

AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL E NATURAL NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO

MULTICRITERIA ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL AND NATURAL VULNERABILITY IN IDENTIFY PRIORITY AREAS FOR GEOCONSERVATION OF SPELEOLOGICAL HERITAGE

Darcy José Santos (1); Úrsula Ruchkys (2) & Mauro Gomes (1)

(1) Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – Nova Lima, MG.

(2) Instituto de Geociências, da Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte MG.

E-mail: darcy.santos@icmbio.gov.br; tularuchkys@yahoo.com.br; mauro.gomes@icmbio.gov.br.

Resumo

O Brasil é um país rico em geodiversidade e apresenta várias regiões cársticas bem expostas e significativas. Embora o patrimônio espeleológico seja contemplado em diferentes aspectos legais, devido a questões políticas e econômicas a proteção deste patrimônio não foi uma prioridade durante muitos anos. Mas, em 2009, a conservação do patrimônio espeleológico foi incluída no âmbito de uma política pública federal: o Plano de Ação Nacional para Conservação do Patrimônio Espeleológico nas Áreas Cársticas da Bacia do Rio São Francisco – PAN Cavernas do São Francisco (2009) do Centro Nacional de Pesquisas e Conservação de Cavernas – CECAV. Neste contexto, o artigo aplica uma metodologia de análise multicritério para avaliar a vulnerabilidade natural e ambiental de uma das áreas piloto definidas neste plano. Como resultado indica as áreas prioritárias para geoconservação do patrimônio espeleológico, contribuindo para o planejamento e gestão dos recursos naturais.

Palavras-Chave: vulnerabilidade ambiental; patrimônio espeleológico; geoconservação.

Abstract

Brazil is a country rich in geodiversity and presents many significant and well exposed karstic regions. Although speleological heritage is looked at under many legal aspects, due to economical and political questions the protection of this heritage, for many years, was not considered a priority. But, for the first time, in 2009, the conservation of speleological heritage was included in the scope of a federal public policy: the National Plan of Action for Conservation of Speleological Heritage at the Karstic Areas of the Basin of River São Francisco – PAN Caverns of São Francisco (2009) of National Center of Research and Caverns Conservation – CECAV. In this context the article applies a methodology of multicriterion analyses to analyze the environmental and natural vulnerability of one of the pilot areas defined in this plan. As a result, it indicates the priority areas for geoconservation of speleological heritage, contributing for the planning and management of values and natural resources.

Key- Words: environmental vulnerability; speleological heritage; geoconservation.

1. INTRODUÇÃO

O território brasileiro apresenta uma grande diversidade natural tanto relacionada à sua componente biótica (biodiversidade) como à sua componente abiótica (geodiversidade). Para Gray (2004) a geodiversidade pode ser entendida como a diversidade natural dos elementos geológicos e geomorfológicos incluindo os minerais, fósseis, solos, a paisagem e seus processos. Quando a geodiversidade apresenta valores especiais do ponto de vista científico, educativo, turístico, estético, ou outro, a ela se relaciona o conceito de patrimônio,

constituído pelo conjunto de geossítios de uma determinada região.

Em termos de geodiversidade, o Brasil abriga várias feições características do carste. Segundo Travassos (2010), o termo *Karst* tem sua origem na região do planalto de Kras, área de ocorrência de rochas carbonáticas, entre a Eslovênia e a Itália. A partir de 1840, estudos científicos passam a incorporar o termo karst para identificar um tipo específico de relevo. Como o carste clássico foi descrito e caracterizado em uma região calcária, a utilização deste termo deve estar condicionada a esta

litologia, embora feições associadas à dissolução possam ocorrer também em outros tipos de rochas.

Em rochas carbonáticas, além das cavernas, várias feições superficiais ou subterrâneas típicas podem ser encontradas tais como: lapiás, caneluras, dolinas, uvalas, poljes, vales fechados, paredes calcários, torres e pontes de pedra. Estas feições e principalmente as cavidades subterrâneas integram o chamado patrimônio espeleológico brasileiro.

O patrimônio espeleológico é definido pelo artigo 5º, inciso I, do Decreto n.º 99.556/90 como: o conjunto de elementos bióticos e abióticos, socioeconômicos e histórico-culturais, subterrâneos ou superficiais, representados pelas cavidades naturais subterrâneas ou a esta associadas. Segundo Souza (2012), na sua atual redação, após as alterações feitas pelo Decreto n. 6.640, de 7 de novembro de 2008, a norma não mais define o conteúdo da locução “patrimônio espeleológico”. Todavia, o inciso III do art. 2.º da Res. CONAMA n. 347/2004 mantém conceito idêntico ao da redação original do decreto.

Ainda no campo do Direito, Miranda (2006) define o patrimônio espeleológico como sendo constituído pelo conjunto de ocorrências geológicas que criam formações especiais e cavidades naturais no solo tais como grutas, cavernas, lapas, abrigos sobre rochas etc. Souza (2012) prefere o uso do termo patrimônio ambiental espeleológico, que é definido pelo autor como: o conjunto de ecossistemas formados pelas cavidades, pelas águas, pelo ar e pelas rochas que as integram (elementos naturais abióticos) e pela fauna e flora que as habitam (elementos naturais bióticos). O autor coloca ainda que, sob o prisma cultural, este patrimônio pode trazer relevantes referências à identidade, tais como as manifestações culturais associadas às cavidades naturais subterrâneas, a beleza cênica das cavidades e os vestígios de animais e de seres humanos.

Do ponto de vista da formação das cavidades e das feições a ela associadas, o patrimônio espeleológico tem íntima relação com o patrimônio geológico e com o patrimônio geomorfológico. O patrimônio geológico é definido por Brilha (2005) como o conjunto de geossítios de um local e inclui todos os recursos naturais não renováveis, quer sejam formações geológicas ou geomorfológicas, paisagens, afloramentos mineralógicos e paleontológicos. Para Ruchkys (2007), o patrimônio geológico, representado pelos geossítios, pode ser definido como recurso documental de caráter científico, de conteúdo importante para o conhecimento e estudo da evolução dos processos

geológicos e que constitui o registro da totalidade da evolução do planeta.

Alguns autores apresentam uma definição específica para patrimônio geomorfológico como (Panizza; Piacente, 1993, 2003) que colocam que este patrimônio é constituído pelas geoformas (e também pelos respectivos processos morfogenéticos passados ou atuais) às quais foi conferido valor científico, cultural, estético e/ou econômico. Para Pereira et al. (2007) o patrimônio geomorfológico diz respeito a determinadas geoformas em várias escalas e é uma das categorias do patrimônio geológico, tal como os patrimônios paleontológico; mineralógico; vulcanológico.

Assim, patrimônio espeleológico e as feições a ele associadas, integra o patrimônio geológico e geomorfológico e apresenta importância ligada a várias áreas do conhecimento: biológica (Trajano; Bichuette, 2006; Ferreira, 2010); religiosa e cultural (Travassos, 2010); paisagística (Lino, 2001); paleontológica (Cartelle, 1994); turística (Ruchkys, 2001; Lobo et. al., 2007; Marra, 2001); arqueológica (Prous, 2002); geomorfológica e geológica (Kohler, 1989; Piló, 2002; Auler, 1994, 1995), dentre outras.

O reconhecimento da importância dos patrimônios geológico, geomorfológico e espeleológico têm ganhado destaque nos últimos anos tanto em nível nacional como internacional e, de certa forma, eles vêm sendo tratados nas políticas de conservação da natureza. As ações ligadas à valorização e conservação específicas destes tipos de patrimônio são genericamente conhecidas como geoconservação. Para Degrandi e Figueró (2012) a geoconservação sintetiza os esforços para a conservação do patrimônio natural geológico-geomorfológico, englobando aspectos e processos geológicos, geomorfológicos e de solo, que se individualizam pelo seu valor científico, cultural, educativo ou de interesse cênico e recreativo.

A geoconservação implica na identificação de áreas prioritárias para conservação da geodiversidade sendo necessário o desenvolvimento de pesquisas e metodologias que promovam a identificação destas áreas facilitando a gestão e planejamento. Para Maran (2008) a escolha de áreas prioritárias para geoconservação deve ser baseada em critérios científicos. Segundo este autor, os países que têm redes de áreas geoconservadas têm diferentes meios de selecionar locais, dentre eles está a vulnerabilidade – que pode ser considerada uma das metodologias a ser utilizada para auxiliar na identificação de áreas prioritárias para geoconservação.

Para Adger (2006) citado por Figueiredo (2010), exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa ou de resposta de um sistema são conceitos interligados à definição de vulnerabilidade. A avaliação destes fatores determina o grau de vulnerabilidade do sistema diante de elementos/alterações ambientais. A duração ou extensão do contato entre o sistema e a perturbação é dada pela exposição. A capacidade do sistema em absorver pressões e manter-se inalterado é dada pela sensibilidade. Já a habilidade do sistema em absorver os impactos, ajustando-se às mudanças ambientais é dada pela capacidade adaptativa. Desta forma, quanto maiores forem às pressões e a sensibilidade do meio e menor sua capacidade adaptativa, mais vulnerável será o sistema.

Para Santos (2007), vulnerabilidade está relacionada à resposta do meio diante de uma perturbação. A grandeza dos efeitos resultantes dependerá da interação entre as características locais, naturais e humanas, intrínsecas a cada fração do território e o tipo e magnitude da perturbação sofrida. Aponta ainda que duas outras questões devem ser consideradas para a compreensão de vulnerabilidade: persistência e resiliência. A persistência representa a capacidade do sistema em absorver a perturbação, afastando-se de sua estabilidade ou equilíbrio sem, no entanto, alterar essencialmente seu estado. E a resiliência representa a capacidade do sistema em retornar à sua estabilidade ou equilíbrio, após ter sofrido determinada perturbação. Assim, a vulnerabilidade será mais alta, quanto mais baixas forem a persistência e a resiliência do território.

Pesquisas envolvendo a vulnerabilidade ambiental vêm sendo desenvolvidas com uso de Sistema de Informações Geográficas (SIG) que é definido por Teixeira (1997) como a combinação de sistemas computacionais (hardware e software), metodologias, dados e recursos humanos que operam para produção e análise de informações geográficas. Meneses (2003) destaca que a utilização de ferramentas computacionais propicia executar análises complexas, com a interação de dados de fontes distintas e a criação de banco de dados georreferenciados.

A partir destas considerações, este artigo tem como principal objetivo mapear e avaliar a vulnerabilidade ambiental da Área 9 (assim denominada pelo Plano de Ação Nacional para Conservação do Patrimônio Espeleológico nas Áreas Cársticas da Bacia do Rio São Francisco), que estende-se do município de Lagoa Santa até o município de Monjolos, em relação ao patrimônio espeleológico, por meio da metodologia proposta

por Jansen (2013), utilizando ferramentas de geoprocessamento. Busca-se com isto indicar áreas prioritárias para ações de geoconservação do patrimônio espeleológico da região estudada.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A área da pesquisa tem 872.058 hectares e está localizada na porção central do Estado de Minas Gerais, estende-se do município de Lagoa Santa até o município de Monjolos e engloba trinta e quatro municípios da região do Alto/Médio São Francisco (Figura 1). Muitos destes municípios compartilham semelhanças geomorfológicas onde estão exumadas as rochas calcárias do Supergrupo Bambuí. Na definição das áreas cársticas prioritárias para execução de ações do Plano de Ação Nacional para Conservação do Patrimônio Espeleológico nas Áreas Cársticas da Bacia do Rio São Francisco – PAN Cavernas do São Francisco (2009) do Centro Nacional de Pesquisas e Conservação de Cavernas – CECAV, esta região recebeu a denominação de Área 9 – Lagoa Santa - Monjolos.

Destaca-se a importância desta área em especial da paisagem cárstica da APA Carste de Lagoa Santa, tanto pelo número de cavernas existentes com grandes riquezas minerais e fossilíferas, quanto pelo significado histórico presente no local e do carste da região de Cordisburgo onde existem muitas cavernas relevantes e que merecem atenção por possuírem significativa riqueza de espécies da fauna (BRASIL, 2012). A APA Carste de Lagoa Santa é descrita como sítio espeleológico do Brasil pela Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleontológicos (SIGEP) tendo sido caracterizada, nesta obra, por Berbert-Born (2002). Travassos (2010) elaborou um mapa de fenômenos cársticos da região de Cordisburgo. O autor aponta que, devido às características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas e geográficas, esta região apresenta um importante exemplo do “*carste intertropical brasileiro*”, resultante da complexa evolução dinâmica tanto em superfície, como em subsuperfície. Para Teixeira Silva et al. (2005) a área cárstica de Monjolos apresenta rico potencial espeleológico em termos de qualidade e quantidade de cavernas e outras feições cársticas como grandes paredões calcários, lapiás, dolinas, sumidouros e ressurgências. Guimarães (2012) apresenta um mapa exploratório dos fenômenos cársticos para a região de Monjolos, ressaltando a presença de várias feições e cavidades.

Áreas de aplicação da metodologia para identificação do grau de vulnerabilidade ambiental Área de abrangência do PAN Cavernas do São Francisco

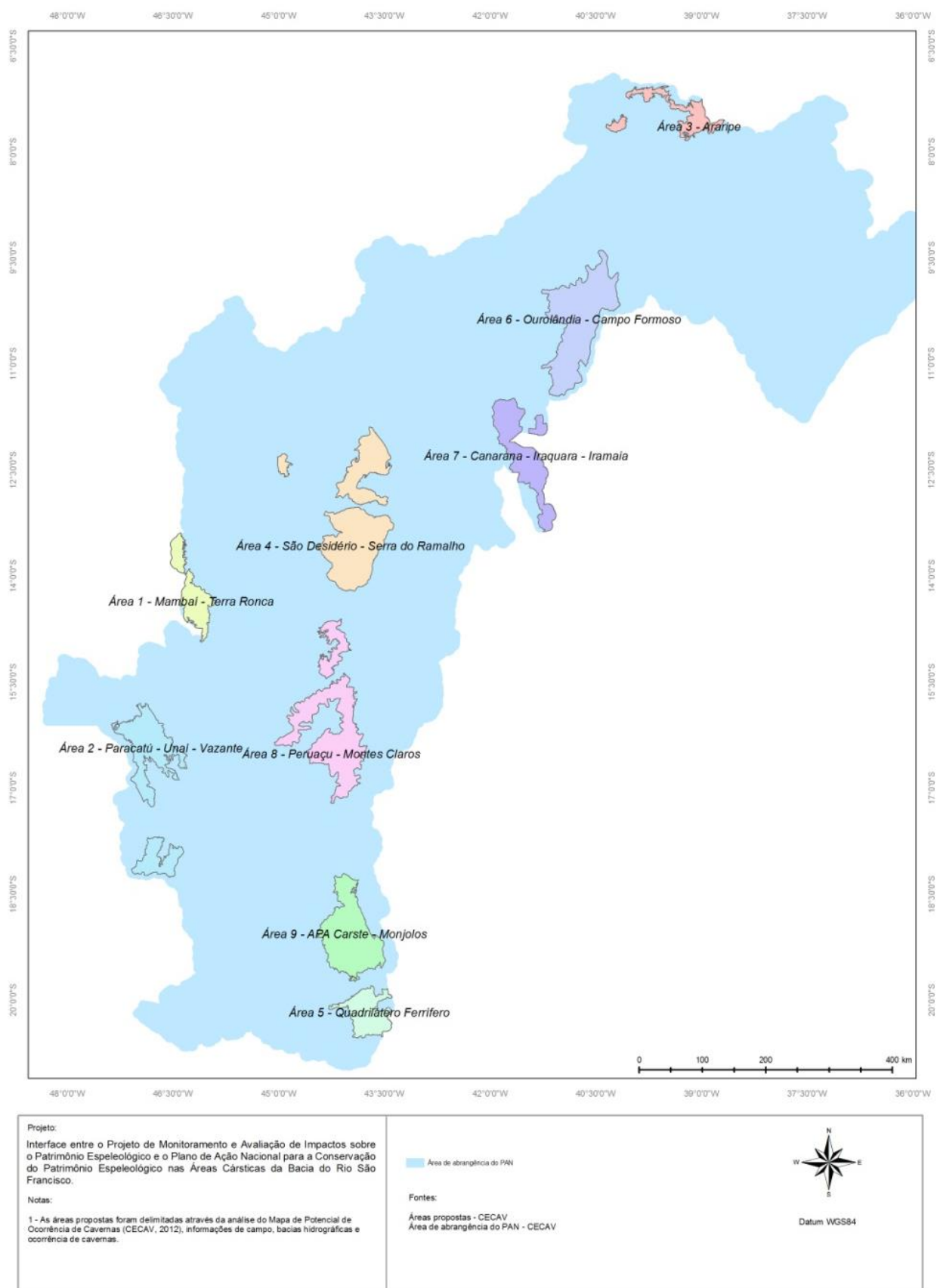


Figura 1: Mapa de localização da área da pesquisa (Gomes et al., 2013).

Geologicamente, a área é caracterizada por diversas unidades litoestratigráficas e estruturais, do Pré-Cambriano Indiferenciado e por sedimentos e coberturas inconsolidados do Quaternário. As rochas mais antigas do Pré-Cambriano Indiviso estão presentes na maior parte da área. Em menor proporção, embora também muito bem distribuídas por toda a área, aparecem as sequências carbonáticas e pelíticas do Grupo Bambuí, Supergrupo São Francisco, principal unidade responsável pelos processos de carstificação e, conseqüentemente, para ocorrência do patrimônio espeleológico, na área. Sedimentos Terciário-Quaternários estão presentes na parte aluvional do rio das Velhas (BRASIL, 2006).

A geomorfologia apresenta áreas aplainadas, áreas dissecadas e formas cársticas. As áreas aplainadas ocorrem na forma de superfícies tabulares ou onduladas sobre planaltos e, também,

na forma de vales, no interior de amplas depressões. Os compartimentos intermediários dos planaltos, as depressões e os maciços antigos caracterizam-se pelas formas dissecadas. As rochas calcárias propiciam a evolução de morfologia específica, condicionada por processos de dissolução e corrosão, gerando formas cársticas, como cavernas, uvalas, dolinas, *poljes* e outros. A Figura 2 representa um modelo de elevação do terreno da área de estudo. Como se pode observar, as maiores elevações encontram-se na porção leste, na Serra do Espinhaço. A porção central apresenta as menores altitudes, coincidentes com as bacias de drenagem do rio das Velhas e, em menor escala, com a bacia do rio Cipó. As precipitações pluviométricas apresentam caráter sazonal, onde junho, julho e agosto são os meses mais secos. A umidade relativa do ar varia entre 70 e 80%.

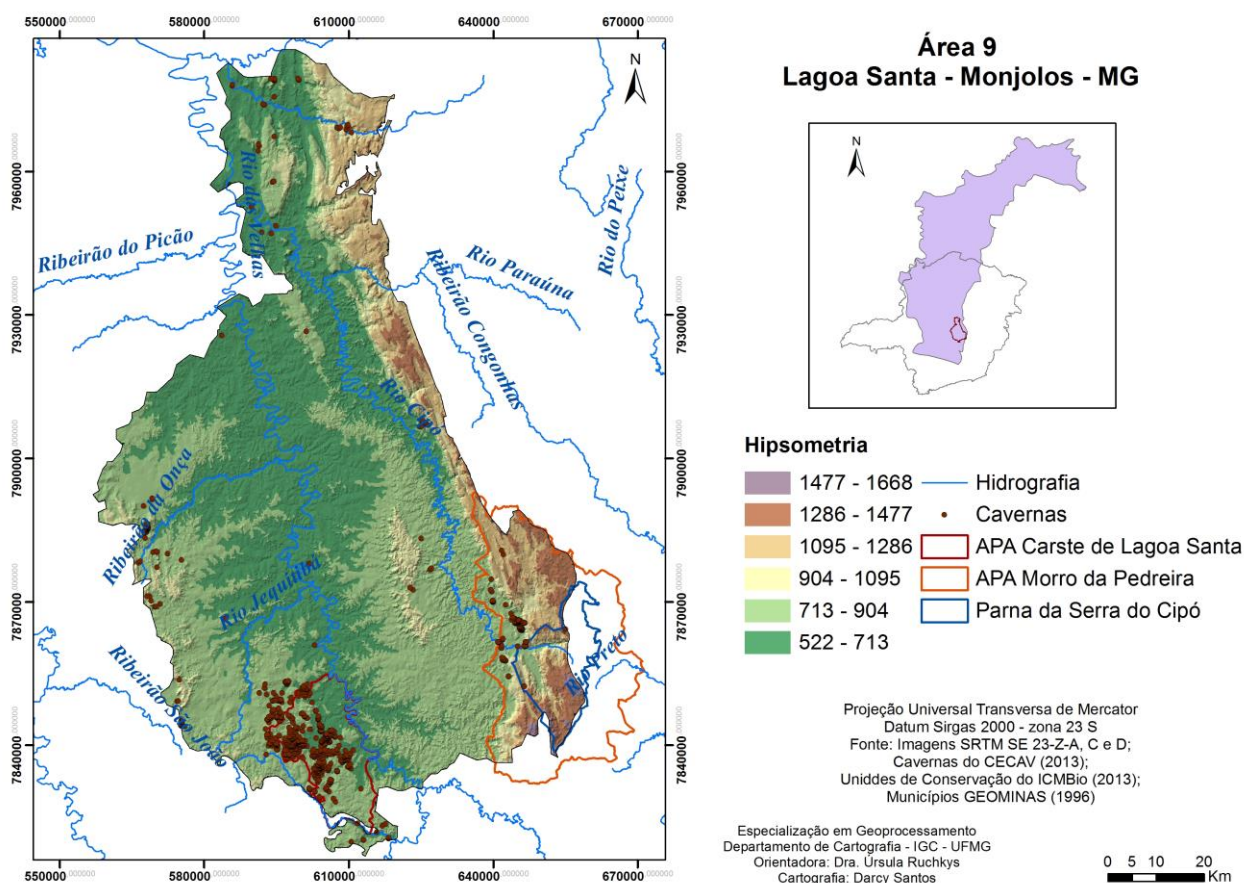


Figura 2: Modelo de elevação do terreno da área de estudo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a geração dos mapas de vulnerabilidade natural e vulnerabilidade ambiental, foram utilizadas as seguintes bases: geologia (CPRM/SBG (2003) em escala 1: 2.500.000); solos (EMBRAPA/IBGE (2001) em escala 1:5.000.000); clima (IBGE em escala de 1:1.000.000); potencialidade de ocorrência

de cavernas (Jansen, Cavalcanti, Lamblém, 2012, na escala 1:2.500.000); uso do solo e cobertura vegetal (classificação da imagem do satélite Landsat TM5, órbita ponto 218-73 e 218-74, de 21/09/2011, resolução espacial de 30m, escala (sem ampliação) de 1:250.000, obtidas junto ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE)). Além disto, foram utilizadas imagens SRTM (Shuttle Radar Topography

Mission) - Cartas SE-23-Z-A, C e D, obtidas junto à EMBRAPA, com resolução de 90m, escala de 1:250.000; dados digitais das cavidades naturais subterrâneas, do CECAV, de setembro de 2013; dados digitais de hidrografia, vias de acesso e os limites, da base cartográfica digital do IBGE, 1998, na escala de 1:1.000.000 e a malha municipal do IBGE de 2007.

O processamento e classificação das imagens foram realizados no software Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), versão 5.1.8, do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE); e os mapas temáticos e de vulnerabilidade ambiental e natural foram gerados no ArcGis, versão 9.3, da empresa ESRI, licença do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio).

A primeira etapa do trabalho constou da seleção das variáveis a serem utilizadas para geração do mapa de vulnerabilidade natural conforme proposto por Jansen (2013) com base nos trabalhos de Meneses (2003) e Gomes (2010): geologia, pedologia, geomorfologia, potencial de ocorrência de cavernas e clima.

Para estas variáveis foram elaborados mapas temáticos convertidos em formato *raster* e reclassificados em células de 30x30m. Posteriormente, foram atribuídas notas para cada classe de feição das variáveis analisadas, que representam ponderações relativas, considerando a importância de cada classe de feição no contexto da vulnerabilidade natural. Foram atribuídas notas entre 1 a 3, do mais ao menos estável, a cada uma das células, de acordo com seu atributo, conforme proposto por Jansen (2013).

A geologia é considerada a variável principal no contexto deste trabalho. Para esta variável foram utilizadas 16 classes de feições que descrevem as diferentes litologias ou associações litológicas encontradas nas diferentes unidades geológicas presentes na área de estudo. As notas atribuídas para cada classe de feições são apresentadas na tabela 1.

Para pedologia foram utilizadas quatro classes de feições associadas aos diferentes tipos de solo. Segundo Lepsch (2010) solos mais jovens tendem a ser mais rasos e mais suscetíveis aos processos erosivos, enquanto solos mais desenvolvidos, como Latossolos, apresentam maior profundidade e porosidade e, portanto, tendem a ser mais estáveis. Com base nestas questões foram atribuídas as notas para esta variável apresentadas na tabela 2.

Tabela 1: Notas de vulnerabilidade para as diferentes classes de feições (litotipos) da variável geologia.

Geologia	
Classe de feições (Litotipos)	Vulnerabilidade (notas)
Areia, Argila	1
Arenito, Metaconglomerado	2,4
Argilito, Quartzito	1
Calcario, Metapelito	2,9
Calcario, Siltito	2,9
Filito, Metassiltito, Quartzito	2,1
Filito, Quartzito	1,6
Folhelho, Siltito	2,8
Gnaise	1,3
Metaconglomerado, Quartzito	2,5
Metassiltito	2,1
Quartzito, Xisto	2
Rocha Carbonatica, Sedimento Siliciclastico	2,9
Sedimento Detrito-Lateritico	1
Xisto	2

Tabela 2: Notas de vulnerabilidade para as diferentes classes de feições (tipos de solo) da variável pedologia.

Pedologia	
Classe de feições (tipos de solo)	Vulnerabilidade (notas)
Solos litolicos	2,5
Cambissolos	2,0
Latosolos	1,0
Solos podzolicos	1,5

Para a variável geomorfologia utilizou-se o índice de concentração da rugosidade (ICR) que representa as ondulações do terreno, influenciando sua capacidade de reter e armazenar água na superfície, reter sedimentos e auxiliar no processo de absorção de água pelo solo. Jansen (2013) aponta que este índice é comumente trabalhado em estudos que envolvem escalas pequenas para representar a variável geomorfologia. A tabela 3 apresenta os índices de concentração da rugosidade e as notas atribuídas aos graus de vulnerabilidade natural de cada um destes índices.

Tabela 3: Notas de vulnerabilidade para as diferentes classes de feições (concentração de rugosidade) associada a variável geomorfologia.

Geomorfologia	
Classe de feições (concentração de rugosidade – índice)	Vulnerabilidade (notas)
Muito baixo	1,0
Baixo	1,5
Médio	2,0
Alto	2,5
Muito alto	3,0

Crepani et al. (2001) consideram que a Intensidade Pluviométrica (IP) é a principal característica física da chuva, envolvida nos processos erosivos. Esta característica está relacionada com as outras duas importantes características físicas da chuva, quantidade e distribuição. A Intensidade Pluviométrica é o resultado da divisão do valor da pluviosidade média anual em mm pela duração do período chuvoso em meses. A erosividade da chuva é proporcional aos valores da IP. A tabela 4 apresenta os dados pluviométricos das cartas que cobrem a Área 9 e as respectivas notas atribuídas para os níveis de vulnerabilidade natural.

A variável denominada cavidades naturais subterrâneas está representada pelo potencial de ocorrência de cavidades, mapa que classifica as

áreas estudadas com base na potencialidade de sua ocorrência considerando principalmente as características geológicas. A tabela 5 apresenta os graus de potencialidade para a ocorrência de cavidades naturais, na área 9, bem como os valores (notas) atribuídos para a vulnerabilidade natural destes.

A etapa final para geração do mapa de vulnerabilidade natural constou da atribuição de pesos (tabela 6) para as variáveis já ponderadas. Esta atribuição foi realizada por meio de comparações pareadas obtendo-se a importância relativa de cada variável analisada na determinação da vulnerabilidade. Por álgebra de mapas, considerando as variáveis já reclassificadas (notas) e com peso atribuído, foi gerado o mapa final.

Tabela 4: Dados de intensidade pluviométrica da área 9 e respectivas notas para a vulnerabilidade

Intensidade pluviométrica			
Carta	Número	Classe de feições – mm/mês)	Vulnerabilidade (notas)
Curvelo	mir439	150 - 175	1,5
Belo Horizonte	mir452	175 - 200	1,6
Ipatinga	mir453	150 - 175	1,5

Tabela 5: Potencial para ocorrência de cavernas e respectivas notas atribuídas à vulnerabilidade associada

Potencial para ocorrência de cavidades			
Unidade (nome)	Litotipo	Classe de feições (potencial)	Vulnerabilidade (notas)
Belo Horizonte	Gnaisse	Baixo	1,5
Córrego dos Borges	Filito, Quartzito	Médio	2,0
Rio Pardo Grande	Metassiltito	Médio	2,0
Santa Rita	Filito, Metassiltito, Quartzito	Médio	2,0
Paraopeba	Rocha Carbonatica, Sedimento Siliciclastico	Muito Alto	3,0
Lagoa do Jacaré	Calcário, Siltito	Muito Alto	3,0
Serra de Santa Helena	Folhelho, Siltito	Alto	2,5
Sete Lagoas	Calcário, Metapelito	Muito Alto	3,0
Macaúbas, indiviso	Xisto	Alto	2,5
Depósitos detrito-lateríticos	Sedimento Detrito-Laterítico	Baixo	1,5
Galho do Miguel	Argilito, Quartzito	Médio	2,0
Sopa-Brumadinho	Arenito, Metaconglomerado	Médio	2,0
Rio Preto	Quartzito, Xisto	Médio	2,0
Serra do Lobo	Metaconglomerado, Quartzito	Médio	2,0
Depósitos aluvionares e de terraços	Areia, Argila	Ocorrência Improvável	1,0

Tabela 6: Pesos das variáveis analisadas para geração do mapa de vulnerabilidade natural

Peso das variáveis analisadas	
Variável	Peso (%)
Geologia	35
Geomorfologia (Índice de Concentração da Rugosidade)	25
Pedologia	15
Potencial de ocorrência de cavidades	15
Clima (Intensidade Pluviométrica)	10

O mapa de vulnerabilidade ambiental foi gerado a partir da análise integrada do mapa de vulnerabilidade natural com o mapa de uso do solo e cobertura vegetal. Para elaboração do mapa de uso e cobertura vegetal foram classificadas duas imagens Landsat 5, órbitas ponto 218-73 e 218-74, de 21 de setembro de 2011, conforme metodologia proposta por Gomes et. al. (2013). As classes de feições mapeadas foram adaptadas do Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2006). A atribuição das notas para as classes de feições do mapa de uso do solo e

cobertura vegetal baseou-se na proposta de Jansen (2013) apresentada na tabela 7.

A última etapa do trabalho consistiu na geração do mapa de vulnerabilidade ambiental. Esta foi determinada pela integração do mapa de uso do solo e cobertura vegetal reclassificado (com atribuição de notas) com o mapa de vulnerabilidade natural utilizando análise multicritério. Para atribuição dos pesos (tabela 8) foi avaliada a importância relativa das variáveis.

Tabela 7: Notas atribuídas às classes de feições do mapa de uso do solo e cobertura vegetal

USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL			
Tema	Fisionomia	Classe de feições	Vulnerabilidade (Notas)
Água	Água	Água	-
Eucalipto	Arborizada	Reflorestamento (eucalipto)	1,4
Vegetação natural Extrato arbóreo	Floresta	Formações arbóreas naturais, tais como floresta densa, floresta estacional sem decidual e savana florestada (cerradão)	1,4
		Floresta estacional decidual (mata seca)	
Vegetação natural Extrato arbustivo	Arborizada	Savana arborizada (cerrado <i>stricto sensu</i>)	1,8
		Floresta de Candeia	
Vegetação natural Extrato herbáceo	Parque / Gramíneo lenhosa	Savana parque (campo cerrado)	2,5
		Savana gramíneo lenhosa (campo limpo, campo sujo, campo rupestre, afloramento de rocha)	
Áreas antropizadas	Antropizado	Agrícola – agricultura, pecuária	3,0
		Não agrícola – áreas urbanizadas, comerciais, industriais, extrativismo mineral.	

Tabela 8: Pesos das variáveis analisadas para geração do mapa de vulnerabilidade ambiental

Peso das variáveis analisadas	
Variável	Peso (%)
Uso do solo e cobertura vegetal	30
Vulnerabilidade natural	70

vulnerabilidade. Ou seja, aquelas áreas que apresentaram uma base geológica mais vulnerável, mantiveram este caráter quando combinadas com cambissolos. Por outro lado, áreas com litologia mais vulnerável, combinadas com solos mais desenvolvidos e estáveis, latossolos, mostraram-se menos vulneráveis.

A geomorfologia analisada por meio da concentração da rugosidade, não foi determinante para a vulnerabilidade natural da área. Possivelmente porque a base geológica, nas áreas de maior rugosidade do terreno, apresenta rochas menos susceptíveis aos efeitos do intemperismo. A variável clima, analisada pela pluviosidade, apresentou-se de forma praticamente homogênea em toda a área de estudo, variando entre 150 a 200 mm/mês. Devido a esta homogeneidade, pode-se supor que sua influência acabou por reforçar as outras variáveis, não se constituindo em fator de destaque. A variável potencial de ocorrência de cavernas foi analisada com base na constituição geológica do terreno e, portanto reforçou a variável geologia.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises dos mapas de vulnerabilidade natural (Figura 3) e de vulnerabilidade ambiental (Figura 4) permitem indicar regiões onde o patrimônio espeleológico está mais vulnerável, o que pode contribuir para o estabelecimento de políticas de proteção específica.

Da análise do mapa de vulnerabilidade natural (Figura 3) pode-se constatar que as regiões classificadas como de mais alta vulnerabilidade coincidem com áreas onde a litologia aflorante corresponde a carbonatos e sedimentos siliciclásticos, em especial calcário, metapelito e siltito. Entretanto, nestas mesmas áreas, a cobertura pedológica foi determinante na avaliação da

Vulnerabilidade Natural

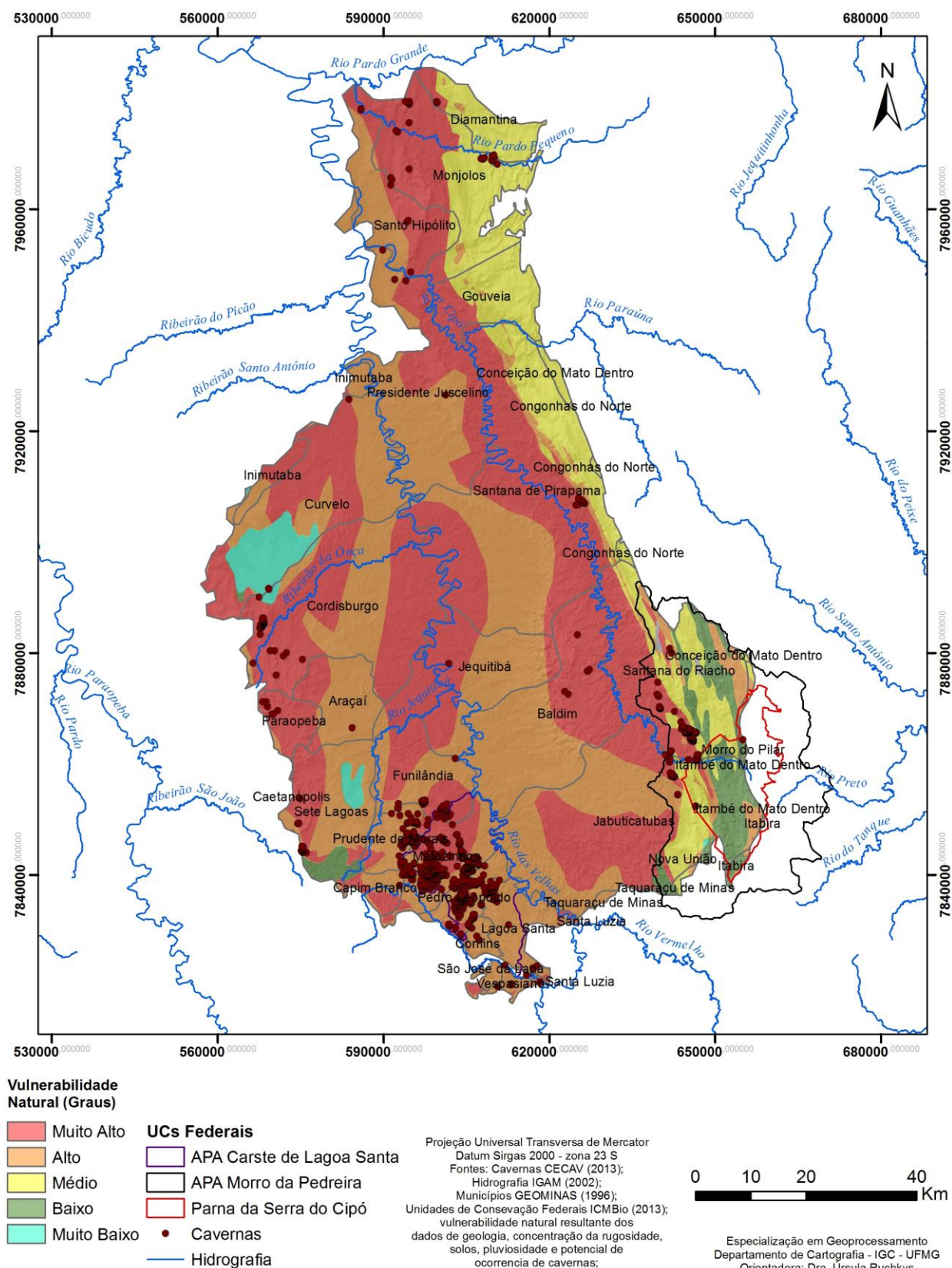


Figura 3: Mapa de Vulnerabilidade Natural da Área 9

Vulnerabilidade Ambiental

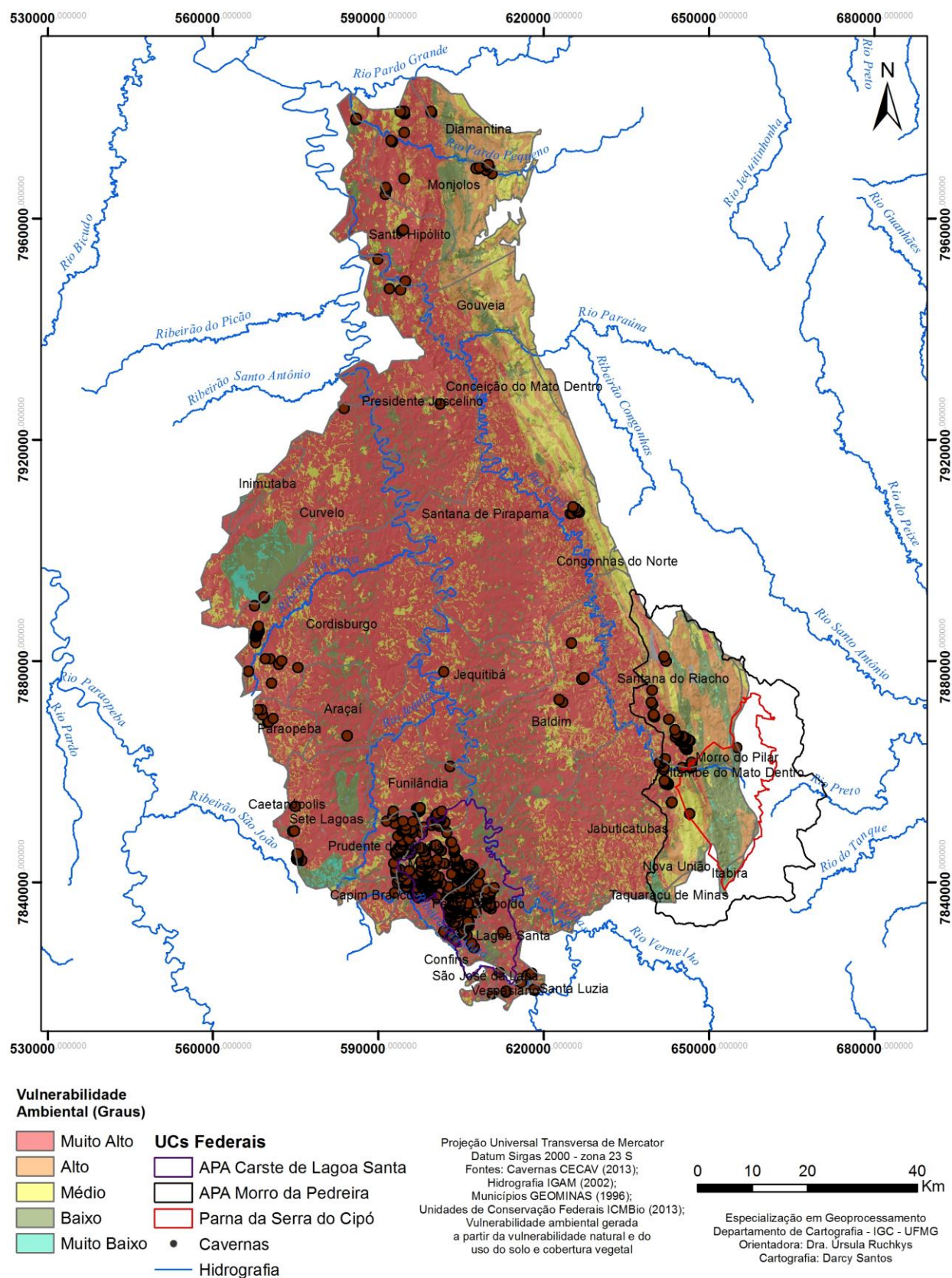


Figura 4: Mapa de Vulnerabilidade Ambiental da Área 9

Comparando o mapa de vulnerabilidade ambiental com o de vulnerabilidade natural, pode-se observar uma grande distinção entre eles. As áreas de maior vulnerabilidade ambiental se estendem por praticamente toda a porção central e oeste da área, denotando a grande influência do uso do solo e da cobertura vegetal sobre a vulnerabilidade. A intensa pressão antrópica, alterando áreas naturais, seja para expansão urbana, formação de pastagens, atividade minerária, ou outras formas de uso, praticamente eliminou o fator de proteção apresentado no mapa de vulnerabilidade natural pelas áreas onde ocorre latossolo. Com exceção da parte leste da área, onde está a Serra do Espinhaço, cujos aspectos geológicos são fatores atenuantes para vulnerabilidade, em todo restante da área o fator atenuante é a presença esparsa de vegetação de porte arbóreo.

A maior parte do patrimônio espeleológico identificado na área 9, evidenciado pela presença de cavernas, coincide com as áreas de unidades de conservação federais. 182 cavernas (17,5% do total) estão na APA Morro da Pedreira e no Parque Nacional (PARNA) da Serra do Cipó, na porção sudeste e 554 cavernas (53,4% do total) estão na APA Carste de Lagoa Santa, na porção sul. Entretanto, não existe prospecção espeleológica sistemática em toda a área e, portanto, não se conhece todo o patrimônio aí presente. Mas, analisando os mapas de potencial de ocorrência de cavernas e de vulnerabilidade ambiental, pode-se inferir que uma parte do patrimônio, ainda desconhecido, pode estar extremamente susceptível à ocorrência de impactos ambientais negativos.

Dentro dos limites da APA Carste de Lagoa Santa foram criadas nove unidades de conservação estaduais, sete das quais de proteção integral: Monumento Natural (Mona) Santo Antônio, Mona Vargem da Pedra, Mona Experiência da Jaguará, Mona Lapa Vermelha, Mona Várzea da Lapa, Parque do Sumidouro e Parque da Cerca Grande. Estas unidades de conservação contêm, juntas, 88 cavidades naturais subterrâneas.

Cabe ainda destacar que dentre estas unidades de conservação, estaduais e federais, as de proteção integral são as únicas, onde, pela legislação, o patrimônio está efetivamente protegido. Nas demais unidades de conservação, a proteção do patrimônio espeleológico coexiste com diversos usos impactantes, inclusive com a mineração de calcário que ocorre na APA Carste de Lagoa Santa.

Alguns municípios concentram a maior parte do patrimônio conhecido até o momento: Matozinhos, Funilândia e Prudente de Moraes têm parte de seu território no interior da APA Carste de Lagoa Santa. Entretanto, possuem, respectivamente,

38, 39 e 74 cavidades conhecidas fora dos limites desta unidade de conservação. Cordisburgo possui 47 cavidades conhecidas, destas 33 encontram-se protegidas pelo Monumento Natural Estadual Peter Lund, inclusive a Gruta de Maquiné, uma das mais visitadas de Minas Gerais. O município de Sete Lagoas está parcialmente contido na área de estudo. Ao todo, este município tem cadastradas 86 cavidades naturais. A porção contida na área de estudo contém 22 cavidades, das quais 18 estão protegidas pelo Monumento Natural Estadual Gruta Rei do Mato. Outro município que se destaca é Monjolos, no norte da área, que possui 22 cavidades cadastradas na base de dados do CECAV. Entretanto, nenhuma delas em unidade de conservação.

5. CONCLUSÕES

A geoconservação tem ganhado destaque mundial nos últimos anos no contexto da conservação da natureza e novos regulamentos têm sido desenvolvidos no sentido de resolver alguns dos problemas que afetam a integridade do patrimônio geológico. No Brasil, medidas legais têm sido especificamente desenvolvidas para o patrimônio espeleológico, que, por apresentar uma clara relação com outras tipologias de patrimônio natural e cultural, acaba por ser mais contemplado na legislação.

A importância do patrimônio espeleológico associada à biodiversidade e a geodiversidade e sua fragilidade e vulnerabilidade, implica na necessidade de medidas que garantam sua conservação para gerações presentes e futuras. Neste sentido é imprescindível selecionar áreas prioritárias para geoconservação com base em critérios científicos. Neste contexto, a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) se mostra adequada e permite a manipulação de um grande volume de dados e análises espaciais complexas, a partir do tratamento de dados geográficos e seus atributos inseridos na base de dados.

Assim, com base em uma análise multicritério realizada em ambiente SIG, foi feita a avaliação da vulnerabilidade natural e ambiental das áreas cársticas da região entre os municípios de Lagoa Santa e Monjolos. A inclusão de diferentes variáveis no modelo permitiu uma análise sistêmica e integrada e evidenciou áreas com grande extensão onde o patrimônio espeleológico encontra-se muito vulnerável. O substrato geológico propício à ocorrência de cavidades naturais e a supressão da cobertura vegetal foram os principais fatores determinantes da alta vulnerabilidade. As áreas de

maior vulnerabilidade são aquelas indicadas como prioritárias para geoconservação do patrimônio espeleológico, que pela sua importância deve ser um tema considerado no ordenamento do território. Neste sentido, sugere-se que nos municípios onde a vulnerabilidade é maior sejam desenvolvidos mapeamentos e inventários sistemáticos do patrimônio espeleológico em escalas maiores.

Importante destacar que, nas áreas protegidas (em especial na APA Carste de Lagoa Santa), as iniciativas de valorização e proteção deste patrimônio são um pouco mais privilegiadas. Neste aspecto, destaca-se o Parque Estadual do Sumidouro – unidade de conservação de proteção integral – que, embora tenha sido oficialmente criado na década de 1980, somente recentemente foi preparado para visitação turística, com valorização do patrimônio

espeleológico, por meio de trilhas interpretativas dispostas em circuitos e por uma exposição permanente no centro de visitantes que aborda temas diversos associados à riqueza do carste.

Não obstante, fora das unidades de conservação, o patrimônio espeleológico encontra-se desprotegido. É importante que sejam tomadas medidas que garantam o conhecimento e proteção mais efetiva do patrimônio espeleológico brasileiro apostando no seu potencial educativo na compreensão de processos típicos de áreas cársticas e valorizando ainda mais sua beleza estética e espetacularidade das geoformas a ele associados. Sem dúvida os avanços na legislação nacional e o Programa Nacional apontam para um futuro promissor para a geoconservação no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AULER, A.S. **Hydrogeological and hydrochemical characterization of the Matozinhos-Pedro Leopoldo Karst, Brazil**. 1994. 110 p. Thesis (Master of Science), Faculty of the Department of Geography and Geology, Western Kentucky.
- AULER, A.S. Lakes as a speleogenetic agent in the Karst of Lagoa Santa, Brazil. **Cave and Karst Science**, v.21, n.3, p.105-11, 1995.
- BERBERT-BORN, M.L.C. 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.L.C. (Edit.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. DNPM/CPRM-Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos(SIGEP): Brasília, 2002, p. 415 – 430.
- BRASIL, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio. **Plano de ação nacional para a conservação do patrimônio espeleológico nas áreas cársticas da Bacia do Rio São Francisco**. Organizadores Lindalva Ferreira Cavalcanti [et al.]. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2012. 140 p.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, **Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco** / Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília: MMA, 2006.
- BRILHA, J. **Patrimônio geológico e geoconservação**: a conservação da natureza na sua vertente geológica. Viseu: Palimage Editores, 2005.190p.
- CARTELLE, C. **Tempo Passado**: Mamíferos do Pleistoceno em Minas Gerais. Belo Horizonte: Editora Palco, 1994. 132p.
- CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS. Base de dados de cavidades naturais subterrâneas. CECAV. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/downloads/mapas.html>. Acesso em outubro, 2013
- CREPANI, E. et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.
- DEGRANDI, S.; FIGUEIRÓ, A.S. Patrimônio natural e geoconservação: a geodiversidade do município gaúcho de Caçapava do Sul. **Revista Brasileira de Ecoturismo**, v. 5, p. 173-196, 2012.

- FERREIRA, Rodrigo L. Biologia subterrânea: conceitos gerais e aplicação na interpretação e análise de estudos de impacto ambiental. In: **Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental**. Brasília, 2010, Cap. 4, p. 85-105.
- FIGUEIREDO, M.C.B. et al. **Análise da Vulnerabilidade Ambiental**. Fortaleza: EMBRAPA Agroindústria Tropical, 2010.
- GOMES, M. **Proposta Metodológica para Identificação de Áreas Vulneráveis para a Conservação do Patrimônio Espeleológico Brasileiro**. Belo Horizonte, 2010. Monografia de especialização – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.
- GOMES, M.; et al. **Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal da Área 8** (Peruaçu–Montes Claros) do Projeto de Monitoramento e Avaliação de Impactos sobre o Patrimônio Espeleológico - 1ª Aproximação. Revista Brasileira de Espeleologia, Volume 1, Número 3, Ano 2013. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/revistaelectronica/index.php/RBEsp/issue/view/29>. Acesso em Outubro de 2013.
- GRAY, M. **Geodiversity**: Valuing and conserving abiotic nature. England: John Wiley and Sons. 2004.
- GUIMARÃES, R.L. **Mapeamento geomorfológico do Carste da região de Monjolos, Minas Gerais**. 2012. 113 p. Dissertação (Mestrado em Tratamento da Informação Espacial), Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de uso da terra**. 3ª ed. - Rio de Janeiro, IBGE, 2006.
- JANSEN, D. C. **Análise ambiental da área de proteção ambiental do Morro da Pedreira e do Parque Nacional da Serra do Cipó para proteção do patrimônio espeleológico**. Belo Horizonte, 2013. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
- KOHLER, H.C. **Geomorfologia cárstica na região de Lagoa Santa/MG**. 1989. Tese (Doutorado em Geografia), Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- LEPSCH, Igo F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed., São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 216 p. ISBN 9788579750083
- LINO, C. F. **Cavernas: o fascinante Brasil subterrâneo**. São Paulo: Gaia, 2011. 2ª ed.
- LOBO, H A.S.; VERÍSSIMO, C.U.V.; SALLUN FILHO, W; FIGUEIREDO, L.A.V.; RASTEIRO, M.A. Potencial geoturístico da paisagem cárstica. **Global Tourism**, v.3, n.2, 2007.
- MARAN, A. Geoconservation in the Balkan region: practices and legal instruments. **Bulletin of the Natural History Museum, Belgrade**, n.1, p.41-63, 2008.
- MARRA, R. **Espeleo Turismo**: planejamento e manejo de cavernas. Brasília: Wd ambiental, 2001, 224p.
- MENESES, I. C. R. C. C. **Análise Geossistêmica na Área de Proteção Ambiental (APA) Carste de Lagoa Santa, MG**. Belo Horizonte, 2003. Dissertação de mestrado – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
- MIRANDA, M. P. S. **Tutela do Patrimônio Cultural Brasileiro** – doutrina – jurisprudência – legislação. Belo Horizonte: Del Rey, 2006.
- PANIZZA M.; PIACENTE S. Geomorphological Assets Evaluation. **Zeitschrift fur Geomorphologie**. N. F., Suppl. Bd., n.87, p.13-18, 1993.
- PANIZZA M.; PIACENTE S. **Geomorfologia Culturale**. Bologna: Pitagora Editrice, 2003, 360 p.

- PEREIRA, P. PEREIRA D.I.; ALVES. M.I.C. Avaliação do Patrimônio Geomorfológico: proposta de metodologia. **Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos**, Lisboa, v.5, p. 235-247, 2007.
- PILÓ, L. B. P.W.Lund e a geomorfologia cárstica de Lagoa Santa. **O Carste**, Belo Horizonte, v.14, n.1, p. 12-17, 2002.
- PROUS, A. P.W.Lund e a arqueologia brasileira. **O Carste**, Belo Horizonte, v.14, n.1, p. 50-51, 2002.
- RUCHKYS, U.A. **Atrativos turísticos naturais em regiões cársticas - análise de proteção ambiental carste de Lagoa Santa, MG**. 2001. Dissertação (Mestrado em Tratamento da Informação Espacial), Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- RUCHKYS, U.A. **Patrimônio Geológico e Geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: potencial para criação de um geoparque da UNESCO**. 2007. 211p. Tese (Doutorado em Geologia), Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte
- SANTOS, R. F., organizadora. **Vulnerabilidade Ambiental**. Brasília: MMA, 2007
- SOUZA, A. A. **Tutela do Patrimônio Ambiental Espeleológico no Direito Material Brasileiro**. 2012. 249p. Dissertação (Mestrado em Direito), Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo.
- SOUZA, L. F., SAMPAIO, T. V. M. **Aplicação do Índice de Concentração da Rugosidade à Identificação de Classes de Dissecação do Relevo: uma Proposta de Quantificação e Automatização em Ambiente SIG**. In Anais do III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife – PE, julho de 2010.
- TEIXEIRA, A. L. A.;CHRISTOFOLETTI, A. **Sistema de Informação Geografica**: Dicionário Ilustrado. São Paulo: Editora Hucitec, 1997.
- TEIXEIRA-SILVA, C. M. FALEIROS-SANTOS, T. ROBERTO, G. G. VIEIRA, F. F. MORAIS, F. OLIVEIRA. G. P. C. ONOFRE-OLIVEIRA, S. FERREIRA, A. S. MATTEO, D. G. Espeleologia na área cárstica de Monjolos, MG. In: 28º Congresso Brasileiro de Espeleologia. **Anais**. Campinas: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2005. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais28cbe/28cbe_146-152.pdf>.
- TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. **Biologia subterrânea**. 1ª. ed. v.1. Redespelo Brasil: São Paulo, 2006. 92p.
- TRAVASSOS, L.E.P. **A importância cultural do carste e das cavernas**. 2010. 372 p. Tese (Doutorado em Tratamento da Informação Espacial), Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- TRAVASSOS, L.E.P. **Considerações sobre o carste da região de Cordisburgo, Minas Gerais, Brasil**. Belo Horizonte: Tradição Planalto, 2010. 102 p. Disponível em: www.tradicaoplanalto.com.br/Livro_Cordisburgo.pdf.

Editorial flow/Fluxo editorial:

Received/Recebido em: Dez.2013

Accepted/Aprovado em: Out.2014



PESQUISAS EM TURISMO E PAISAGENS CÁRSTICAS

Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE)

www.cavernas.org.br/turismo.asp

Refrendada por la Asociación de Cuevas Turísticas Iberoamericanas

