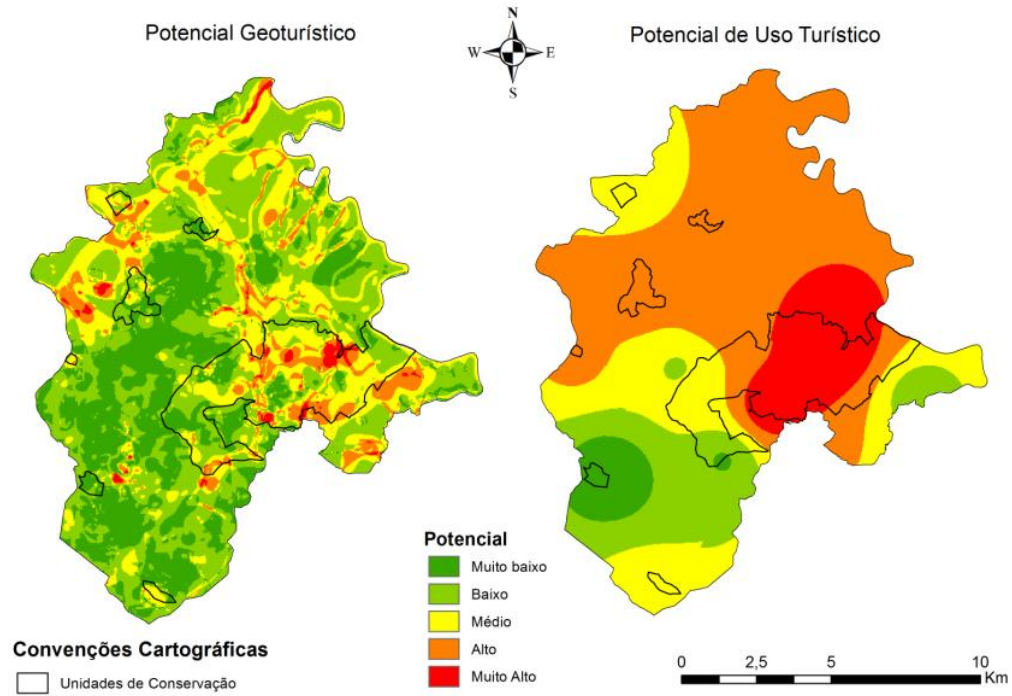


Figura 60: Relação Espacial entre PGT e PUT.

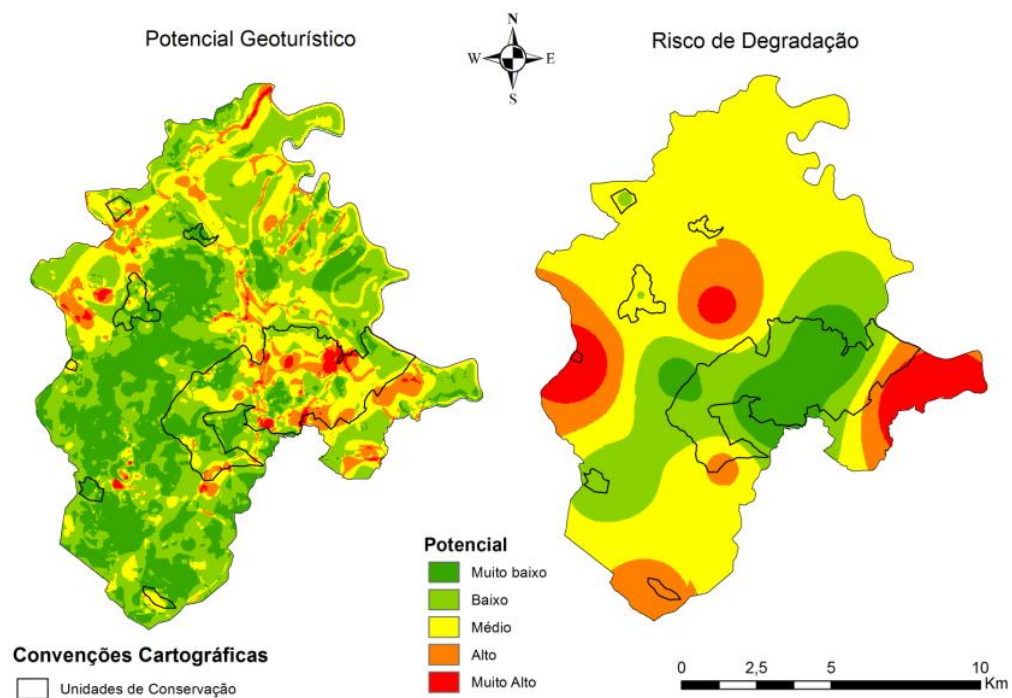


Figura 61: Relação espacial entre PGT e RD.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A APA Carste de Lagoa já apresenta um potencial intrínseco para o aproveitamento geoturístico, devido à sua rica geodiversidade, patrimônio geológico e geomorfológico. Este aspecto é evidenciado pelo seu índice de geodiversidade que, apesar do método ainda estar em desenvolvimento, apresentou uma série de localidades de alto índice de geodiversidade.

Então, pode-se dizer que a análise espacial por meio da modelagem cartográfica pode contribuir de maneira que possibilita uma análise contextualizada do comportamento dos elementos da paisagem representando o potencial geoturístico, revelando as áreas que apresentam maior potencial para receber iniciativas geoturísticas.

Por meio deste estudo foi possível, conforme proposto nos objetivos, gerar o mapa de geodiversidade da APA Carste de Lagoa. O resultado obtido representa a geodiversidade da área de forma espacializada e se apresenta como um produto que, além dos propósitos estabelecidos nesta pesquisa, pode fomentar iniciativas para outros estudos no ramo do geoturismo e geoconservação.

Pelo fato desta pesquisa não ter como foco principal o inventário sistemático dos sítios de geodiversidade da APA Carste de Lagoa Santa, alguns locais de interesse não foram considerados no inventário realizado. Dentre os fatores limitantes para a realização desta etapa do trabalho estão as dimensões da área de estudo, o tempo disponível para a execução das visitas de campo e principalmente as limitações de acesso às propriedades particulares. Parte do patrimônio geológico da APA Carste de Lagoa Santa ainda se encontra dentro de áreas de fazendas e empresas de mineração, o que dificultou a possibilidade de se descrever e, posteriormente, quantificar os sítios de geodiversidade localizados dentro dessas áreas.

Outro ponto passível de consideração está relacionado ao método de avaliação quantitativa aplicado na pesquisa. Este se mostrou pouco adaptável à realidade da área de estudo, já que o autor do método o elaborou sob a perspectiva dos geoparques que, geralmente, estão associados às grandes limites territoriais. No contexto da região central da APA Carste de Lagoa Santa, os parâmetros adaptados que foram aplicados na área conseguiram representar parte da realidade, porém é indicado que seja elaborada uma avaliação quantitativa que seja capaz de abordar aspectos mais detalhados da região, considerando as particularidades da geodiversidade local.

As limitações quanto à realização do inventário influenciaram a etapa de interpolação dos dados obtidos na avaliação quantitativa dos sítios de geodiversidade. As restrições de acesso reduziram a possibilidade de quantificar uma quantidade satisfatória de sítios, o que reduziu o número de amostras utilizadas no processo de interpolação. A quantidade limitada de amostras fez com que o resultado do modelo de interpolação, utilizando do método IDW, para o PUD, PUT e RD apresentassem alguns erros consideráveis em algumas localidades, o que pode ser corrigido com um inventário sistemático e detalhado na área. Contudo, a construção das variáveis PUD, PUT e RD foram de grande importância para a compreensão das relações espaciais dos potenciais didático, turístico e degradativo da área de estudo e, apesar de não terem sido incluídos na análise multicritérios, representam de forma ilustrativa as potencialidades dos sítios em relação à área de estudos.

O método desenvolvido pode ser aplicado em outras localidades, devido à facilidade de obtenção da maioria das variáveis utilizadas, o que pode contribuir para uma evolução metodológica no estudo de temas relacionados ao geoturismo.

Portanto, a modelagem cartográfica do potencial geoturístico da região central da APA Carste de Lagoa Santa apresentou-se como ferramenta de análise espacial e gestão territorial com relevância para o desenvolvimento do geoturismo na região, e pode auxiliar pesquisas futuras, bem como a escolha de locais para a implementação de práticas geoturísticas.

8 REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. 1977. Os domínios morfoclimáticos da América do Sul: primeira aproximação. *Geomorfologia*, v.53, 1-23.
- ALMEIDA, F. F. M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7:349-364.
- AULER, A. S. 1994. Hydrogeological and hidrochemical characterization of The Matozinhos - Pedro Leopoldo Karst, Brazil. The Faculty of the Department of Geography and Geology/ Western Kentucky University. Dissertação de Mestrado.
- AULER, A. S.; PILÓ, L. B. Introdução à Espeleologia. In: CECAV(Org.). IV Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental. v.1. Belo Horizonte: Editora Rona, 2013. p.7-23.
- BAETA, A. M. Os Grafismos Rupestres e suas Unidades Estilísticas no Carste de Lagoa Santa e Serra do Cipó - MG. 2011. 280 f. Tese (Doutorado em Arqueologia Brasileira) - Museu de Arqueologia e Etnologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- BENTO, L. C. M. ; RODRIGUES . Geoturismo em unidades de conservação: uma nova tendência ou uma necessidade real? - Estado da arte. *Revista do Departamento de Geografia - USP*, v. 25, p. 99-119, 2013.
- BERBERT-BORN, M., Carste de Lagoa Santa, MG: berço da paleontologia e da espeleologia brasileira. In: SCHOBENHAUS, C., CAMPOS, D. A., QUEIROZ, E. T., WINGE, M., BERBERT-BORN, M. SCHOBENHAUS,C.; CAMPOS,D.A.; QUEIROZ,E.T.; WINGE,M.; BERBERT-BORN,M.L.C. (Edit.) 2002. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP) - Brasília 2002; p. 415-430.
- BRILHA, J. Patrimônio Geológico e Geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica. Braga, Portugal: Palimage, 2005. 190p.
- BRILHA, J. Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. *Geoheritage*, Springer Berlin Heidelberg, p. 1-16, 2015.
- CÂMARA, G.; CARVALHO, Marília Sá ; FUCKS, S. ; MONTEIRO, Antônio Miguel . Análise Espacial e Geoprocessamento. In: FUCKS, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. (Org.). Análise Espacial de Dados Geográficos. Emprapa - Brasília 2004; p. 21-52.
- CARTELLE, C., 1994. Tempo Passado. Mamíferos do Pleistoceno em Minas Gerais. Editorial Palco, Belo Horizonte, MG, 131 p.
- CARTELLE, Castor. Peter W. Lund, a naturalist of several sciences. *Lundiana* 3(2):83-85, 2002. Instituto de Ciências Biológicas – UFMG. Disponível em <<http://www.icb.ufmg.br/lundiana/Contents/full/vol322002/invited.pdf>> : Acesso 12/10/2015

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo:Edgard Blucher Ltda, 1980, 2a. ed. 188p.

CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de sistemas ambientais. São Paulo: Edgar Blucher, 1999. 236p

COSTA, F. L. B. Roteiro Informativo Sobre a Região Cárstica de Lagoa Santa: A Gruta da Lapinha e o Parque Estadual do Sumidouro. 2008. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2008.

CPRM, Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro / editor: Cassio Roberto da Silva. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. 264 p

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAL (CPRM). Programa Geologia do Brasil: Projeto Sete Lagoas-Abaté, Estado de Minas Gerais. In: TULLER, Manoel Pedro et al. (Orgs.). Belo Horizonte: CPRM, 2010

EVANGELISTA, V. K., TRAVASSOS, L. E. P. Patrimônio Geomorfológico do Parque Estadual do Sumidouro. Belo Horizonte: PUC Minas, 2014. 136p.

FARIA, L.E.; SENA, I.S.; SANTOS, P.V.S.; SILVA, L.H.M.; MOREIRA, M.G. Os caminhos de Lund em Minas Gerais: a Lapa da Forquilha, Baldim – MG. In: RASTEIRO, M.A.; SALLUN FILHO, W. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 33, 2015. Eldorado. Anais.. Campinas: SBE, 2015. p.405-412. Disponível em:<http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe_405-412.pdf>. Acesso em: 5/10/15.

FERRAZ, M. H. M. A produção do Salitre no Brasil Colonial. Química Nova, 23(6). Sociedade Brasileira de Química, 2000 Disponível em: <<http://www.sbq.org.br/publicacoes/quimicanova/qnol/2000/vol23n6/20.pdf>>. Acesso em: 21de outubro 2015.

FORD, D. C.; WILLIAMS, P. W. Karst geomorphology and hidrology. United Kingdom: Wiley, 2007. 526 p.

FORD, A. Modeling the Environment: An Introduction to System Dynamics - Models of Environmetal Systems. Washington D.C. Island Press, 1999. 401p.

GARCÍA-CORTÉS A. & URQUÍ L. C. -2009- Documento metodológico para la elaboración del inventario Español de lugares de interés geológico (IELIG).Version 11, 12-03-2009. Instituto Geológico y Minero de España . Disponível em: <http://www.igme.es/internet/patrimonio/>, acessado em 12/10/09.

GOULART, P. P., MACHADO, M. M. M., PAIVA, J. E. M., RUCHKYS, U. A. Proposta de Zoneamento do Geopark Quadrilátero Ferrífero – MG a partir da quantificação de seus atrativos turísticos. In: Congresso Brasileiro de Patrimônio Geológico, 3., 2015. Lençóis, BA. Anais do III Congresso Brasileiro de Patrimônio Geológico, Lençóis, BA: UEFS, 2015, 602 p.

GRAY M. (Eds.) 2004. Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature. John Wiley & Sons, Chichester, England, 448 p.

HJORT J. & LUOTO M. 2010. Geodiversity of high-latitude landscapes in northern Finland. Elsevier Geomorphology, 115:109-116.

HOLTEN, B; MICHAEL, S. P. W. LUND e as grutas com ossos em Lagoa Santa. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011, 335 p.

HOLTEN, B. et al. O Artista Desaparecido - P. W. Lund e P. A. Brandt no Brasil. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2012. 252 p.

IBAMA. Gestão Ambiental: APA Carste de Lagoa Santa. Belo Horizonte: IBAMA/CPRM/GERIDE, 1998. 580p.

IEFa, Instituto Estadual de Florestas. Monumento Natural da Gruta do Santo Antônio e Parque Estadual de Cerca Grande. 2010. 292 f. Levantamento Técnico para Criação de Unidade de Conservação - Instituto Estadual de Florestas (IEF)/Brandt Meio Ambiente/Fazenda Santo Antônio. Belo Horizonte, 2010.

IEFb, Instituto Estadual de Florestas. Estudo Técnico para a criação do Monumento Natural Estadual Experiência da Jaguará. 2010. 112 f. Levantamento Técnico para Criação de Unidade de Conservação - Instituto Estadual de Florestas (IEF)/Ambiente Brasil Consultoria. Belo Horizonte, 2010.

IEFc, Instituto Estadual de Florestas. Estudo Técnico para a criação do Monumento Natural Estadual Vargem da Pedra. 2010. 92 f. Levantamento Técnico para Criação de Unidade de Conservação - Instituto Estadual de Florestas (IEF)/Ambiente Brasil Consultoria. Belo Horizonte, 2010.

IEFd, Instituto Estadual de Florestas. Plano de Manejo do Parque Estadual do Sumidouro. 2010. 200 f. Plano de Manejo, Encarte 3, v.1 - Instituto Estadual de Florestas (IEF)/Geosphaera Consultoria Ambiental. Belo Horizonte, 2010.

KOHLER, H. C. Geomorfologia cárstica na Região de Lagoa Santa-MG. 1989. 113f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, Escola de Geografia. São Paulo.

KOHLER, H.C. Geomorfologia cárstica. In: CUNHA, S.B. da; GUERRA, A J.T.(Orgs.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro:Bertrand Brasil, 1994. cap. 7, p.309-334.

KOZLOWSKI, S. Geodiversity. The concept and scope of geodiversity. Polonia: Przegląd Geologiczny, vol. 52, n. 8/2, p. 833-837, 2004.

LIMA, T. A. O Povoamento Inicial do Continente Americano: Migrações, Contextos, Datações. In: RODRIGUES-CARVALHO, C.; SILVA, H. P. (Orgs.). Nossa Origem – O povoamento das Américas: visões multidisciplinares. Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2006. p. 1- 28.

LIMA, F. F. Proposta Metodológica para a Inventariação do Patrimônio Geológico Brasileiro. 2008. 103f. Dissertação (Mestrado Patrimônio Geológico e Geoconservação) – Universidade do Minho, Braga. Disponível em: <www.dct.uminho.pt/mest/pgg/docs/tese_lima.pdf>. Acesso em: 10 set. 2011.

MANSUR, K. L.; ROCHA, A. J. D; PEDREIRA, A. J.; SCHOBENHAUS, C. ; SALAMUNI, E. ; ERTHAL, F. L. C. ; PIEKARZ, G.F. ; WINGE, M. ; NASCIMENTO, M.A.L. ; RIBEIRO, RR . Iniciativas Institucionais de valorização do patrimônio geológico no Brasil. Boletim Paranaense de Geociências, v. 70, p. 2-27, 2013.

MENESES, Isabel Cristina Rocha Roquete Cardoso de. Análise geossistêmica na área de proteção ambiental (APA) carste de Lagoa Santa, MG. 2003. 187f. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

MONTIS, Clube de Escalada de Lazer. Lapa do Seu Antão. Croqui, 5ª ed. Belo Horizonte, MG, 2012, 21p.

MOREIRA, J. C. Geoturismo: Uma abordagem Histórico-Conceitual. In: VI Seminário da Associação nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Turismo, 2009, São Paulo - SP. Anais do VI seminário da ANPTUR. São Paulo - SP, 2009.- pegar página

MOURA, Ana Clara M.: Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. Anais do XIII Simpósio de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, INPE. pp. 2899-2906, 2007.pegar páginas

MOURA, A. C. M. Geoprocessamento na Gestão e Planejamento Urbano. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. 285p. pegar páginas

NASCIMENTO, M. A. L. ; AZEVEDO, U. R. ; MANTESSO NETO, V. . Geoturismo: um novo segmento do turismo no Brasil. Revista Global Tourism, v. 3, p. internet, 2007.

PEÑALVER, T. G. Modelagem Espacial do Potencial Geoturístico do Entorno da Baía de Habana - Cuba. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Bahia, Brasil, 2013. 148p.

PEREIRA, P. J. DA S. Patrimônio Geomorfológico: conceptualização, avaliação e divulgação. Aplicação ao Parque Natural de Montesinho. Tese de Doutorado. Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2006. 370p.

PEREIRA, R. G. F. A. Geoconservação e desenvolvimento sustentável na Chapada Diamantina (Bahia-Brasil). Tese de Doutorado. Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2010, 295p.

PEREIRA, E. O.. Modelagem da geodiversidade da área de proteção ambiental sul da região metropolitana de Belo Horizonte. 2014. 80p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

PEREIRA, E. O.; RUCHKYS, U.; PELLITERO, R. Modelagem da Geodiversidade na Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte MG. *Geonomos*, v. 21, p. 97-101, 2013.

PILÓ, L. B. Morfologia cárstica e materiais constituintes: Dinâmica e evolução da Depressão Poligonal Macacos-Baú - Carste de Lagoa Santa, Minas Gerais. São Paulo: Tese de Doutorado, Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 1998.269p.

PLANEJAMENTO DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE (PLAMBEL). O patrimônio ambiental da área de proteção especial do relevo cárstico. Belo Horizonte, 1986, p. 91p.

PÔSSAS, I. B. ; TRAVASSOS, L. E. P. ; RODRIGUES, B. D. . Registros de Peter W. Lund sobre a região do carste de Lagoa Santa, Minas Gerais: possibilidades para o turismo pedagógico e científico. *Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas*, v. 5, p. 25-33, 2012.

RIBEIRO, C.M. 1995. O clima no Planalto de Lagoa Santa-MG. Em: Estudos ambientais e propostas de manejo, na região do carste, no Planalto de Lagoa Santa. Projeto FAPEMIG: CEX-1133/90. Relatório Final. Parte 2. v.1. Coord. Heinz Charles Kohler.

RIBEIRO, J. G. S. Caracterização Geomorfológica da Área Macacos Baú (Pedro Leopoldo - MG). In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 6., 2006. Goiânia, GO. *Anais do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia*, Goiânia, GO: UGB, 2006.

RUCHKYS, U. A. Patrimônio Geológico e Geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: Potencial para a Criação de um Geoparque da UNESCO. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2007, 211 p.

RUCHKYS, Úrsula de Azevedo . Geoparques e a musealização do território: um estudo sobre o Quadrilátero Ferrífero. *Geologia USP. Publicação Especial*, v. 5, p. 35-46, 2009.

SAMPAIO, J.L.D., 2010. Inventário digital da APA (Área de Proteção Ambiental) Carste de Lagoa Santa e algumas implicações. Belo Horizonte: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. 221 p. Tese: Geografia.

SCHIMITH, R. S. Análise do Uso e Ocupação do Solo na APA Carste de Lagoa Santa - MG com Ênfase na Suscetibilidade à Erosão e no Potencial de Infiltração. 2006. 58 f. Monografia (Graduação) - Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Humanas Letras e Artes, Departamento de Artes e Humanidades, Curso de Geografia, Viçosa, 2006.

SCHOBENHAUS, C. SILVA, C. R. (Orgs.). Geoparques: propostas do Brasil. Rio de Janeiro: CPRM, 2012. 750p.

SENA, I. S., RUCHKYS, U. A. Modelagem da Geodiversidade da APA Carste de Lagoa Santa. In: Congresso Brasileiro de Patrimônio Geológico, 3., 2015. Lençóis, BA.

Anais do III Congresso Brasileiro de Patrimônio Geológico, Lençóis, BA: UEFS, 2015, 602 p.

SERRANO, E. C. & RUIZ FLAÑO, P. Geodiversidad: Concepto, Evaluación y Aplicación Territorial. El Caso De Tiermes (Caracena). *Boletín de la A.G.E.* n. 45, p. 79-98, 2007.

SERRANO E., RUIZ-FLAÑO, P. 2009. Geomorphosites and geodiversity. In: Reynard E. P. B., Coratza P., Regolini-Bissig G. (Eds.) *Geomorphosites*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munich, p.:49–61.

SHARPLES, C. *Concepts and principles of Geoconservation*. Tasmania: Tasmanian Parks & Wildlife Service website, 2002. 81p.

SOUZA, S. F. M. et al. Revisitando a discussão sobre o Quaternário de Lagoa Santa e o povoamento das Américas: 160 anos de debates científicos. In: RODRIGUES-CARVALHO, C.; SILVA, H. P. (Org.). *Nossa Origem – O povoamento das Américas: visões multidisciplinares*. Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2006. p. 19- 43.

TRAVASSOS, L. E. P. . *Considerações sobre o carste da região de Cordisburgo, Minas Gerais, Brasil*. Belo Horizonte: Tradição Planalto, 2010. 102p .

TOMLIN, D. *Geographic information systems and cartographic modeling*. Prentice Hall Inc., New Jersey. 1990. 90p.

VIEIRA, L. C. *A Formação Sete Lagoas (Grupo Bambuí) e as variações paleoambientais no final do Proterozóico*. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, Instituto De Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, São Paulo, 2007. 198p.

9 ANEXOS

ANEXO 1: Ficha de Potencial de Uso Didático e Turístico de acordo com Brilha (2015)

Nome:	
POTENCIAL DE USO DIDÁTICO E TURÍSTICO	
Critérios/Indicadores	Nota/Peso
A - Vulnerabilidade	
	10%
Os elementos geológicos do sítio não apresentam possibilidade de deterioração por atividade antrópica	4
Há a possibilidade de deterioração de elementos geológicos secundários pela atividade antrópica	3
Há a possibilidade de deterioração dos principais elementos geológicos pela atividade antrópica	2
Há a possibilidade de deterioração de todos os elementos geológicos pela atividade antrópica	1
B - Acessibilidade	
	10%
Sítio localizado a menos de 100 metros de uma rodovia pavimentada com estacionamento para ônibus	4
Sítio localizado a menos de 500 metros de uma rodovia pavimentada	3
Sítio acessível por ônibus através de estrada vicinal	2
Sítio sem acesso direto por estrada pavimentada mas localizada a menos de 1000 metros de uma rodovia acessível por ônibus	1
C - Limitações de Uso	
	5%
O sítio não tem limitações de uso para turistas e estudantes	4
O sítio pode ser usado por estudantes e turistas mas só ocasionalmente	3
O sítio pode ser usado por estudantes e turistas mas somente após superar algumas limitações (legal, geográfica, meteorológica,...)	2
O uso por estudantes e turistas é difícil de alcançar devido a dificuldades das limitações (legal, geográfica, meteorológica,...)	1
D - Segurança	
	10%
Sítio com facilidades de segurança (cerca, escada, corrimão, etc.), cobertura de telefonia celular e localizado a a menos de 5 km de serviços de emergência	4
Sítio com facilidades de segurança (cerca, escada, corrimão, etc.), cobertura de telefonia celular e localizado a menos de 25 km de serviços de emergência	3
Sítio sem facilidades de acesso mas com cobertura de telefonia celular e localizado a menos de 50 km de serviços de emergência	2
Sítio sem facilidades de acesso, sem cobertura de telefonia móvel e localizado a mais de 50 km de serviços de emergência	1
E - Logística	
	5%
Hospedagem e restaurante para grupos de 50 pessoas a menos de 15 km de distância	4
Hospedagem e restaurante para grupos de 50 pessoas a menos de 50 km de distância	3
Hospedagem e restaurante para grupos de 50 pessoas a menos de 100 km de distância	2

Hospedagem e restaurante para grupos de 25 pessoas a menos de 50 km de distância	1
F - Densidade Populacional	5%
Sítio localizado em um município com mais de 1000 hab/km ²	4
Sítio localizado em um município com 250 a 1000 hab/km ²	3
Sítio localizado em um município com 100 a 250 hab/km ²	2
Sítio localizado em um município com menos de 100 hab/km ²	1
G - Associação com outros Valores	5%
Ocorrência de consideráveis valores ecológicos e culturais a menos de 5 km de distância do sítio	4
Ocorrência de consideráveis valores ecológicos e culturais a menos de 10 km de distância do sítio	3
Ocorrência de um valor ecológico e um valor cultural a menos de 10 km de distância do sítio	2
Ocorrência de um valor ecológico ou cultural a menos de 10 km de distância do sítio	1
H - Cenário	5%
Sítio frequentemente utilizado com um destino turístico num contexto nacional	4
Sítio ocasionalmente utilizado com um destino turístico num contexto nacional	3
Sítio frequentemente utilizado com um destino turístico num contexto local	2
Sítio ocasionalmente utilizado com um destino turístico num contexto local	1
I - Singularidade	5%
O sítio apresenta características únicas e incomuns num contexto nacional e internacional	4
O sítio apresenta características únicas e incomuns num contexto nacional	3
O sítio apresenta características comuns num contexto regional e incomuns no contexto de outras regiões do país	2
O sítio apresenta características pouco comuns num contexto nacional	1
J - Condições de Observação	10%
Todos os elementos da geodiversidade apresentam boas condições de observação	4
Existem alguns obstáculos que dificultam a observação de alguns elementos da geodiversidade	3
Existem alguns obstáculos que dificultam a observação dos principais elementos da geodiversidade	2
Existem alguns obstáculos que obstruem a observação dos principais elementos da geodiversidade	1
POTENCIAL DE USO DIDÁTICO	
K - Potencial Didático	20%
O sítios apresenta elementos geológicos/geomorfológicos que são ensinados em todos níveis de ensino	4
O sítios apresenta elementos geológicos/geomorfológicos que são ensinados no ensino básico	3
O sítios apresenta elementos geológicos/geomorfológicos que são ensinados no ensino médio	2
O sítios apresenta elementos geológicos/geomorfológicos que são ensinados no ensino superior	1
L - Diversidade Geológica/Geomorfológica	10%

Mais de 3 tipos de elementos da geodiversidade ocorrendo no local (mineralógico, paleontológico, geomorfológico, etc.)	4
Existem 3 tipos de elementos da geodiversidade no sítio	3
Existem 2 tipos de elementos da geodiversidade no sítio	2
Existe apenas um tipo de elemento da geodiversidade no sítio	1
POTENCIAL DE USO TURÍSTICO	
K - Potencial Interpretativo	
	10%
O sítio apresenta elementos da geodiversidade de uma forma clara e expressiva para todos os tipos de público	4
O público necessita de um conhecimento básico para compreender os elementos da geodiversidade do sítio	3
O público necessita de um conhecimento sólido para compreender os elementos da geodiversidade do sítio	2
O sítio apresenta elementos da geodiversidade compreensíveis apenas por especialistas	1
L - Nível Econômico	
	5%
Sítios localizados em um município com uma renda familiar com pelo menos o dobro da média nacional	4
Sítios localizados em um município com uma renda familiar maior que a média nacional	3
Sítios localizados em um município com uma renda familiar similar à média nacional	2
Sítios localizados em um município com uma renda familiar menor do que a média nacional	1
M - Proximidade a Áreas Recreacionais	
	5%
Sítio localizado a menos de 5 km de uma área recreacional ou atração turística	4
Sítio localizado a menos de 10 km de uma área recreacional ou atração turística	3
Sítio localizado a menos de 15 km de uma área recreacional ou atração turística	2
Sítio localizado a menos de 20 km de uma área recreacional ou atração turística	1

ANEXO 2: Ficha de Risco de Degradação conforme Brilha (2015)

Nome:	
Risco de Degradação	
Critérios/Indicadores	Nota/Peso
A - Deterioração dos elementos geológicos	
35%	
Possibilidade de deterioração de todos os elementos da geodiversidade	4
Possibilidade de deterioração dos principais elementos da geodiversidade	3
Possibilidade de deterioração de elementos da geodiversidade secundários	2
Menor possibilidade de deterioração dos elementos da geodiversidade secundários	1
B - Proximidade a áreas/atividades como potencial causa de degradação	
20%	
Sítio localizado a menos de 50 metros de área/atividade com potencial causa de degradação	4
Sítio localizado a menos de 200 metros de área/atividade com potencial causa de degradação	3
Sítio localizado a menos de 500 metros de área/atividade com potencial causa de degradação	2
Sítio localizado a menos de 1000 metros de área/atividade com potencial causa de degradação	1
C - Proteção Legal	
20%	
Sítio localizado em área sem proteção legal e sem controle de acesso	4
Sítio localizado em área sem proteção legal mas com controle de acesso	3
Sítio localizado em área com proteção legal mas sem controle de acesso	2
Sítio localizado em área com proteção legal e controle de acesso	1
D - Acessibilidade	
15%	
Sítio localizado a menos de 100 metros de uma rodovia pavimentada e estacionamento para ônibus	4
Sítio localizado a menos de 500 metros de uma rodovia pavimentada	3
Sítio acessível por ônibus através de estradas vizinhas	2
Sítio sem acesso direto por estrada, mas localizado a menos de 1000 metros de uma rodovia acessível por ônibus	1
E - Densidade Populacional	
10%	
Sítio localizado em um município com mais de 1000 hab/km ²	1
Sítio localizado em um município com 250 a 1000 hab/km ²	2
Sítio localizado em um município com 100 a 250 hab/km ²	3
Sítio localizado em um município com menos de 100 hab/km ²	4

ANEXO 3: Ficha de avaliação quantitativa de Potencial de Uso Didático e Turístico adaptada de Brilha (2015)

Nome:	
POTENCIAL DE USO DIDÁTICO E TURÍSTICO	
Critérios/Indicadores	Nota/Peso
A - Vulnerabilidade	
10%	
Os elementos geológicos do sítio não apresentam possibilidade de deterioração por atividade antrópica	4
Há a possibilidade de deterioração de elementos geológicos secundários pela atividade antrópica	3
Há a possibilidade de deterioração dos principais elementos geológicos pela atividade antrópica	2
Há a possibilidade de deterioração de todos os elementos geológicos pela atividade antrópica	1
B - Acessibilidade	
10%	
Sítio localizado a menos de 100 metros de uma rodovia pavimentada com estacionamento para ônibus	4
Sítio localizado a menos de 500 metros de uma rodovia pavimentada	3
Sítio acessível por ônibus através de estrada vicinal	2
Sítio sem acesso direto por estrada pavimentada mas localizada a menos de 1000 metros de uma rodovia acessível por ônibus	1
C - Limitações de Uso	
10%	
O sítio não tem limitações de uso para turistas e estudantes	4
O sítio pode ser usado por estudantes e turistas mas só ocasionalmente	3
O sítio pode ser usado por estudantes e turistas mas somente após superar algumas limitações (legal, geográfica, meteorológica,...)	2
O uso por estudantes e turistas é difícil de alcançar devido a dificuldades das limitações (legal, geográfica, meteorológica,...)	1
D - Segurança	
10%	
Sítio com facilidades de segurança (cerca, escada, corrimão, etc.), cobertura de telefonia celular e localizado a a menos de 5 km de serviços de emergência	4
Sítio com facilidades de segurança (cerca, escada, corrimão, etc.), cobertura de telefonia celular e localizado a menos de 25 km de serviços de emergência	3
Sítio sem facilidades de acesso mas com cobertura de telefonia celular e localizado a menos de 50 km de serviços de emergência	2
Sítio sem facilidades de acesso, sem cobertura de telefonia móvel e localizado a mais de 50 km de serviços de emergência	1
E - Associação com outros Valores	
10%	
Ocorrência de consideráveis valores ecológicos e culturais a menos de 5 km de distância do sítio	4
Ocorrência de consideráveis valores ecológicos e culturais a menos de 10 km de distância do sítio	3
Ocorrência de um valor ecológico e um valor cultural a menos de 10 km de distância do sítio	2

Ocorrência de um valor ecológico ou cultural a menos de 10 km de distância do sítio	1
F - Cenário	5%
Sítio frequentemente utilizado com um destino turístico num contexto nacional	4
Sítio ocasionalmente utilizado com um destino turístico num contexto nacional	3
Sítio frequentemente utilizado com um destino turístico num contexto local	2
Sítio ocasionalmente utilizado com um destino turístico num contexto local	1
G - Singularidade	5%
O sítio apresenta características únicas e incomuns num contexto nacional e internacional	4
O sítio apresenta características únicas e incomuns num contexto nacional	3
O sítio apresenta características comuns num contexto regional e incomuns no contexto de outras regiões do país	2
O sítio apresenta características pouco comuns num contexto nacional	1
H - Condições de Observação	10%
Todos os elementos da geodiversidade apresentam boas condições de observação	4
Existem alguns obstáculos que dificultam a observação de alguns elementos da geodiversidade	3
Existem alguns obstáculos que dificultam a observação dos principais elementos da geodiversidade	2
Existem alguns obstáculos que obstruem a observação dos principais elementos da geodiversidade	1
POTENCIAL DE USO EDUCATIVO	
I - Potencial Didático	20%
O sítios apresenta elementos geológicos/geomorfológicos que são ensinados em todos níveis de ensino	4
O sítios apresenta elementos geológicos/geomorfológicos que são ensinados no ensino básico	3
O sítios apresenta elementos geológicos/geomorfológicos que são ensinados no ensino médio	2
O sítios apresenta elementos geológicos/geomorfológicos que são ensinados no ensino superior	1
J - Diversidade Geológica/Geomorfológica	10%
Mais de 3 tipos de elementos da geodiversidade ocorrendo no local (mineralógico, paleontológico, geomorfológico, etc.)	4
Existem 3 tipos de elementos da geodiversidade no sítio	3
Existem 2 tipos de elementos da geodiversidade no sítio	2
Existe apenas um tipo de elemento da geodiversidade no sítio	1
POTENCIAL DE USO TURÍSTICO	
I - Potencial Interpretativo	20%
O sítio apresenta elementos da geodiversidade de uma forma clara e expressiva para todos os tiposde público	4
O público necessita de um conhecimento básico para compreender os elementos da geodiversidade do sítio	3
O público necessita de um conhecimento sólido para compreender os	2

elementos da geodiversidade do sítio	
O sítio apresenta elementos da geodiversidade compreensíveis apenas por especialistas	1
J - Proximidade a Áreas Recreacionais	10%
Sítio localizado a menos de 5 km de uma área recreacional ou atração turística	4
Sítio localizado a menos de 10 km de uma área recreacional ou atração turística	3
Sítio localizado a menos de 15 km de uma área recreacional ou atração turística	2
Sítio localizado a menos de 20 km de uma área recreacional ou atração turística	1

ANEXO 4: Ficha de avaliação quantitativa de Risco de Degradação adaptada de Brilha (2015)

Nome:	
Risco de Degradação	
Critérios/Indicadores	Nota/Peso
A - Deterioração dos elementos geológicos	
	35%
Possibilidade de deterioração de todos os elementos da geodiversidade	4
Possibilidade de deterioração dos principais elementos da geodiversidade	3
Possibilidade de deterioração de elementos da geodiversidade secundários	2
Menor possibilidade de deterioração dos elementos da geodiversidade secundários	1
B - Proximidade a áreas/atividades como potencial causa de degradação	
	25%
Sítio localizado a menos de 50 metros de área/atividade com potencial causa de degradação	4
Sítio localizado a menos de 200 metros de área/atividade com potencial causa de degradação	3
Sítio localizado a menos de 500 metros de área/atividade com potencial causa de degradação	2
Sítio localizado a menos de 1000 metros de área/atividade com potencial causa de degradação	1
C - Proteção Legal	
	25%
Sítio localizado em área sem proteção legal e sem controle de acesso	4
Sítio localizado em área sem proteção legal mas com controle de acesso	3
Sítio localizado em área com proteção legal mas sem controle de acesso	2
Sítio localizado em área com proteção legal e controle de acesso	1
D - Acessibilidade	
	15%
Sítio localizado a menos de 100 metros de uma rodovia pavimentada e estacionamento para ônibus	4
Sítio localizado a menos de 500 metro de uma rodovia pavimentada	3
Sítio acessível por ônibus através de estradas viscinas	2
Sítio sem acesso direto por estrada, mas localizado a menos de 1000 metros de uma rodovia acessível por ônibus	1

ANEXO 5: Ficha de Inventário dos Sítios de Geodiversidade

Nome do Sítio:
Localiação Geográfica:
Dono/Gestor:
Proteção Legal:
Acessibilidade:
Vulnerabilidade/Fragilidade:
Descrição Geológica/Geomorfológica:
Feições da Geodiversidade com potencial de uso educativo e/ou turístico:
Ligações com bens ecológicos e/ou culturais:
Eventual limitações de uso:
Condições de segurança:
Condições de observação:

ANEXO 6: Ficha de Consulta a Especialistas

CONSULTA A ESPECIALISTA PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO DELPHI
Potencial Geoturístico da Região Central da APA Carste de Lagoa Santa

Caro especialista,

Esta consulta servirá como método de ponderação de pesos para as variáveis que irão compor uma análise de multicritérios, com o intuito de avaliar o potencial geoturístico da região central da APA Carste de Lagoa Santa.

A pesquisa em questão trata da análise do potencial da região central da APA Carste de Lagoa Santa em receber iniciativas de geoturismo. Assim, foram confeccionados sete mapas temáticos que contêm informações quanto à características que compõem a noção do geoturismo.

Assim, peço que pondere uma nota para cada variável, a fim de alcançar um total de 100. Considere a importância de cada uma destas em relação à composição do Potencial Geoturístico da área. Caso exista alguma incerteza quanto à conceituação e construção de alguma das variáveis, sinta-se à vontade para sanar qualquer dúvida pelo e-mail italosen@gmail.com.

Conto com sua participação e agradeço pela disponibilização de seu tempo para o desenvolvimento da pesquisa.

Variáveis	Nota
Índice de Geodiversidade Diversidade de elementos e processos abióticos	
Fragilidade do Meio Abiótico Capacidade de resistência do geossistema cárstico à degradação natural ou antrópica	
Potencial de Uso Didático Avaliado por meio da quantificação de Geossítios Considera critérios que apontam o potencial do local como recurso didático	
Potencial de Uso Turístico Avaliado por meio da quantificação de Geossítios Considera critérios que apontam o potencial do local como atrativo turístico	
Risco de Degradação Avaliado por meio da quantificação de Geossítios Considera critérios que apontam o risco de degradação proveniente de atividades antrópicas	
Capilaridade Expressa permeabilidade do território por meio de estradas pavimentadas, vicinais e trilhas	
Visibilidade Possibilidade de observação dos elementos da paisagem a partir de estradas pavimentadas, vicinais e trilhas	
Total	100

ANEXO 7: Tabela de erros do interpolador IDW

Sítio	Potencial de Uso Didático			Potencial de Uso Turístico			Risco de Degradação		
	Nota	Valor Predito	Erro	Nota	Valor Predito	Erro	Nota	Valor Predito	Erro
Fazenda Experiência Jaguará	305	323,7	18,7	300	323,4	23,4	225	243,8	18,8
Cerca Grande	345	309,7	-35,3	340	311,1	-28,9	225	251,3	26,3
Lapa do Seu Antão	340	315,1	-24,9	340	315,8	-24,2	315	209,2	-105,8
Maciço do Baú	270	312,8	42,8	280	309,1	29,1	180	210,4	30,4
Mineração Finacal	310	283,0	-27,0	305	290,1	-14,9	195	196,4	1,4
Maciço da Lapinha	380	303,4	-76,6	380	303,7	-76,3	145	229,7	84,7
Fazenda Samambaia	255	316,2	61,2	250	316,7	66,7	260	204,4	-55,6
Fazenda Campinho	200	307,9	107,9	205	306,8	101,8	210	240,8	30,8
Lapa Vermelha	315	275,5	-39,5	305	276,6	-28,4	265	229,2	-35,8
Rio das Velhas	280	340,4	60,4	270	343,6	73,6	365	195,0	-170,0
Polje Sumidouro	380	318,9	-61,1	390	316,9	-73,1	155	240,3	85,3
Vargem da Pedra	320	300,3	-19,7	325	300,4	-24,6	350	215,8	-134,2