



**DIVERSIDADE DE INVERTEBRADOS
CAVERNÍCOLAS NA PROVÍNCIA
ESPELEOLÓGICA DE ARCOS, PAINS E
DORESÓPOLIS (MG): SUBSÍDIOS PARA A
DETERMINAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS
PARA CONSERVAÇÃO**

ROBSON DE ALMEIDA ZAMPAULO

2010

ROBSON DE ALMEIDA ZAMPAULO

**DIVERSIDADE DE INVERTEBRADOS CAVERNÍCOLAS NA
PROVÍNCIA ESPELEOLÓGICA DE ARCOS, PAINS E DORESÓPOLIS
(MG): SUBSÍDIOS PARA A DETERMINAÇÃO DE ÁREAS
PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Recursos em Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Rodrigo Lopes Ferreira

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2010

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Zampaulo, Robson de Almeida.

Diversidade de invertebrados cavernícolas na Província
Espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG): subsídios para a
determinação de áreas prioritárias para conservação / Robson de
Almeida Zampaulo. – Lavras : UFLA, 2010.

190 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: Rodrigo Lopes Ferreira.

Bibliografia.

1. Área cárstica. 2. Cavernas. 3. Fauna cavernícola. 4. Ecologia.
5. Mineração. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 574.5264

ROBSON DE ALMEIDA ZAMPAULO

**DIVERSIDADE DE INVERTEBRADOS CAVERNÍCOLAS NA
PROVÍNCIA ESPELEOLÓGICA DE ARCOS, PAINS E DORESÓPOLIS
(MG): SUBSÍDIOS PARA A DETERMINAÇÃO DE ÁREAS
PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Recursos em Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 19 de março de 2010

Prof. Dr. Abel Pérez González

UFRJ

Prof. Dr. Lucas Del Bianco Faria

UFLA

Prof. Dr. Rodrigo Lopes Ferreira
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

Ofereço a todos que trabalham pela preservação dos ecossistemas cavernícolas e, em especial, aos amigos de Pains que possuem um valioso “tesouro” debaixo de seus pés.



Dedico este trabalho a todos de minha família.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Rodrigo Lopes Ferreira, orientador e amigo... Uma pessoa de extrema simplicidade sempre disposta a incentivar a formação de novos profissionais, bem como a evoluir com esta ciência no país.

Ao Prof. Dr. Marconi Souza Silva, um grande amigo e também responsável pelo meu direcionamento nos caminhos da Bioespeleologia.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos.

Ao Programa de Pós Graduação em Ecologia Aplicada da Universidade Federal de Lavras (UFLA) pelo suporte durante todo o mestrado e empenho em fazer um curso cada vez melhor e ao Laboratório de Ecologia Subterrânea, Setor de Zoologia – UFLA, pelo suporte técnico.

Ao meu amigo e orientador de graduação Prof. Luiz Afonso Vaz Figueiredo, que em 2000 “abriu as portas” do Grupo de Estudos Ambientais da Serra do Mar (GESMAR) e da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE). Em conjunto com estes, tive o prazer de iniciar meus trabalhos espeleológicos em indescritíveis áreas cársticas brasileiras e fazer grandes amigos.

Em especial e com muito carinho, ao grande amigo e irmão Rosinei de Oliveira (Coelho), que mesmo sem ter “trilhado” pelo universo acadêmico ou freqüentando grupos de espeleologia é, sem sombra de dúvida, um Bioespeleólogo na essência. Em sua companhia, tive o prazer de realizar inúmeras descobertas no mundo subterrâneo e encontrar vários “*Pserdos*,

Palpigras, Zé louros e Cixtos” além de muitas outras espécies “*pogloses*”. Brincadeiras à parte, agradeço por sua contribuição direta nos trabalhos de campo, indicação de grande parte das cavernas contempladas no presente estudo e pela significativa e inestimável ajuda logística na região de Pains sendo, portanto, essencial na realização do presente trabalho. Mas acima de tudo agradeço por sua amizade meu Amigo.

Aos proprietários das fazendas, as quais percorremos inúmeras trilhas e pastos em busca das centenas de cavernas inventariadas na presente dissertação. Em especial, ao Sr. Dimas da Fazenda Água Limpa, ao Sr. Brega da Fazenda Quartéis e ao Sr. Zizinho Beraldo, que compreenderam a relevância de nosso trabalho e nos receberam por mais de uma oportunidade em suas propriedades. As empresas de mineração Saldanha e João Vaz Sobrinho pela autorização de acesso as Grutas do Éden e Cazanga respectivamente.

Aos especialistas, Dr. Abel Pérez González (Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ), Dr. Antonio Brescovit (Instituto Butantan - SP), Dra. Sonia Maria Lopes Fraga (UFRJ) e aos alunos de pós-graduação em Ecologia Aplicada (UFLA), Leopoldo Ferreira de Oliveira Bernardi, Maysa Fernanda Villela Rezende Souza, Thais Giovannini Pellegrini e Thaís de Oliveira do Carmo pela determinação do material biológico.

A toda equipe do IBAMA regional de Lavras pelo apoio durante as análises dos processos de licenciamento ambiental, em especial, ao Paulo Sérgio Teixeira e ao SISBIO pela licença coleta de invertebrados cavernícolas (nº 15381-1).

Aos Jefferson Luiz (Jeba) pela indicação de inúmeras cavernas na região e a todos que participaram das coletas bioespeleológicas Drops, Érika, Leopoldo,

Marconi, Sibeles, Fabiana, Lena, Leonardo, Maysa, Thais, Xavier e Bruno e Breké.

Aos estagiários Cleverson e Cristina, pela ajuda inicial na organização do material da coleção. Ao Igor, por ter contribuído efetivamente durante a primeira etapa dos trabalhos de campo. Ao Adriano (Gaúcho), por ter vindo de longe contribuir com os trabalhos de campo. E principalmente, a querida Claudinha, mais que uma estagiária, uma amiga maravilhosa que teve um papel fundamental da realização da presente dissertação.

A Dona Nenzinca, uma grande mulher, guerreira e que foi como uma mãe para nossa equipe enquanto estivemos em Pains. Obrigado por nos receber “dentro de sua casa”.

Aos amigos painensis Maria e Bruninho (Família Coelho), Juninho, Claudinho, Chiquito, Nivaldo, Bigode, Bigu, Albano e aos dois Adrianos (Povo do Distrito da Mina). Em especial, ao Dingo, um amigo incomparável de coração enorme e nenhum juízo. Obrigado por tanto nos alegrar após dias de exaustivo trabalho subterrâneo com as “musicas, galinhadas, goles e câmeras escondidas”.

Aos amigos de república, em especial ao Ítalo, que foi um amigo incondicional após o meu retorno de Pains e durante toda a fase final do mestrado, sem dúvida a parte mais difícil desta trajetória.

Aos alunos e professores do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada em especial a Mariana e ao Clever, este último, um amigo imparcial, honesto, altruísta, com o qual compartilhei vários momentos desta jornada.

Aos amigos Gesmarianos pelas diversas investidas nas mais diferentes regiões do país. Neste grupo, fui abençoado ao fazer amigos de extrema singularidade humana. Obrigado Lena, Jove e Enoque, que nossas histórias continuem caminhando juntas pela escuridão do mundo subterrâneo.

Em especial a minha grande amiga Sibebe (“Siba da Rabeca”) pelo tempo despendido com a presente dissertação, mas principalmente pela amizade descontraída, divertida e sincera. Espero que possamos realizar inúmeros outros trabalhos espeleológicos no futuro.

Em especial a Luciana, meu amor... Companheira em todos os momentos ao longo desses dois anos... Obrigado pela paciência e compreensão incondicional.

E por fim, agradeço a DEUS por ter me iluminado e direcionado através de princípios que trazem um significado verdadeiro para a vida não só agora, mas em todo o sempre. Obrigado principalmente por ter me abençoado com Pais maravilhosos e exemplos de vida... Os quais tanto amo.

Em Pains e num raio de umas cinco léguas nas vizinhanças deste arraial o terreno e as serras principalmente são constituídos por rocha calcária, existindo inúmeras caieiras na região. Só este distrito pode fornecer cal para todo território brasileiro.

Os moradores da região, em regra homens rudes e excessivamente supersticiosos, vêem, à noite, e, às vezes, durante a semana santa, ao meio dia e às três horas, seres sobrenaturais, verdadeiros duendes, peregrinando pelas cumiadas das serras, inspecionando se algum homem atrevido violou os seus segredos ou algum larápio saqueou os seus tesouros ocultos nas furnas, que se abrem nas rochas escarpadas. Esses seres sobrenaturais, após suas fastidiosas caminhadas e perigosíssimas ascensões pelas escarpas da serra, vão se refugiar no recôndito das enormes grutas, que constituem sua moradia.

Alacrino Monteiro
(Serviço Geográfico de Minas Gerais, 1939)

FORMATO DA DISSERTAÇÃO

A estrutura da dissertação apresenta o seguinte formato: Capítulo I, composto de introdução geral, referencial teórico, hipótese geral e área de estudo; Capítulo II, Capítulo III e Considerações Finais. Na introdução geral é apresentada uma contextualização da região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG) abordando aspectos históricos relacionados aos problemas ambientais atuais frente à conservação do patrimônio espeleológico. Com o referencial teórico buscou-se caracterizar os ecossistemas cársticos e o ambiente subterrâneo através de definições de uso restrito, a partir das inúmeras referências existentes na literatura. Em seguida é apresentada a hipótese geral da dissertação e a caracterização da área de estudo, onde foram abordados os principais aspectos ambientais importantes para a compreensão dos padrões da biodiversidade cavernícola da região. No Capítulo II buscou-se caracterizar a diversidade de invertebrados cavernícolas na região, e, de forma pioneira, propor um critério para a classificação das espécies quanto ao grau de raridade em um contexto regional. No Capítulo III, são indicadas áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade cavernícola na região fornecendo subsídios para o manejo dos recursos naturais e a criação de unidades de conservação. Desta forma, a presente dissertação não somente almeja contribuir para a ampliação do conhecimento ainda extremamente incipiente acerca da diversidade subterrânea no Brasil, bem como colaborar de maneira efetiva para a definição de estratégias de conservação. Por fim, ressalta-se que uma vez que a dissertação encontra-se no formato de capítulos, algumas informações apresentadas no referencial teórico ou na área de estudo repetem-se nos capítulos seguintes quando necessário.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
CAPÍTULO 1: Região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis: Aspectos históricos e problemas ambientais.....	1
1 Introdução.....	2
2 Referencial teórico.....	11
3 Hipótese geral da dissertação.....	18
4 Caracterização geral da área de estudo.....	19
5 Referências Bibliográficas.....	24
CAPÍTULO 2: Diversidade de invertebrados cavernícolas na região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (Minas Gerais, Brasil).....	33
1 Resumo.....	34
2 Abstract.....	36
3 Introdução.....	38
4 Objetivos.....	43
5 Material e métodos.....	43
5.1 Área de estudo.....	43
5.2 Procedimentos.....	44
5.2.1 Coleta de invertebrados.....	47
5.2.2 Análise dos dados.....	47
5.2.2.1 Composição, riqueza e distribuição de invertebrados.....	48
5.2.2.2 Relações entre as variáveis bióticas e ambientais.....	51
5.2.2.3 Determinação de espécies troglóbias.....	51
5.2.2.4 Análise de raridade: espécies acidentais, espécies comuns e os tipos de raridade.....	52

5.2.2.5 Estimativa da riqueza de espécies.....	54
6 Resultados.....	55
6.1 Composição, riqueza e distribuição de invertebrados.....	55
6.2 Relações entre as variáveis bióticas e ambientais.....	59
6.3 Diversidade de espécies troglóbias.....	63
6.4 Análise de raridade: espécies acidentais, espécies comuns e os tipos de raridade.....	65
6.5 Estimativas de diversidade.....	72
7 Discussão.....	73
7.1 Composição, riqueza e distribuição de invertebrados.....	73
7.2 Relações entre as variáveis bióticas e ambientais.....	77
7.3 Diversidade de espécies troglóbias.....	79
7.4 Análise de raridade: espécies acidentais, espécies comuns e os tipos de raridade.....	83
8 Agradecimentos.....	88
9 Referências Bibliográficas.....	89
APÊNDICE A.....	98
CAPÍTULO 3: Definição de áreas prioritárias para conservação da diversidade de invertebrados cavernícolas na região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (Minas Gerais, Brasil).....	105
1 Resumo.....	106
2 Abstract.....	108
3 Introdução.....	110
4 Objetivos.....	117
5 Material e métodos.....	117
5.1 Área de estudo.....	117
5.2 Procedimentos.....	118
5.2.1 Sistematização dos dados pré-existentes.....	118

5.2.2 Definição de lacunas amostrais na região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis.....	119
5.2.3 Coleta de invertebrados.....	121
5.3 Análises dos dados.....	122
5.3.1 Ferramentas de valoração das cavernas.....	122
5.3.1.1 Riqueza total de espécies de invertebrados.....	123
5.3.1.2 Índice de complexidade ecológica das cavernas (ICE).....	124
5.3.1.3 Riqueza e determinação de espécies troglóbias.....	124
5.3.1.4 Grau de vulnerabilidade das cavernas.....	125
5.3.2 Análises espaciais, valoração final e determinação das áreas prioritárias para a conservação.....	128
5.3.3 Análise de similaridade entre as áreas prioritárias.....	130
6 Resultados.....	131
6.1 Riqueza de espécies (S).....	131
6.2 Índice de complexidade ecológica das cavernas (ICE).....	133
6.3 Riqueza de espécies troglóbias (ST).....	135
6.4 Vulnerabilidade.....	137
6.5 Áreas prioritárias para conservação.....	139
6.6 Análise de similaridade entre as áreas prioritárias.....	145
7 Discussão.....	148
7.1 Contextualização da biodiversidade e pressões antrópicas na região.....	148
7.2 Indicação das áreas prioritárias.....	153
8 Considerações finais e proposição de medidas para conservação.....	155
9 Agradecimentos.....	159
10 Referências Bibliográficas.....	160
CONCLUSÕES FINAIS.....	171
APÊNDICE B.....	174

RESUMO

ZAMPAULO, Robson de Almeida. **Diversidade de invertebrados cavernícolas na Província Espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG):** subsídios para a determinação de áreas prioritárias para conservação. 2010. 190 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

Estima-se que as áreas cársticas brasileiras perfaçam cerca de 200 mil km². Minas Gerais é o estado brasileiro que possui o maior número de cavernas e a região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis, no centro-oeste do estado, representa a maior concentração de cavidades naturais do país com 1.200 cavernas cadastradas. Entretanto, desde a década de 1960, esta região tornou-se foco de investimentos do setor minerário e, atualmente, representa um dos principais exemplos brasileiros de conflitos entre a preservação do patrimônio espeleológico e os impactos ambientais decorrentes da mineração. Durante a década de 1990, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) intensificaram sua atuação sobre a região. Mas foi somente durante a última década que esta área passou a receber uma maior atenção dos órgãos ambientais. Tantos problemas ambientais despertaram inclusive a atenção do Grupo de Gestão de Conflitos Relacionados à Mineração (GESCOM) do Ministério do Meio Ambiente, da Organização das Nações Unidas (ONU) e do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). Tais órgãos têm fomentado as discussões sobre as questões de desenvolvimento sustentável, bem como a realização de oficinas para identificação de áreas prioritárias para implantação de unidades de conservação na região. Assim sendo, esforços para o fortalecimento dos órgãos ambientais responsáveis pelo licenciamento de empreendimentos econômicos na região são fundamentais, assim como trabalhos que visem à compreensão dos padrões da biodiversidade cavernícola que viabilizem o planejamento de ações conservacionistas no intuito de definir áreas biológicas representativas. Diante da relevância desta região no contexto nacional e das iminentes pressões antrópicas existentes, a presente dissertação teve como objetivo principal subsidiar ações prioritárias para a conservação da biodiversidade cavernícola regional a partir da definição de áreas prioritárias para a conservação e representa ainda o maior levantamento bioespeleológico já efetuado em uma única área cárstica brasileira.

Comitê Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Lopes Ferreira - UFLA (*Orientador);
Prof. Dr. Marconi Souza Silva - UNILAVRAS

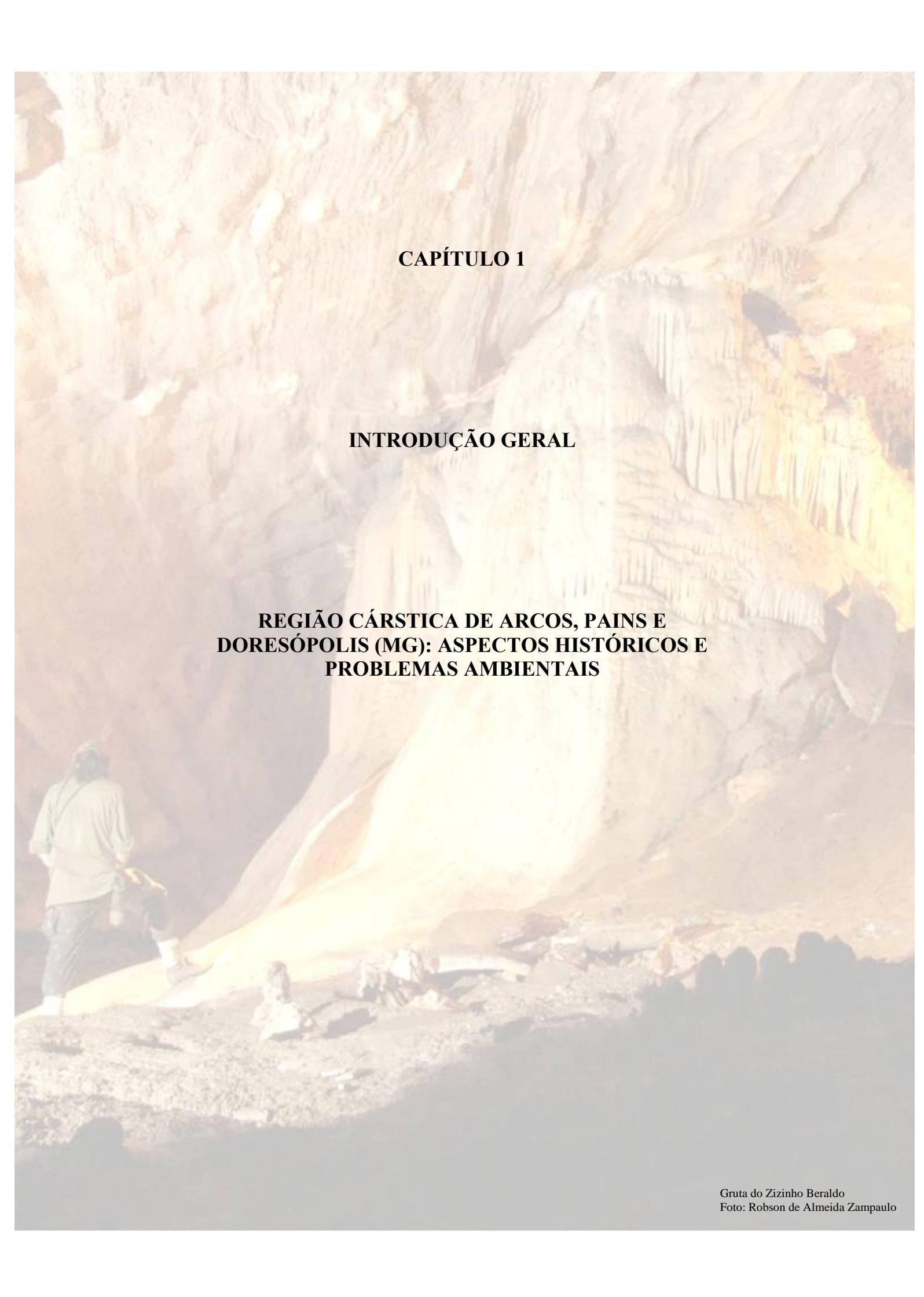
ABSTRACT

ZAMPAULO, Robson de Almeida. **Diversity of cave invertebrates in the Speleological Province of Arcos, Pains and Doresópolis (MG):** subsidies for the determination of priority areas for conservation. 2010. 190 p. Dissertation (Master in Applied Ecology) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

It is estimated that the Brazilian karstic areas totalize about 200 thousand km². Minas Gerais is the Brazilian state with the highest number of caves, and the region of Arcos, Pains and Doresópolis, at the central-western portion of the state, represents the largest concentration of caves in the country with 1,200 caves catalogued. However, since the decade of 1960, this region has turned out to be the focus of mining investments and, currently, represents one of the main Brazilian examples of conflict between the preservation of the speleological patrimony and the environmental impacts derived from mining activity. During the decade of 1990, IBAMA (Brazilian Institute of Environment and Renewable Natural Resources) and FEAM (Environment State Foundation) have intensified their performance on the region. But it was only during the last decade that this area has started to receive more attention from the environmental organs. The several environmental problems also called the attention of the Group of Management of Conflicts Related to Mining (GESCOM), from the Brazilian Ministry of Environment, from ONU and from the United Nations Development Programme (UNDP). Those organs have been promoting the discussion about sustainable development, as well as the realization of workshops for the identification of prior areas for the creation of conservation unities in the region. Hence, the effort for strengthening the environmental organs responsible for the licensing of enterprises in the region is fundamental, as well as studies that aim to the understanding of the cave biodiversity standards and make feasible the planning of conservationist actions intending to define representative biological areas. Considering the relevance of this region in the national context and the imminent anthropic pressure, the present dissertation has as its main objective to assist prior actions for the conservation of the cave biodiversity in the region based on the definition of prior areas for the conservation, and also represents the most

comprehensive biospeleological survey already realized on a single karstic area in Brazil.

Guidance Committee: Prof. Dr. Rodrigo Lopes Ferreira - UFLA (*Adviser);
Prof. Dr. Marconi Souza Silva - UNILAVRAS



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

**REGIÃO CÁRSTICA DE ARCOS, PAINS E
DORESÓPOLIS (MG): ASPECTOS HISTÓRICOS E
PROBLEMAS AMBIENTAIS**

1 INTRODUÇÃO

Estima-se que as áreas cársticas brasileiras perfaçam cerca de 200 mil km². Considerando o pouco conhecimento disponível sobre rochas suscetíveis à gênese de cavidades naturais no país, acredita-se que aproximadamente 5% da superfície de seu território, cerca de 450.000 km², apresente condições favoráveis para a ocorrência destes ecossistemas (Auler et al., 2001). Desta forma, espera-se que o potencial espeleológico brasileiro seja superior a 100.000 cavernas sendo considerado o país com maior potencial na América do Sul (Auler et al., 2001). Entretanto, até o momento, pouco mais de 7.000 cavernas encontram-se cadastradas junto aos órgãos ambientais e à sociedade civil (Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas - CECAV, 2009; Sociedade Brasileira de Espeleologia. - SBE, 2009). Destas, 48% estão em municípios com atividade minerária e apenas 27% localizam-se em algum tipo de unidade de conservação (Marra, 2008).

Minas Gerais é o estado brasileiro que possui o maior número de cavernas e a região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis, no centro-oeste do estado, representa a maior concentração de cavernas do país com 1.200 cavidades cadastradas (CECAV, 2009; SBE, 2009). Inserida no principal grupo carbonático brasileiro, o Grupo Bambuí, a região anteriormente conhecida como “Mata de Pains” possuía até o fim do século XVIII uma paisagem composta por matas de grande amplitude que se alternavam com áreas de campo. Entretanto, quase três séculos de atividades agropecuárias e de exploração de madeira nas inúmeras fazendas denominadas “Engenhos de Serra” resultaram num processo intenso de exploração predatória dos recursos naturais da região (Henriques-Junior, 2006). Desta forma, da vegetação nativa restam apenas poucos fragmentos de pequenas dimensões, restritos, em sua maioria, aos afloramentos calcários.

A exploração do patrimônio espeleológico teve início a partir do século XIX, quando algumas cavernas da região foram objeto de expressiva exploração de salitre para a fabricação de pólvora. Entre estas, a Loca Grande de Arcos, atualmente conhecida como Gruta Cazanga, foi objeto de estudo do naturalista alemão Wilhelm Ludwig von Eschewege em 1816. Contratado pela coroa portuguesa para avaliar o potencial minerário do país, Eschewege foi responsável pelo primeiro registro detalhado de uma caverna na região, bem como autor das primeiras descobertas arqueológicas e paleontológicas locais (Eschewege, 1979). Abaixo, segue o trecho transcrito de uma das obras do referido naturalista:

“Sua altura e largura variam de 15 a 20 palmos; e seu comprimento, 286 passos. A gruta, como um longo corredor, alarga-se no fim, dando lugar a um amplo salão de 40 palmos. A gruta se divide [...] em 2 corredores principais [...] um dos corredores, que se estende em abóbada cerca de 60 passos, é fechado por uma massa de estalagmites [...] O outro corredor, de 50 passos de comprimento, se fecha em gruta .” (Eschewege, 1979).

Mas foi durante a década de 1960 que as rochas carbonáticas desta região tornaram-se foco de investimentos do setor minerário, sendo que as primeiras indústrias de calcinação de grande porte se instalaram no município de Arcos (Cherem & Magalhães Júnior, 2007). Desde então, a atividade minerária evoluiu de uma condição basicamente garimpeira para grandes empresas nacionais e multinacionais, o que tornou a mineração e o beneficiamento do calcário a principal atividade econômica da região, contribuindo para a geração de empregos diretos e indiretos, além da possibilidade de arrecadação de impostos. No entanto, as discrepâncias no tamanho dos empreendimentos aliado à ausência de uma legislação restritiva e controle de órgãos ambientais, resultaram

em uma ocupação desordenada e uma utilização predatória dos recursos naturais. Desta forma, os municípios não somente se beneficiaram dos investimentos providos pelo setor minerário, como também herdaram um enorme passivo ambiental.

Foi também neste período que os primeiros estudos espeleológicos realizados por grupos organizados foram desenvolvidos na região, sendo a Sociedade Espeleológica Excursionista (SEE) pioneira e responsável por inúmeros levantamentos espeleológicos durante a década de 1960. A partir de 1980, ocorreu uma intensificação na atuação dos grupos de espeleologia que realizaram inúmeras descobertas através de trabalhos de prospecção e mapeamento, além de estudos geológicos. Neste período, destacam-se o Espelegrupo Aníbal Matos (ESPAM), o Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas (GBPE), o Núcleo de Atividades Espeleológicas (NAE), o Guano Espeleo e o Grupo Agster de Pesquisas Espeleológicas (GAPE), sendo, este último, responsável pela contínua exploração da maior e mais expressiva caverna da região, a Gruta do Éden (Pizarro et al., 2001).

A partir de 1990, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) intensificaram sua atuação sobre a região. Mas foi somente durante a última década que esta área passou a receber uma maior atenção dos órgãos ambientais. Neste período, um termo de ajustamento de conduta induziu a adequação parcial das atividades mineradoras na região. Entretanto, apesar do esforço para se tentar resolver os problemas ambientais, infelizmente ainda não existe um consenso que atenda às expectativas almejadas pelos mineradores e órgãos ambientais nesta localidade (Marra, 2008).

Atualmente a área cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis representa um dos principais exemplos brasileiros de conflitos entre a preservação do patrimônio espeleológico e os impactos ambientais decorrentes da mineração. A

região é uma das áreas mais ameaçadas do estado e uma das que despertam maior preocupação no cenário nacional. A extração de calcário tem transformando a paisagem local e provocado impactos ambientais irreversíveis, resultando, inclusive, na supressão de cavidades naturais. O desenvolvimento de uma frente de lavra sobre o maior sistema conhecido nesta região, a Gruta do Éden, é apenas um exemplo clássico dos problemas ambientais regionais que certamente ocorrem em tantas outras localidades envolvendo cavernas de menor expressividade ou mesmo ainda desconhecidas.

Segundo informações do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), a falta de controle na disposição de rejeitos vem provocando o soterramento da vegetação natural nas áreas adjacentes às lavras, além do assoreamento das drenagens locais. De acordo com Marra (2008), os impactos ambientais provocados pela mineração abrangem mais de 700 cavernas na região. Mesmo diante desta situação, poucos estudos têm sido realizados com o objetivo de promover a conservação do patrimônio espeleológico local e muitas cavernas já conhecidas nem ao menos foram cadastradas junto aos órgãos ambientais.

Mesmo que tardias, as ações de fiscalização impostas pelos órgãos ambientais proporcionaram a adequação das atividades de inúmeras empresas de mineração e a realização de vários Estudos de Impacto Ambiental (EIA). Estes, necessariamente incluem relatórios de avaliação do patrimônio espeleológico e de maneira geral, apresentam a caracterização das paisagens exocársticas e endocársticas, bem como levantamentos arqueológicos, geoespeleológicos, paleontológicos e bioespeleológicos. Desta forma, principalmente nos últimos dez anos, empresas de consultoria ambiental a serviço do setor minerário produziram uma série de estudos necessários para a revisão das licenças ambientais existentes ou para novas anuências, o que ampliou de maneira significativa às informações sobre o patrimônio espeleológico regional.

A partir de informações desta natureza, trabalhos foram publicados em encontros científicos e a região passou a ocupar uma condição de destaque no cenário nacional em virtude da grande concentração de cavernas (Frigo & Pizarro, 1998; Pizarro et al., 2001; Ribeiro & Vilela, 2009; Teixeira & Dias, 2003). Entretanto, infelizmente em virtude da ausência de uma regulamentação para a realização destes estudos, bem como para a contratação dos profissionais, estes resultaram em uma série de relatórios extremamente heterogêneos quanto a sua qualidade e/ou confiabilidade. Tendo em vista tal situação, Dias & Teixeira (2003) propuseram um termo de referência com o objetivo de uniformizar os métodos aplicados nos trabalhos de avaliação do patrimônio espeleológico na região, mas este, até o momento, ainda não surtiu o efeito esperado.

Parte do trabalho previsto na presente dissertação foi o resgate de todos os relatórios técnicos de consultorias ambientais já desenvolvidos na região que se encontram em processo de análise na FEAM e no IBAMA. Tal procedimento tinha como objetivo aglutinar informações relevantes para a conservação da biodiversidade local, como ocorrências de espécies troglóbias, endêmicas e de importância ecológica para os ecossistemas subterrâneos. Esta consulta parecia coerente, uma vez que centenas de cavidades já haviam sido contempladas por estudos bioespeleológicos e uma grande quantidade de recursos humanos e financeiros haviam sido investida. Infelizmente, o resultado de tal análise foi que na maioria destes estudos não existiram critérios na sua execução, o que resultou em uma série de relatórios que não condizem com a realidade biológica local. Desta forma, tais informações não só inviabilizam a tomada de decisões pelos órgãos ambientais, como podem comprometer a conservação da biodiversidade subterrânea na região.

Ao todo foram analisados 29 processos realizados por dez empresas de consultoria e nove consultores distintos. Nestes processos foram identificadas informações referentes a 475 cavernas (40%) da região cárstica de Arcos, Pains

e Doresópolis. Destas, 59 cavidades (12%) foram simplesmente ignoradas do ponto de vista biológico. Neste caso, “ignoradas” significa que não foram apresentadas quaisquer referências à fauna presente nestas cavidades, ou constava que tais cavidades não possuíam uma “fauna cavernícola típica”. Para as cavernas que continham algum tipo de informação biológica, 229 cavernas (55%) apresentaram riqueza igual ou inferior a dez espécies. Em 71 cavernas (17%) foram encontrados registros entre onze e vinte espécies. Por fim, apenas 116 cavernas (28%) possuíam riqueza superior a vinte espécies. Tais dados representam a riqueza total da fauna cavernícola observada durante os levantamentos bioespeleológicos incluindo informações sobre vertebrados e invertebrados.

Comparando estes resultados com o valor da riqueza média observada durante a realização do presente estudo (35 espécies por caverna), é preocupante a possibilidade de estes EIA’s terem sido realizados incorretamente ou mesmo por profissionais não qualificados. Tais diferenças também podem ser fruto do uso de métodos inadequados, muitos dos quais não citados na elaboração destes relatórios. Vale lembrar que a riqueza média anteriormente mencionada foi baseada somente nos invertebrados cavernícolas. Vertebrados em geral, inclusive morcegos, não fizeram parte do escopo desta dissertação.

Problemas de ordem taxonômica também são recorrentes em tais relatórios. Na maioria dos levantamentos, a maior parte dos táxons está identificada apenas no nível de ordem ($\pm 70\%$) e não existem informações sobre distribuição das espécies ou abundâncias populacionais. Dados como estes são limitados e não fomentam inferências sobre padrões de biodiversidade de maneira confiável. A identificação errônea de diferentes táxons também foi observada. Um dos muitos exemplos desta situação foi a determinação de *Goniosoma spelaeum* na região de Pains. Entre os aracnídeos, os opiliões fazem parte de uma ordem que apresenta elevados índices de endemismos, estando, em

geral, restritos a uma ou poucas cadeias de montanhas com área de distribuição geográfica limitada. No caso, *G. spelaeum* é um troglóxico conhecido e bem estudado que ocorre na região cárstica Vale do Rio Ribeira (Trajano & Gnaspini, 1991). Desta forma, não é só improvável, como impossível sua ocorrência na área aqui estudada. A espécie de opilião recorrente nas cavernas da região de Pains compreende uma nova espécie recentemente descrita como *Mitogoniella taquara* (Silva & Gnaspini, 2009).

Em geral, os grupos encontrados durante os EIA's são espécies de grande porte, abundantes e de ampla distribuição. Nestes estudos, predominam as aranhas da família Ctenidae (*Ctenus e Enoploctenus*) e Pholcidae, opiliões de comportamento gregário (*Mitogoniella taquara*) e grilos e hemípteros de ampla distribuição (*Endecous e Zelurus*). Tais organismos são comuns e facilmente observados em qualquer caverna da região. Entre os morcegos, a maioria das informações consiste de levantamentos visuais, e as identificações estão restritas a ordem, com exceção do morcego vampiro *Desmodus rotundus*.

Por fim, e talvez o mais preocupante, é a carência de recursos humanos qualificados junto aos órgãos licenciadores, bem como a falta de informações sobre a fauna cavernícola regional que sirvam de referência durante a análise dos inventários bioespeleológicos realizados na região. De maneira geral, os estudos de impacto ambiental podem, em muitos casos, contribuir para o aumento do conhecimento sobre a biodiversidade local, além de serem de extrema importância para a definição de estratégias de uso dos recursos naturais. No entanto, o que pôde ser verificado, é a inexistência de uma política adequada para a realização, análise, fiscalização e um utópico monitoramento destes estudos de forma que os mesmos possam gerar uma gama de conhecimentos satisfatórios para a tomada de decisões.

De forma sumária, os inventários realizados nos últimos dez anos nas cavernas de Arcos, Pains e Doresópolis são, em sua quase totalidade,

insatisfatórios no que concerne à fauna cavernícola e podem estar comprometendo a conservação da biodiversidade subterrânea. Tal situação já é, por si, extremamente preocupante em virtude da precariedade do sistema de licenciamento ambiental. Além disso, as mudanças atuais na legislação brasileira em relação à proteção do patrimônio espeleológico brasileiro podem agravar ainda mais esta situação.

Até 2008 o decreto federal nº 99.556 (Brasil, 1990) era o instrumento legal que previa a proteção integral das cavidades naturais no país, estabelecendo uma série de exigências para garantir sua integridade física e equilíbrio ecológico. Entretanto, uma recente mudança na legislação através do decreto nº 6.640 (Brasil, 2008) dá uma nova leitura ao decreto anterior e passa a considerar as cavernas, de acordo com seu grau de relevância, passíveis de supressão por empreendimentos econômicos sendo sua classificação realizada através de informações obtidas durante a realização dos Estudos de Impacto Ambiental.

Infelizmente, esta alteração ocorreu sem o devido diálogo com a sociedade civil, o que provocou inúmeros manifestos organizados por entidades ambientalistas, bem como por órgãos e representantes governamentais. Este documento, em grande parte, é fruto de articulações políticas reforçadas principalmente pelas recentes descobertas de grandes quantidades de cavernas em litologias economicamente estratégicas como o minério de ferro. Desta forma, o novo decreto apresenta ainda inúmeras lacunas quanto a sua aplicabilidade, abrindo margem para a exploração arbitrária do patrimônio espeleológico.

Em contrapartida, o setor mineral justifica que os ambientalistas se valem de uma imperfeição verificada na Constituição Federal de 1988, que inclui todo e qualquer tipo de cavidade natural subterrânea entre os bens públicos da União e não apenas aquelas de grande relevância para o patrimônio

cultural brasileiro. Segundo representantes do Instituto Brasileiro de Mineração, tal interpretação trata-se de uma “anomalia de redação” que acabou resultando em interpretações exageradas pelas autoridades ambientais e endossadas por outros atores ambientais. Desta forma, esta teria sido replicada em legislações posteriores para defender a absoluta proteção do patrimônio espeleológico frente a empreendimentos produtivos, de utilidade pública e de interesse social (Penna, 2009).

Muito se especula sobre o valor do patrimônio espeleológico brasileiro, mas o fato é que seu conhecimento ainda é extremamente incipiente devido a alguns fatores como o enorme potencial espeleológico do país, as dificuldades inerentes ao trabalho, limitado número de especialistas, falta de apoio governamental e de recursos financeiros (Figueiredo, 2009). O que se percebe neste complexo contexto é uma precoce inversão da proteção integral pela possibilidade de ampla supressão de cavernas mediante as devidas compensações ambientais. Tal mudança pode resultar em perdas ambientais irreversíveis tendo em vista a existência de um problemático e ineficiente sistema de licenciamento ambiental brasileiro.

Tantos problemas ambientais despertaram também a atenção do Grupo de Gestão de Conflitos Relacionados à Mineração (GESCOM) do Ministério do Meio Ambiente, da Organização das Nações Unidas (ONU) e do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). Tais órgãos, nos últimos anos têm fomentado as discussões sobre as questões de desenvolvimento sustentável, bem como a realização de oficinas para identificação de áreas prioritárias para implantação de unidades de conservação na região de Arcos, Pains e Doresópolis.

Desta forma, esforços para o fortalecimento dos órgãos ambientais responsáveis pelo licenciamento de empreendimentos econômicos na região são fundamentais, assim como trabalhos que visem à compreensão dos padrões da

biodiversidade cavernícola que viabilizem o planejamento de ações conservacionistas no intuito de definir áreas biológicas representativas. Diante da relevância da região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis no contexto nacional e das iminentes pressões antrópicas existentes, a presente dissertação teve como objetivo principal subsidiar ações prioritárias para a conservação da biodiversidade cavernícola regional a partir da definição de áreas prioritárias para a conservação. Além disso, este trabalho compreende o maior levantamento bioespeleológico já efetuado em uma única área cárstica brasileira.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O meio subterrâneo ou hipógeo, compreende o conjunto de espaços interconectados do subsolo, de dimensões variáveis, preenchidos por água ou ar e formados preferencialmente em rochas de alta solubilidade como os carbonatos (Juberthie, 2000). Cerca de 10 a 15% da superfície terrestre do planeta compreendem estas regiões, denominadas áreas cársticas (Ford & Williams, 2007). A gênese e a evolução destas paisagens dependem do padrão estrutural, do grau de solubilidade da rocha e da ação de fluxos de água associadas a características ambientais que determinam o funcionamento geológico e biológico de ambientes subterrâneos (Palmer, 1991). Dentre as inúmeras definições, as regiões cársticas podem ser caracterizadas como complexos geológicos dinâmicos em constante modificação principalmente pela ação da água que atua na formação, moldagem e deposição de inúmeras feições (Gibert et al., 1994b).

As paisagens cársticas podem ser divididas em três zonas principais: zona externa ou exocarste; zona de contato da rocha com o solo, ou epicarste; e zona subterrânea, denominada endocarste (Ford & Williams, 2007). Nestas zonas podemos encontrar diversas feições, que vão desde formas destrutivas ou de

dissolução (formas superficiais e formas subterrâneas), e feições construtivas como os espeleotemas que são depósitos químicos formados no interior das cavernas (Kohler, 2001).

As paisagens exocársticas incluem feições como os poliés, dolinas, maciços, torres, mogotes, lapiás e também formas fluviocársticas, tais como vales cegos, sumidouros, ressurgências e cânions. Já o endocarste compreende uma considerável quantidade e variedade de cavidades subterrâneas que se desenvolvem associadas à rocha. Uma extensa descrição destas formas pode ser encontrada em Jennings (1985), Palmer (1991), White (1988), Kohler (2001), Ford & Williams (2007) dentre inúmeras outras referências.

Como compartimento intermediário, o epicarste ou meio subterrâneo superficial (MSS) corresponde, em geral, a um extenso volume subsuperficial que consiste de uma zona de intercâmbio entre o solo úmido e a rocha. Esse ambiente pode apresentar um sistema heterogêneo de fendas nas quais é retida a água proveniente da chuva por tempos variáveis podendo formar verdadeiros aquíferos suspensos (Camacho, 1992). Tal compartimento representa ainda uma importante via de colonização e dispersão para os organismos subterrâneos. Estudos sobre o epicarste desenvolvidos nas últimas décadas não só ampliaram notavelmente os limites e a extensão dos ambientes hipógeos, bem como a compreensão sobre as áreas de distribuição das espécies subterrâneas, inclusive troglóbias (Juberthie et al., 1980; Pipan & Culver, 2007).

É preciso destacar que o conceito de “carste” está em franca evolução. Desde a década 80 este termo, historicamente utilizado apenas para rochas que apresentavam alta solubilidade, tem sido empregado também para outras litologias de menor solubilidade, mas que apresentem feições geomorfológicas derivadas de processos de dissolução através do intemperismo químico (Hardt et al., 2009). Entretanto, tal emprego ainda não é amplamente aceito e este mérito não constitui o objeto principal do presente estudo. Desta forma, pretende-se

somente destacar que litologias anteriormente desprezadas do ponto de vista espeleológico (*e.g.* quartzitos, arenitos, granitos, minério de ferro, dentre outras) têm revelado paisagens com inúmeros elementos cársticos e com grandes concentrações de cavernas em diferentes partes do mundo (Auler & Piló, 2005; Auler, 2004; Chalcraft & Pye, 1984; Doerr, 1999; Jennings, 1983). Vale lembrar ainda que cavernas podem ocorrer sem a atuação de processos de dissolução mineral, como ocorre em cavernas de origem vulcânica, glacial ou de movimentos tectônicos (Gillieson, 1996).

As cavernas são definidas como cavidades naturais subterrâneas e representam um importante elemento das paisagens cársticas. De acordo com suas dimensões, estas podem ser classificadas como *microcavernas*, menores que 0,1 cm de diâmetro; *mesocavernas*, com tamanhos entre 0,1 e 20 cm, e *macrocavernas*, maiores que 20 cm. Estas últimas são consideradas como uma importante “janela” para a realização de estudos nos ambientes subterrâneos (Howarth, 1981; Howarth, 1983).

Para a comparação das condições ecológicas e ambientais prevalentes nos ambientes subterrâneos (hipógeos), os ambientes externos (epígeos) são utilizados como referência. Dessa forma, o ambiente cavernícola é geralmente caracterizado como estável, apresentando oscilações ambientais menores que as observadas no ambiente epígeo circundante. A temperatura no interior das cavernas aproxima-se da média anual da temperatura externa. Em cavernas extensas, a temperatura e a umidade quase não variam em locais mais distantes da entrada. Entretanto, cavernas menores em extensão apresentam oscilações mais evidentes, que são reflexos diretos das variações no ambiente epígeo. As cavernas são ainda caracterizadas pela elevada umidade, que muitas vezes tende à saturação (Barr & Kuehne, 1971; Culver, 1982; Ferreira, 2004; Howarth, 1983; Poulson & White, 1969).

Tradicionalmente, nas cavernas podem ser reconhecidas pelo menos três zonas ambientais distribuídas ao longo de um gradiente e caracterizadas pelas diferenças entre luminosidade, temperatura e distribuição dos organismos (Barr, 1967; Culver, 1982; Poulson & White, 1969):

1. *Zona de entrada*: é aquela onde a luz incide diretamente e tanto a temperatura quanto a umidade relativa do ar acompanham as variações externas. É a região mais influenciada pelo meio epígeo;

2. *Zona de penumbra*: há incidência indireta de luz e flutuações menores quando comparadas às da zona de entrada. Sua extensão pode variar de acordo com a época do ano e posição da entrada em relação ao sol;

3. *Zona afótica*: apresenta total ausência de luz e habitual tendência à estabilidade ambiental.

A total ausência de luz nos ecossistemas cavernícolas exclui a possibilidade de produtores fotossintetizantes nestes ambientes. Em geral, grande parte ou a quase totalidade da produção nos ecossistemas cavernícola é de origem secundária, baseada em cadeia de detritívoros atuando sobre recursos provenientes do meio externo. Entretanto, em algumas poucas cavernas como Movable Cave, a base da produção primária pode ser a quimioautotrofia, realizada principalmente por bactérias (Sarbu et al., 1996a).

Assim sendo, de forma geral as cavernas são consideradas ambientes oligotróficos e a matéria orgânica penetra nestes sistemas carregada, contínua ou temporariamente, por agentes físicos e biológicos (Culver, 1982; Edington, 1984; Ferreira & Martins, 1999; Gnaspini, 1989; Howarth, 1983). Dentre os agentes físicos, destacam-se os rios, enxurradas e diferentes tipos de drenagens que percolam o teto ou paredes através de aberturas ou fraturas existentes (Gibert et al., 1994b; Juberthie & Decu, 1994). A veiculação biológica é feita principalmente através de animais que transitam nas cavernas (*e.g.* morcegos) ou mesmo pelos animais que lá entram casualmente, defecando ou transportando

material. Fezes e carcaças de morcegos e de animais terrestres são importantes fontes de recursos alimentares para numerosas espécies de microorganismos e artrópodes, principalmente em cavernas permanentes secas (Ferreira & Martins, 1998; Ferreira & Martins, 1999; Gibert et al., 1994; Gillieson, 1996; Howarth, 1983; Juberthie & Decu, 1994; Souza-Silva, 2003). Raízes vegetais são também importantes recursos alimentares para os organismos que vivem em tubos de lavas vulcânicas e em cavernas superficiais (Howarth, 1983; Jasinska et al., 1996; Souza-Silva, 2003).

Assim, os recursos alimentares alóctones mantêm populações de organismos de todos os níveis tróficos nos ecossistemas subterrâneos e o tipo, a qualidade e a forma de disseminação do recurso no sistema são determinantes na composição e estrutura das comunidades cavernícolas (Culver, 1982; Ferreira & Martins, 1999; Howarth, 1983). Entretanto, em muitos casos, cavernas em regiões tropicais têm apresentado maiores quantidades de recursos alimentares em virtude da alta produtividade dos ecossistemas epígeos. Desta forma, muitos modelos elaborados e propostos a partir de sistemas subterrâneos temperados devem ser readequados as condições dos sistemas tropicais.

Apesar de historicamente os ambientes subterrâneos serem considerados pobres em termos de biodiversidade e biomassa, uma grande variedade de táxons está representada nestes ecossistemas, o que inclui desde bactérias, algas e fungos, até grupos vegetais (restritos a regiões eufóticas), invertebrados e vertebrados. Entretanto, a maioria destes grupos consiste de espécies pré-adaptadas às condições prevalentes nestes sistemas. Sendo assim, grupos que apresentem preferências por habitats úmidos, sombreados e que possuem uma dieta generalista são potencialmente aptos a colonizarem e se estabelecerem nestes ambientes (Gibert et al., 1994).

Em relação à condição ecológico-evolutiva, os organismos cavernícolas não se apresentam de maneira homogênea sendo representados por táxons muito

variados. Segundo Holsinger & Culver (1988), modificado do sistema Schiner-Racovitza, os organismos cavernícolas podem ser classificados em três categorias:

1. *Troglóxenos*: organismos regularmente encontrados no ambiente subterrâneo, mas que periodicamente se deslocam para o ambiente epígeo geralmente em busca de alimento e/ou para completar seu ciclo de vida. Em geral, ocorrem nas porções mais próximas à entrada, mas populações eventualmente também podem ocorrer em zonas mais distantes. Muitos desses organismos são responsáveis pela importação de recursos alimentares provenientes do meio epígeo, sendo muitas vezes os principais responsáveis pelo fluxo energético, como em cavernas permanentemente secas.

2. *Troglófilos*: organismos facultativos no ambiente subterrâneo capazes de completar seu ciclo de vida de forma independente no meio epígeo ou hipógeo. No epígeo, tanto os troglóxenos quanto os troglófilos geralmente ocorrem em ambientes úmidos e sombreados.

3. *Troglóbios*: organismos restritos ao ambiente cavernícola que em geral podem apresentar diversos tipos de especializações morfológicas, fisiológicas e comportamentais que provavelmente evoluíram em resposta às pressões seletivas presentes em cavernas e/ou à ausência de pressões seletivas típicas do meio epígeo. Frequentemente estes organismos apresentam redução das estruturas oculares, despigmentação e alongamento de apêndices. Além disso, geralmente apresentam distribuição geográfica restrita, baixa densidade populacional, baixa tolerância às flutuações ambientais e estratégia reprodutiva do tipo K, o que os torna potencialmente ameaçados de extinção frente às alterações de seu ambiente (Culver, 1982). Em virtude destas características, quaisquer espécies troglóbias são consideradas, minimamente, como espécies vulneráveis à extinção pela International Union for Conservation of Nature (IUCN).

Entretanto vale ressaltar, que embora o sistema de Shinner-Racovitza contemple somente três categorias, existe uma quarta categoria de organismos que podem ser frequentemente encontrados nestes ambientes. Tais organismos, denominados acidentais, compreendem espécies que normalmente não são encontradas em cavernas, mas que involuntariamente penetram nestes ambientes seja por quedas em entradas verticais ou ainda veiculadas pela água ou vento. Esses organismos, embora não consistam de seres efetivamente cavernícolas, apresentam uma importância ecológica nítida, uma vez que suas fezes, e principalmente seus cadáveres, servem de alimento para outros organismos presentes nestes ambientes.

Outro aspecto importante é que historicamente as comunidades encontradas nas zonas de entrada dos ambientes cavernícolas geralmente são excluídas dos estudos e inventários por abrigarem uma ampla diversidade de animais que não apresentam forte associação com o ambiente subterrâneo (Chapman, 1994). Entretanto, regiões próximas às entradas demonstram gradientes de modificações estruturais, biológicas e físicas, criando uma zona de transição, ou ecótono, entre os meios epígeos e hipógeos. Essa região localiza-se em uma zona diferenciada, determinada pelo equilíbrio entre a disponibilidade de recursos (característica epígea) e a estabilidade ambiental (característica hipógea), funcionando como filtros entre os diferentes sistemas e podendo resultar em zonas de alta complexidade biológica e com ocorrência de espécies endêmicas (Gibert, 1997; Prous et al., 2004). Tais áreas se apresentam extremamente dinâmicas em função das variações ambientais nas diferentes épocas do ano e podem influenciar na distribuição dos organismos subterrâneos (Cordeiro, 2008).

No Brasil, a fauna cavernícola começou a ser relativamente bem estudada apenas nas últimas três décadas (Chaimowicz, 1984; Chaimowicz, 1986; Dessen et al., 1980; Godoy, 1986; Rocha, 1994; Rocha, 1995; Trajano,

1987; Trajano & Gnaspini, 1991; Trajano & Moreira, 1991). Entretanto, até o momento, poucas cavernas foram intensivamente pesquisadas sendo todas elas calcárias (Bichuette & Santos, 1998; Cordeiro, 2008; Ferreira, 2005a; Ferreira & Martins, 1998; Ferreira & Pompeu, 1997; Jordão-Silva, 2006; Prous, 2005; Souza-Silva, 2003; Trajano, 2007a).

Das cerca de 800 cavidades inventariadas no país, apenas uma pequena fração pode ser considerada bem conhecida do ponto de vista biológico e grande parte destes estudos foram realizados dentro de unidades de conservação, que são áreas legalmente protegidas. Exemplos são o Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira e Parque Estadual de Intervales, ambos localizados no estado de São Paulo, o Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, localizado no norte de Minas Gerais e o Parque Nacional da Serra da Bodoquena localizado no estado do Mato Grosso do Sul (Ferreira, 2003; Ferreira & Horta, 2001; Gnaspini et al., 1994; Trajano, 2000). Desta forma, a maioria dos estudos bioespeleológicos brasileiros encontram-se fragmentados e concentram-se em áreas cársticas de algumas poucas regiões do país. Mesmo assim, vários estudos têm revelado uma elevada diversidade e endemismos da fauna subterrânea em algumas regiões do Brasil (Ferreira, 2004; Ferreira, 2005b; Gnaspini & Trajano, 1994; Rocha, 1995; Prous & Ferreira, 2009; Souza-Silva, 2008; Trajano, 2000).

3 HIPÓTESE GERAL DA DISSERTAÇÃO

De acordo com as características físicas, geológicas e biológicas, as cavernas de uma mesma região podem apresentar padrões heterogêneos de diversidade de invertebrados subterrâneos, bem como condições mais ou menos favoráveis à evolução de espécies troglóbias. Desta forma, a região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG) apresenta-se como um “mosaico” em relação aos atributos biológicos dos ambientes subterrâneos e epígeos.

4 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

A região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis situa-se no centro-oeste de Minas Gerais, distante a 230 km de Belo Horizonte (Figura 1). Esta área engloba a totalidade dos municípios de Pains e Doresópolis, além de partes dos municípios de Arcos, Córrego Fundo, Formiga, Iguatama, Lagoa da Prata, Pimenta e Piumhuí totalizando uma área aproximada de 1.500 km².

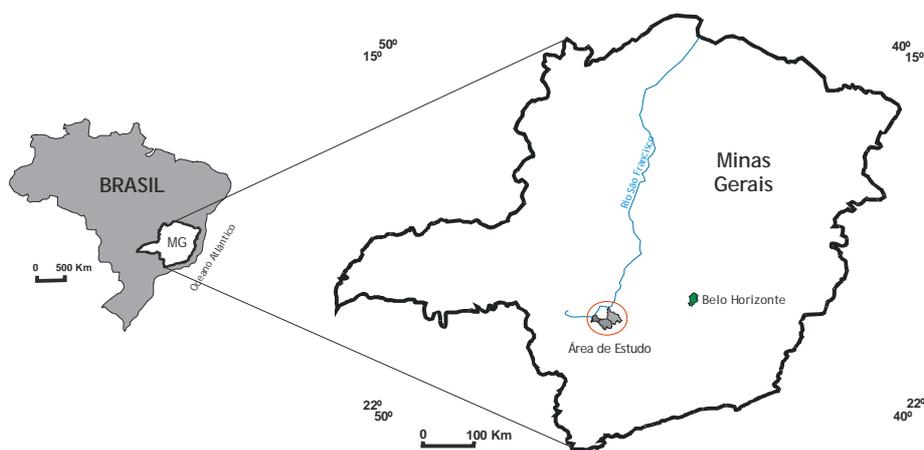


FIGURA 1 Localização da região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG)

Esta área apresenta-se inserida na porção meridional do cráton São Francisco, sobre uma sequência neoproterozoica metapelítica do principal grupo de rochas carbonáticas do país, o Grupo Bambuí (Figura 2). Os carbonatos da região encontram-se em contato discordante com rochas do embasamento granito-gnáissico a leste, e com os filitos e quartzitos do grupo Canastra a oeste. O embasamento granito-gnáissico na região é representado pelo Complexo Divinópolis e pelo Complexo Barbacena (Magalhães, 1989).

Mapa das regiões cársticas do Brasil

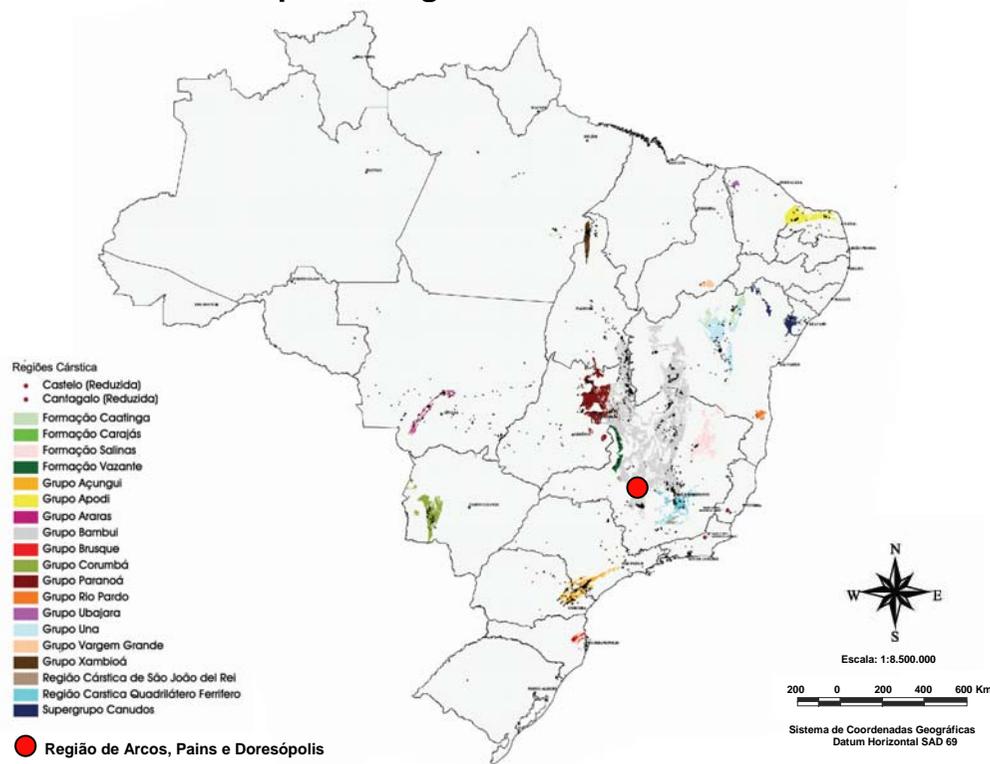


FIGURA 2 Mapa com a distribuição das áreas cársticas brasileira. O círculo vermelho corresponde à localização da região de Arcos, Pains e Doresópolis (MG). Fonte: CECAV, 2010.

O exocarste da região apresenta-se com aspecto ruiforme e bastante erodido, com afloramentos calcários escarpados, estruturas com dobramentos, fraturas e falhas regionais. Destas condições resultaram maciços isolados recortados por inúmeros corredores de diáclases, separados por um relevo aplainado com presença de dolinas, uvalas, sumidouros, surgências, vales cegos além de um endocarste extremamente desenvolvido. Estas feições fazem parte de um sistema complexo que compreende um grande número de cavidades naturais com aproximadamente 1.200 cavernas cadastradas pelos órgãos ambientais e principais entidades espeleológicas do país. Apesar desta grande concentração, a maioria das cavernas não ultrapassa 100 metros de desenvolvimento, sendo consideradas de pequeno porte quando comparadas às demais cavidades formadas em rochas carbonáticas. Grande parte das cavernas apresenta desenvolvimento predominantemente plano e este patrimônio representa aproximadamente 17% do total de cavidades conhecidas para o Brasil.

A região é recortada pelas bacias hidrográficas do rio São Miguel e do Ribeirão dos Patos, ambos tributários do rio São Francisco. A bacia do rio São Miguel, localizada entre os paralelos 20°10' e 20°29' de latitude sul e os meridianos 45°30' e 45°45' de longitude oeste, possui uma área de aproximadamente 500 Km². O Curso principal possui direção geral S/N por cerca de 40 Km. Possui um padrão morfológico meândrico até sua confluência com o rio São Francisco. Os principais afluentes da margem oeste são o ribeirão das Moendas, córrego da Mina, córrego do Mandengo e córrego do Fundão. Na margem leste, estão presentes os córregos da Barra, cuja confluência com o córrego das Moendas forma o rio São Miguel, e o rio Candongas. O rio São Miguel apresenta-se bastante alterado, pois o mesmo encontra-se sob a influência direta da área urbana do município de Pains e áreas de intensa agricultura e mineração (Haddad, 2006).

A bacia do Ribeirão dos Patos, localizada entre os paralelos 20°12' e 20°27' de latitude sul e os meridianos 45°35' e 45°52' de longitude oeste, se estende por uma área de aproximadamente 550 Km². Assim como o São Miguel apresenta orientação geral S/N, especialmente junto ao Rio São Francisco. Os principais tributários são os córregos da Matinha, do Cavalo e o córrego da Vaca (Menegasse et al., 2002). Próximo ao município de Pimenta, o lixo urbano da cidade é despejado em uma área localizada nas cabeceiras do Ribeirão dos Patos.

Considerando-se os dados da estação meteorológica mais próxima da área de estudo (Bambuí), a classificação climática de Köppen é do tipo Cwa, ou seja, clima temperado quente (mesotérmico) com verão úmido e inverno seco apresentando duas estações bem definidas. A primeira, de setembro a abril, apresenta temperaturas mais elevadas e precipitação abundante. A segunda, de maio a agosto, trata-se do período de inverno e forte estiagem. A temperatura média anual é de 20,7 °C, sendo julho o mês mais frio, com temperatura média de 16,3 °C, e janeiro o mais quente, com a média de 23,3 °C. A precipitação média anual é de 1.344 mm (Agritempo, 2010).

A cobertura vegetal da região encontra-se bastante alterada em função do desenvolvimento histórico de atividades agropecuárias e extração seletiva de madeira, bem como pela exploração recente do calcário. A vegetação nativa da área é do tipo savana (Cerrado) com gradações que vão das gramíneas do campo limpo à vegetação densa e de maior porte (Cerradão). Nas áreas cársticas predomina a Floresta Estacional Decidual Montana (Velooso et al., 1991) ou “Mata Seca”, também conhecida como “Mata de Pains”. Segundo Rizzini (1979), as matas secas encontram-se disseminadas em forma de manchas dentro da área central do Bioma do Cerrado. Já a mata encontrada em Pains limita-se às altitudes de 500-800 metros, revestindo os terrenos calcários ou as formações de rocha calcária aflorante limitada sempre pelos campos de pastagem. Trata-se de uma vegetação condicionada pela dupla estacionalidade climática que apresenta

uma característica sempre verde nos meses chuvosos e completamente seca nos meses de estiagem (Radambrasil, 1983). Outro aspecto importante a ser ressaltado é que as cavernas utilizadas neste estudo estão inseridas em áreas remanescentes do bioma do Cerrado. Este bioma, considerado como um dos mais importantes *hotspots* para conservação da biodiversidade mundial e que deve receber atenção prioritária à conservação (Myers et al., 2000), compreende 62% do patrimônio espeleológico do país e é apontado como a maior lacuna de proteção no sistema brasileiro de unidades de conservação (Marra, 2008).

Por fim, destaca-se que a região abriga um leque de recursos naturais importantes e diversificados de elevado potencial econômico. Citam-se as rochas carbonáticas, calcários e dolomitos, de características adequadas à produção da cal, cimento e corretivos agrícolas; variados tipos de solos favoráveis a uma boa diversificação da produção agrícola; abundância relativa de recursos hídricos; belas paisagens cársticas e rico acervo espeleológico, arqueológico e paleontológico de reconhecido valor nacional (Menegasse et al., 2002).

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRITEMPO. **Sistema de monitoramento agrometeorológico**. Campinas: Centro Pesquisa Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura, 2010. Disponível em: <[http://www. agritempo.gov.br](http://www.agritempo.gov.br)>. Acesso em: 20 fev. 2010.
- AULER, A. S. Quartzite caves of South America. In: GUNN, J. (Ed.). **Encyclopedia of caves and karst science**. New York: Fitzroy Dearborn, 2004. p. 611-613 p.
- AULER, A.; PILÓ, L. B. Introdução às cavernas em minério de ferro e canga. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 17, n. 3, p. 70-72, jul. 2005.
- AULER, A.; RUBBIOLI, E.; BRANDI, R. **As grandes cavernas do Brasil**. Belo Horizonte: Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, 2001. 227 p.
- BARR, T. C. Observation on the ecology of caves. **The American Naturalist**, Chicago, v. 101, n. 922, p. 475-491, Nov./Dec. 1967.
- BARR, T. C.; KUEHNE, R. A. Ecological studies in mammoth cave ecosystems of kentucky. **Annales de Speleologie**, Paris, v. 26, n. 1, p. 47-96, Mar. 1971.
- BICHUETTE, M. E.; SANTOS, F. H. S. Levantamento e dados ecológicos da fauna de invertebrados da gruta dos Paiva, Iporanga, SP. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 10, n. 1, p. 14-19, jan. 1998.
- BRASIL. Decreto n. 6.640, de 7 de Novembro de 2008. Dá nova redação aos arts. 1º, 2º, 3º, 4º e 5º e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 10 nov. 2008. Seção 1. Disponível em:<www.dou.gov.br>. Acesso em: 15 dez. 2009.
- BRASIL. Decreto-lei n. 99.556 de 1º de outubro de 1990. Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 2 out. 1990. Seção 1. Disponível em:<www.dou.gov.br>. Acesso em: 15 dez. 2009.

CAMACHO, A. I. **The natural history of biospeleology**. 1992. 680p. Monografia (Museo Nacional de Ciencias Naturales) - Consejo Superior de Investigaciones Cientificas, Madrid.

CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS. **Base de dados geoespacializados de cavidades naturais subterrâneas do CECAV**. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/cecav>>. Acesso em: 10 jan. 2009.

CHAIMOWICZ, F. Levantamento bioespeleológico em algumas grutas de Minas Gerais. **Espeleo-Tema**, São Paulo, v. 14, n. 1, p. 97-107, jan. 1984.

CHAIMOWICZ, F. Observações preliminares sobre o ecossistema da gruta Olhos d'Água, Itacarambi, MG. **Espeleo-Tema**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 65-77, jan. 1986.

CHALCRAFT, D.; PYE, K. Humid tropical weathering of quartzite in Southeastern Venezuela. **Zeitschrift für Geomorphologie**, Berlin, v. 28, n. 3, p. 321-332, Mar. 1984.

CHAPMAN, P. **Caves and cave life**. London: Harper Collins, 1994. 219 p.

CHEREM, L. F. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. O uso de imagens CBERS no monitoramento da expansão de atividades extrativas de rochas carbonáticas em Minas Gerais: o caso da província cárstica de Arcos-Pains. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 807-814.

CORDEIRO, L. M. **Fauna cavernícola da Serra da Bodoquena**: revisão bibliográfica e um estudo de ecologia de comunidades. 2008. 118 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande.

CULVER, D. C. **Cave life: evolution and ecology**. London: Harvard University, 1982. 189 p.

DESSEN, E. M. B.; ESTON, V. R.; SILVA, M. S.; TEMPERINI-BECK, M. T.; TRAJANO, E. Levantamento preliminar da fauna de cavernas de algumas regiões do Brasil. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 32, n. 6, p. 714-725, jun. 1980.

DIAS, M. S.; TEIXEIRA, P. S. D. Proposta preliminar de termo de referência para a elaboração de relatório de avaliação do patrimônio espeleológico na região cárstica de A. P. D. C. I. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 27., 2003, Januária. **Anais...** Januária: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2003. p. 44-54.

DOERR, S. H. Karst-like landforms and Hydrology in Quartzites of the Venezuelan Guyana Shield: Pseudokarst or "Real" Karst? **Zeitschrift für Geomorphologie**, Berlin, v. 43, n. 1, p. 1-17, Jan. 1999.

EDINGTON, M. Biological observation on the ogbuike cave system, Anambra state, Nigeria. **Studies in Speleology**, Buxton, v. 5, n. 1, p. 31-38, Jan. 1984.

ESCHEWEGE, W. L. **Pluto brasiliensis**. Belo Horizonte: Itatiaia, 1979. 622 p.

FERREIRA, R. L. **A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos**. 2004. 161 p. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

FERREIRA, R. L. A vida subterrânea nos campos ferruginosos. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 17, n. 3, p. 106-115, jul. 2005b.

FERREIRA, R. L. **Caracterização de ecossistemas subterrâneos do complexo Mina do Pico (Itabirito, MG): estudo bioespeleológico das cavidades visando o licenciamento necessário ao aproveitamento do minério de ferro**. Belo Horizonte: Minerações Brasileiras Reunidas, 2005a. 31 p.

FERREIRA, R. L. **Subsídios para o estabelecimento do manejo bioespeleológico e paleontológico em algumas cavernas do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu**. Belo Horizonte: Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, 2003. 140 p.

FERREIRA, R. L.; HORTA, L. C. S. Natural and human impacts on invertebrate communities in Brazilian caves. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 61, n. 1, p. 7-17, fev. 2001.

FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Diversity and distribution of spiders associated with bat guano piles in Morrinho cave (Bahia State, Brazil). **Diversity and Distributions**, Oxford, v. 4, n. 5-6, p. 235-241, Sept./Nov. 1998.

FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities with special reference to Brazilian caves. **Tropical Zoology**, Firenze, v. 12, n. 2, p. 231-259, Dec. 1999.

FERREIRA, R. L.; POMPEU, P. S. Riqueza e diversidade da fauna associada a depósitos de guano na gruta Taboa, Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 9, n. 2, p. 30-33, mar. 1997.

FIGUEIREDO, L. A. V. D. Cavernas e mineração: um diálogo necessário. **In the Mine**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 34-38, maio/jun. 2009.

FORD, D. C.; WILLIAMS, P. W. **Karst hydrogeology and geomorphology**. London: J. Wiley, 2007. 601 p.

GIBERT, J. The importance of ecotones in karstland. In: SASOWSKY, D.; FONG, D. W.; WHITE, E. L. (Ed.). **Conservation and protection of the biota of karst**. Akron: Karst Water Institute, 1997. p. 17-19.

GIBERT, J.; DANIELPOL, D. L.; STANFORD, J. A. **Groundwater ecology**. New York: Academic, 1994. 571 p.

GILLIESON, D. S. **Caves: processes, development, management**. Oxford: Blackwell, 1996. 324 p.

GNASPINI, P. Análise comparativa da fauna associada a depósitos de guano de morcegos cavernícolas no Brasil: primeira aproximação. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 33, n. 2, p. 183-192, jun. 1989.

GNASPINI, P.; TRAJANO, E. Brazilian cave invertebrates, with a checklist of troglomorphic taxa. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 38, n. 3/4, p. 549-584, dez. 1994.

GNASPINI, P.; TRAJANO, E.; SANCHEZ, L. E. Provincia Espeológica da Serra da Bodoquena, MS: exploração, topografia e biologia. **Espeleo-Tema**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 19-44, jan. 1994.

GODOY, N. M. Nota sobre a fauna cavernícola de Bonito, MS. **Espeleo-Tema**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 79-91, jan. 1986.

HADDAD, E. A. **Influência antrópica na qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Rio São Miguel, Carste do Alto São Francisco, Minas**

Gerais. 2006. 125 p. Mestrado (Dissertação em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

HARDT, R.; RODET, J.; PINTO, S. D. A. F.; WILLEMS, L. Exemplos brasileiros de carste em arenito: Chapada dos Guimarães (MT) e Serra de Itaqueri (SP). **Espeleo-Tema**, São Paulo, v. 20, n. 1-2, p. 7-23, fev. 2009.

HENRIQUES-JUNIOR, G. P. **Arqueologia regional da Província Cárstica do Alto São Francisco**: um estudo das tradições ceramistas Una e Sapucaí. 2006. 79 p. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

HOLSINGER, J. R.; CULVER, D. C. **The invertebrate cave fauna of Virginia and a part of eastern Tennessee**: zoogeography and ecology. North Carolina: State Museum of Natural Sciences, 1988. 164 p.

HOWARTH, F. G. Ecology of cave arthropods. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 28, p. 365-389, Jan. 1983.

HOWARTH, F. G. Non-Relictual terrestrial troglobites in the tropical Hawaiian Caves. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SPELEOLOGY, 8., 1981, Bowling Green. **Proceedings...** Bowling Green: National Speleological Society, 1981 p. 539-541.

JASINSKA, E. J.; KNOTT, B.; MCCOMB, A. J. Root mats in groundwater: a fauna-rich cave habitat. **Journal of North American Benthological Society**, Lawrence, v. 4, n. 15, p. 508 - 519, 1996.

JENNINGS, J. N. **Karst geomorphology**. Oxford: Blackwell, 1985. 304 p.

JENNINGS, J. N. Sandstone pseudokarst or karst?. In: YOUNG, R. W.; NANSON, G. C. (Ed.). **Aspects of australian sandstone landscapes**. Wollongong: Geomorphology Group Special Publication, 1983. p. 21-30.

JORDÃO-SILVA, F. **Invertebrados de cavernas do Distrito Federal**: diversidade, distribuição temporal e espacial. 2006. 131 p. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade Federal de Brasília, Brasília.

JUBERTHIE, C. B. The diversity of the karstic and pseudokarstic hypogean habitats in the World. In: WILKENS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHREYS, W. F. (Ed.). **Ecosystems of the World. 30. subterranean ecosystems**. Amsterdam: Elsevier Science, 2000. p. 17-39.

JUBERTHIE, C.; DECU, V. Structure et diversité du domaine souterrain: particularités des habitats et adaptations des espèces. In: JUBERTHIE, C.; DECU, V. (Ed.). **Encyclopaedia biospeleologica**. Moulis: Société de Biospéologie, 1994. p. 5-22.

JUBERTHIE, C.; DELAY, B.; BOUILLON, M. Extension du milieu souterrain en zone non-calcaire: description d'un nouveau milieu et de son peuplement par les coléoptères troglodytes. **Mémoires de Biospéologie**, Moulis, v. 7, p. 19-52, Apr. 1980.

KOHLER, H. C. Geomorfologia Carstica. In: TEIXEIRA, A. J. G.; CUNHA, S. B. (Ed.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2001. p. 309-334.

MAGALHÃES, P. M. **Análise estrutural das rochas do Grupo Bambuí na porção sudoeste da bacia do São Francisco**. 1989. 105 p. Doutorado (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

MARRA, R. J. C. **Critérios de relevância para classificação de cavernas no Brasil**. 2008. 393 p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília.

MENEGASSE, L. N.; GONÇALVES, J. M.; FANTINEL, L. M. Disponibilidades hídricas na província cárstica de Arcos-Pains-Doresópolis, Alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 1-19, maio 2002.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, n. 6772, p. 853-858, Feb. 2000.

PALMER, A. N. Origin and morphology of limestone caves. **Geological Society of America Bulletin**, New York, v. 103, n. 1, p. 1-21, Jan. 1991.

PENNA, P. C. V. Novos caminhos na legislação de cavernas. **Indústria da Mineração**, Brasília, v. 4, n. 24, p. 6-9, abr. 2009.

PIPAN, T.; CULVER, D. C. Epikarst communities: biodiversity hotspots and potential water tracers. **Environmental Geology**, Berlin, v. 53, n. 2, p. 265-269, Oct. 2007.

PIZARRO, A. P.; FRIGO, F. J. G.; CAMPELLO, M. S. Updating the caves distribution of Arcos-Pains-Doresópolis Speleologic-Carbonatic Province. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., 2001, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBG, 2001

POULSON, T. L.; WHITE, W. B. The cave environment. **Science**, Cambridge, v. 165, n. 3897, p. 971-981, Sept. 1969.

PROUS, X. **Entradas de cavernas**: interfaces de biodiversidade entre ambientes externos e subterrâneos, distribuição dos artrópodes da Lapa do Mosquito, Minas Gerais. 2005. 112 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia em Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PROUS, X.; FERREIRA, R. L. Estrutura das comunidades cavernícolas na Caatinga: subsídios para a conservação. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ESTUDOS DO CARSTE, 3., 2009, São Carlos. **Resumos...** São Carlos: Redespeleo Brasil, 2009. p. 62-63.

PROUS, X.; FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Ecotone delimitation: epigeal hypogean transition in cave ecosystems. **Austral Ecology**, Carlton, v. 29, n. 4, p. 374-382, Aug. 2004.

RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais**. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1983. 32 p.

RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil**: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. São Paulo: Hucitec/Edusp, 1979. 375 p.

ROCHA, R. P. da. Invertebrados cavernícolas da porção meridional da Província Espeleológica do Vale do Ribeira, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 2, n. 12, p. 229-255, dez. 1994.

ROCHA, R. P. da. Sinopse da fauna cavernícola do Brasil (1907-1994). **Papéis Avulsos de Zoologia**, São Paulo, v. 39, n. 6, p. 61-163, jul. 1995.

SARBU, S. M.; KANE, T. C.; KINKLE, B. K. A chemoautotrophically based cave ecosystem. **Science**, Cambridge, v. 272, n. 4, p. 1953-1955, Dec. 1996.

SILVA, M. B. da; GNASPINI, P. A systematic revision of Goniosomatinae (Arachnida : Opiliones : Gonyleptidae), with a cladistic analysis and biogeographical notes. **Invertebrate Systematics**, Collingwood, v. 23, n. 6, p. 530-624, Mar. 2010.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA. **Cadastro nacional de cavidades**. Taquaral, 2009. Disponível em: <www.sbe.com.br>. Acesso em: 28 jan. 2009.

SOUZA-SILVA, M. **Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na mata atlântica brasileira**. 2008. 225 p. Mestrado (Doutorado em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SOUZA-SILVA, M. **Influência da disponibilidade e consumo de detritos na composição e estrutura de mesofauna cavernícola**. 2003. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

TRAJANO, E. America, South: bioespeleology. In: GUNN, J. (Ed.). **Encyclopedia of caves and karst science**. New York: Fitzroy Dearborn, 2004. p. 118-122.

TRAJANO, E. Cave faunas in the Atlantic tropical rain forest: composition, ecology and conservation. **Biotropica**, Washington, v. 32, n. 4, p. 882-893, Apr. 2000.

TRAJANO, E. Fauna cavernícola brasileira: composição e caracterização preliminar. **Revista Brasileira de Zoologia**, São Paulo, v. 3, n. 8, p. 533-561, maio 1987.

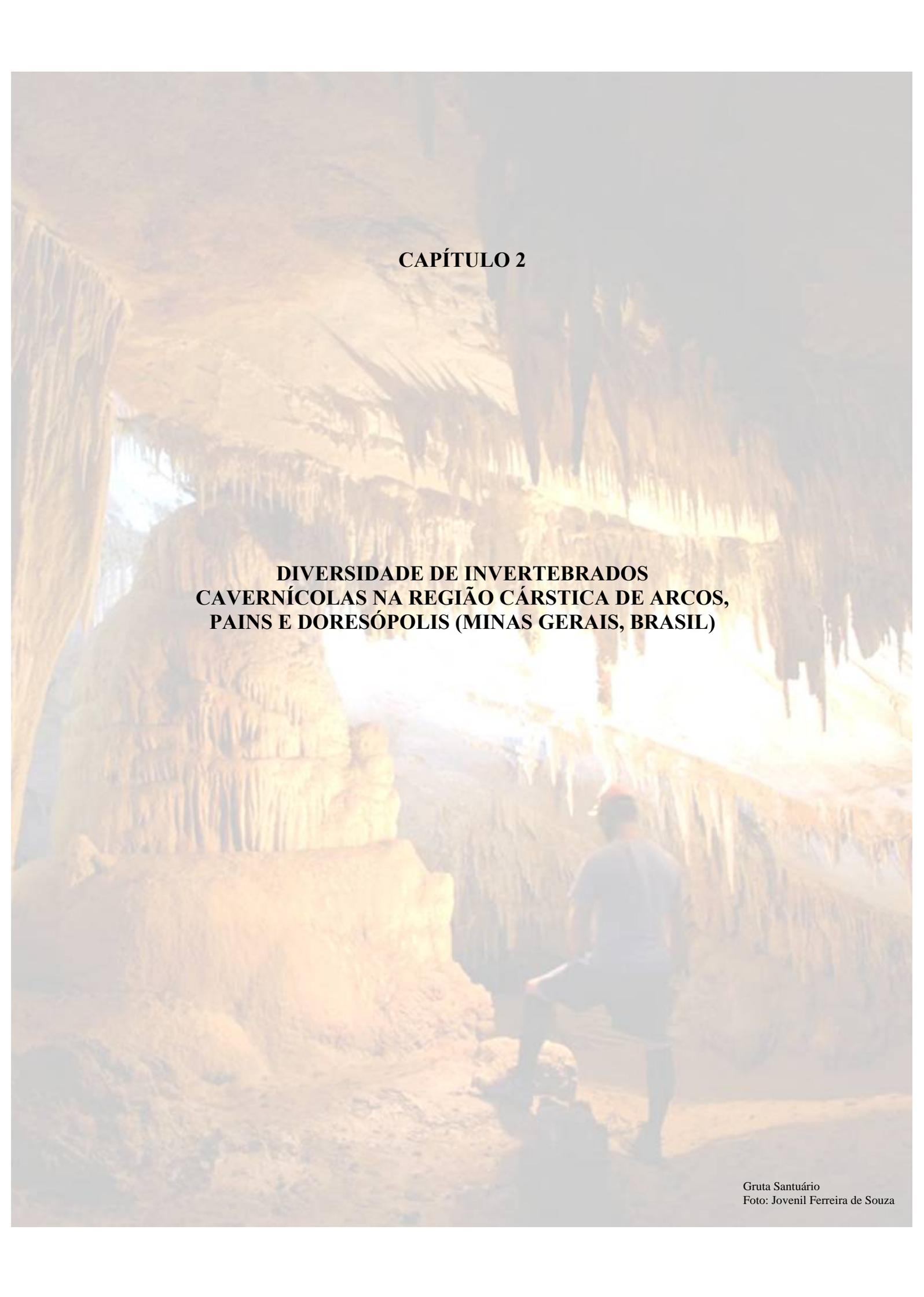
TRAJANO, E. **Sistema areias: 100 anos de estudos**. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2007. 128 p.

TRAJANO, E.; GNASPINI, P. Composição da fauna cavernícola brasileira, com uma análise preliminar da distribuição dos táxons. **Revista Brasileira de Zoologia**, São Paulo, v. 3, n. 7, p. 383-407, jul. 1991.

TRAJANO, E.; MOREIRA, J. R. A. Estudo da fauna de cavernas da província Espeleológica arenítica Altamira-Itaituba, Pará. **Revista Brasileira de Biologia**, Rio de Janeiro, v. 51, n. 1, p. 13-29, fev. 1991.

VELOSO, H. P.; RANGEL-FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1991. 123 p.

WHITE, W. B. **Geomorphology and hydrology of karst terrains**. New York: Oxford University, 1988. 480 p.



CAPÍTULO 2

DIVERSIDADE DE INVERTEBRADOS CAVERNÍCOLAS NA REGIÃO CÁRSTICA DE ARCOS, PAINS E DORESÓPOLIS (MINAS GERAIS, BRASIL)

1 RESUMO

A região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG) é considerada a maior concentração de cavernas do país com 1.200 cavernas cadastradas. Apesar de sua relevância e diante de iminentes pressões antrópicas, até o momento poucos estudos bioespeleológicos foram desenvolvidos nesta região. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar as comunidades de invertebrados cavernícolas, bem como ter a iniciativa de propor um critério para a classificação destes organismos quanto ao grau de raridade em um contexto regional. Ao todo, 296 cavernas foram inventariadas e os seguintes parâmetros biológicos foram avaliados: riqueza total e de troglóbios; complexidade ecológica, diversidade e similaridade entre as cavernas. Frente a estes parâmetros, foram testadas as seguintes variáveis ambientais: desenvolvimento linear, extensão das entradas, grau de impactos e distância entre as cavernas e as áreas de mineração. Para a análise de raridade foram propostas quatro formas de raridade, bem como parâmetros para a determinação de espécies acidentais bem como fatores ambientais que podem influenciar na ocorrência destas. Ao todo foram encontrados 85.205 invertebrados distribuídos em 1.574 espécies, pertencentes a 44 ordens e pelo menos 246 famílias. A riqueza média foi de 35 espécies ($\pm 19,1$) por caverna. A diversidade média obtida foi 2,46 ($\pm 0,51$) e o valor de complexidade média foi de 3,67 ($\pm 3,87$). Em relação à similaridade faunística, os valores variaram de zero até 72% e não foi possível observar a ordenação clara de grupos ou discontinuidades entre as cavernas. A riqueza total de invertebrados e o índice de complexidade ecológica mostraram-se positiva e significativamente relacionados ao desenvolvimento linear das cavidades e a diversidade com a distância entre os empreendimentos minerários. A riqueza de espécies troglóbias apresentou uma forte correlação com a riqueza geral, com a diversidade, com a complexidade ecológica e com a distância entre as cavidades e as minerações. Em relação aos impactos ambientais observados no interior das cavidades, estes se demonstraram positivamente relacionados com o tamanho das cavidades e os impactos externos apresentaram uma relação negativa com a distância entre as minerações. No total foram encontradas 79 espécies troglomórficas e a relação entre espécies troglóbias e cavernas inventariadas foi de 0,27 spp./caverna. Das 1.574 espécies coletadas, 541 (34%) foram consideradas acidentais. A análise de regressão permitiu observar a existência de uma relação positiva e significativa entre o número de espécies acidentais e a presença de rios subterrâneos. Das 1.033 espécies (66%), apenas 15 espécies (1,5%) foram consideradas comuns. Destas, 1.018 (98,5%) enquadraram-se em algum tipo de raridade: 358 espécies (34,7%) foram classificadas como raras do tipo 1; 186 spp. (18,3%) como raras do tipo 2;

84 spp. (8,2%) como raras do tipo 3 e 390 spp. (38,3%) como raras do tipo 4. O estimador de riqueza permitiu verificar uma forte influência das espécies acidentais na riqueza estimada para a região. Desta forma, o presente trabalho representa o mais abrangente estudo já realizado em uma única área cárstica no país e a quantidade de espécies troglóbias encontradas representa uma parcela significativa das espécies troglóbias conhecidas para as cavernas brasileiras.

Palavras-chave: Carste; Arcos, Pains e Doresópolis; Cavernas; Diversidade de invertebrados; Espécies raras.

2 ABSTRACT

The karstic region of Arcos, Pains and Doresópolis (MG) is considered the largest concentration of caves in Brazil with 1,200 caves registered. In spite of its relevance and of the presence of imminent anthropic pressure, little biospeleological research has been developed. The objectives of this study are to characterize the communities of cave invertebrates, as well as to propose a criterion for the classification of these organisms considering their degree of rarity in a regional context. Two hundred ninety six caves have been catalogued and the following biological parameters have been analyzed: total richness, troglobite richness, ecological complexity, diversity and similarity between the caves. In the presence of these parameters, the following environmental variables have been tested: linear development, extension of the entrances, degrees of impact and distance between the caves and the mining areas. Four kinds of rarity have been proposed for the rarity analysis, as well as parameters for the determination of accidental species and environmental factors that can influence on their occurrence. There have been found 85,205 invertebrates distributed among 1,574 species, belonging to 44 orders and at least 246 families. The average richness equaled 35 species (± 19.1) for each cave. The average diversity equaled 2.46 (± 0.51) and the value of the average complexity equaled 3.67 (± 3.87). Ten values of faunistic similarity varied from zero to 72% and it has not been possible to observe the clear organization of groups or discontinuities between the caves. The analysis demonstrated the total richness of invertebrates and the ecological complexity index to be positively and significantly related to the linear development of the caves, the same kind of relation found between the diversity and the distance between the caves and the mining areas. The environmental impacts observed inside the caves showed themselves to be positively related to the size of the caves and the external impacts presented a negative relation with the distance between the mining areas. Seventy nine troglomorphic species have been found, and the relation between the troglobite species and caves catalogued equaled 0.27 spp./cave. From a total of 1,524 species collected, 541 (34%) have been considered accidental. The regression analysis permitted the observation of the existence of a positive and significant relation between the number of accidental species and the presence of underground rivers. From 1,033 species (66%), only 15 (1.5%) have been considered common, and 1,018 (98.5%) have been considered rare of some type: 358 species (34.7%) have been classified as rare of type 1, 186 spp. (18.3%) as rare of type 2, 84 spp. (8.2%) as rare of type 3 and 390 spp. (38.3%) as rare of type 4. The estimator of richness permitted to verify a strong influence of the accidental species on the richness estimated for the region. Thus, the

present paper represents the most comprehensive study realized on a single karstic area in Brazil and the amount of troglobite species found represents a significant part of the troglobite species known for the Brazilian caves.

Key-words: Karst; Arcos, Pains and Doresópolis; Caves; Invertebrate diversity; Rare species.

3 INTRODUÇÃO

Cerca de 10 a 15% da superfície terrestre do planeta compreendem áreas cársticas que ocorrem principalmente em rochas carbonáticas como calcário, dolomito e mármore (Ford & Williams, 2007). Estas são caracterizadas como complexos geológicos dinâmicos em constante modificação, principalmente pela ação da água que atua na formação, moldagem e deposição de inúmeras feições (Gibert et al., 1994). Entretanto, desde a década 80 o termo carste tem sido empregado também para rochas consideradas de baixa solubilidade, mas que apresentem feições geomorfológicas derivadas de processos de dissolução através do intemperismo químico (Hardt et al., 2009). Litologias anteriormente desprezadas do ponto de vista espeleológico, como quartzitos, arenitos, granitos, minério de ferro entre outros, têm revelado grandes concentrações de cavernas em diferentes partes do mundo (Auler & Piló, 2005; Auler, 2004; Chalcraft & Pye, 1984; Doerr, 1999; Jennings, 1983).

A maioria das cavernas são subunidades das paisagens cársticas e uma importante via para a realização de estudos subterrâneos, sendo as macrocavernas (condutos maiores que 20 cm) os habitats mais utilizados para estudos bioespeleológicos (Howarth, 1983). As macrocavernas por si já demandariam uma infinidade trabalhos nas mais distintas regiões do mundo. No entanto, estas são apenas um dos componentes do ambiente subterrâneo representando uma parcela ínfima dos espaços interconectados. Estes ambientes se apresentam de maneira heterogênea quanto à sua morfologia sendo habitats importantes para uma ampla diversidade de organismos (Juberthie, 2000; Romero, 2009).

Os ambientes subterrâneos podem ser preenchidos por água ou ar e funcionam como sistemas abertos, física e troficamente, a uma série de intercâmbios com os sistemas adjacentes (Culver, 1982). No entanto, tais

ambientes possuem características singulares que os diferenciam dos ecossistemas epígeos. De maneira geral, são caracterizadas por uma elevada estabilidade ambiental e pela ausência permanente de luz (Culver, 1982; Poulson & White, 1969). Esta última característica restringe a produção primária a organismos quimioautotróficos e a raízes de espécies vegetais epígeas que atingem os sistemas subterrâneos. Entretanto, são raros os casos onde estes recursos constituem a base trófica destes ambientes (Howarth, 1983; Sarbu et al., 1996). Desta forma, os recursos alimentares presentes nos ecossistemas cavernícolas são, em sua maioria, provenientes dos ambientes epígeos (Culver, 1982).

Historicamente os ecossistemas subterrâneos por muito tempo foram considerados como ambientes extremos incapazes de abrigar uma fauna diversificada (Janine & Deharveng, 2002). Entretanto, sabe-se atualmente que paisagens cársticas podem exibir uma considerável diversidade baseada somente na fauna subterrânea. Alguns exemplos específicos incluem cavernas na América do Norte (EUA e ilhas Bermudas), Europa (Itália, França, Romênia, Eslovênia), Oceania (Austrália) e Ásia Tropical (Tailândia, Indonésia, Sumatra) (Culver et al., 2006; Culver & Sket, 2000).

Estes ambientes abrigam comunidades diversas compostas por uma grande variedade de grupos de invertebrados e alguns vertebrados, com variados graus de dependência do habitat hipógeo (Holsinger & Culver, 1988). No entanto, historicamente os estudos com organismos subterrâneos concentraram-se nas espécies que apresentam altos níveis de especialização (troglóbias) em virtude de suas adaptações morfológicas, fisiológicas e comportamentais que refletem processos intrigantes sobre a evolução da vida subterrânea (Culver, 1982; Danielopol et al., 1999; Ginet & Decou, 1977; Jeannel, 1926; Vandel, 1964).

Nas últimas duas décadas, estudos sobre organismos aquáticos subterrâneos têm se destacado, formando um importante ramo dentro da bioespeleologia (Danielopol et al., 1999; Gibert et al., 1994; Stanford & Simon, 1992; Stanford & Valett, 1994). No entanto, ainda são poucos os trabalhos que buscam compreender padrões de biodiversidade, principalmente sobre organismos terrestres, nos ambientes subterrâneos. Culver & Holsinger (1992) estimam que o número total de espécies troglomórficas esteja entre 50.000 e 100.000. No entanto, estes valores provavelmente sejam uma subestimativa, pois são baseadas em dados disponíveis para cavernas americanas e principalmente porque até o momento muitas áreas cársticas localizadas em regiões tropicais foram pouco estudadas (Deharveng & Bedos, 2000).

No Brasil, vários estudos têm revelado uma elevada diversidade e endemismos da fauna subterrânea em algumas regiões do país (Ferreira, 2004; Ferreira, 2005b; Gnaspini & Trajano, 1994; Pinto-da-Rocha, 1995; Prous & Ferreira, 2009; Souza-Silva, 2008; Trajano, 2000). Entretanto, a maioria destes estudos foram realizados dentro de unidades de conservação, como o Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (SP), Parque Estadual de Intervales (SP), Parque Nacional do Peruaçu (MG) e Parque Nacional da Serra da Bodoquena (MS) (Ferreira, 2003; Gnaspini et al., 1994; Trajano, 2000). Desta forma, grande parte do conhecimento bioespeleológico brasileiro encontra-se fragmentado em poucos estados e são poucos os trabalhos realizados em áreas de grande pressão antrópica sobre a biodiversidade subterrânea (Ferreira & Horta, 2001; Ferreira & Martins, 2001; Jordão-Silva, 2006; Souza-Silva, 2008).

A região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis, localizada no centro-oeste do estado de Minas Gerais, é considerada a maior concentração de cavernas do país com 1.200 cavidades cadastradas e a mineração representa a principal atividade econômica da região. Infelizmente, este tipo de atividade historicamente realizada de maneira desordenada tem alterado a paisagem

cárstica local provocando inúmeros impactos ambientais irreversíveis. Tais alterações vêm colocando em risco a preservação dos ecossistemas cavernícolas bem como toda a biodiversidade associada.

Apesar de sua relevância no contexto nacional e diante das iminentes pressões antrópicas, até o momento poucos estudos bioespeleológicos foram desenvolvidos na região sendo que os padrões de diversidade ainda são desconhecidos e apenas uma espécie troglóbia encontra-se oficialmente descrita (Álvares & Ferreira, 2002; Ferreira, 2004; Machado et al., 2001; Prous et al., 2004). Esta condição torna-se ainda mais preocupante tendo em vista as recentes mudanças na legislação de proteção ao patrimônio espeleológico brasileiro.

Até 2008 o decreto federal nº 99.556 (Brasil, 1990) era o instrumento legal que previa a proteção integral das cavidades naturais, estabelecendo uma série de exigências para garantir sua integridade física e equilíbrio ecológico. Entretanto, uma recente mudança na legislação através do decreto nº 6.640 (Brasil, 2008) dá uma nova leitura ao decreto anterior e passa a considerar as cavernas, de acordo com seu grau de relevância, passíveis de supressão por empreendimentos econômicos sendo sua classificação realizada através de informações obtidas durante a realização dos Estudos de Impacto Ambiental e baseada em atributos espeleológicos, geológicos, paleontológicos, biológicos, culturais entre outros. Dentre os parâmetros biológicos, vale destacar a presença de espécies troglóbias, cavernas com alta diversidade, ocorrência de troglóxenos obrigatórios além da ocorrência de espécies “*raras*”.

Entretanto, o conceito de raridade é relativo e passível de diferentes interpretações e definições (Gaston, 1994). O mesmo possui uma variedade de significados no uso comum, mas que no contexto de biologia de populações e comunidades a palavra é utilizada em um sentido restrito sendo que a definição mais simples consiste em considerar raras aquelas espécies quem têm baixa abundância e/ou distribuição geográfica restrita. Mesmo assim, ainda existe um

amplo arranjo de padrões espaciais e temporais de abundância, agrupados sob um mesmo conceito (Kunin & Gaston, 1997). Desta forma, o termo “raro”, apesar de amplamente difundido entre estudos bioespeleológicos, empregado especialmente para espécies troglóbias e agora incluído na nova legislação, não apresenta definições claras sobre as diferentes formas de raridade que permitam ou não a inclusão de uma espécie neste atributo.

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo contribuir para a ampliação do conhecimento ainda extremamente incipiente no país acerca da diversidade de invertebrados cavernícolas da região de Arcos, Pains e Doresópolis, bem como ter a iniciativa pioneira de propor um critério para a classificação dos organismos cavernícolas quanto ao grau de raridade em um contexto regional. Tal classificação foi baseada e adaptada do clássico trabalho de Rabinovtz (1986) que propõe sete formas de raridade.

4 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo geral caracterizar as comunidades de invertebrados cavernícolas associadas à região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG). Para tanto, buscou-se responder as seguintes questões:

- a) Qual é a riqueza, a composição, a diversidade e a similaridade ecológica das cavernas inventariadas?
- b) A riqueza, a diversidade e a complexidade ecológica estão relacionadas a parâmetros físicos das cavernas (desenvolvimento linear, número e extensão de entradas) e com impactos ambientais?
- c) Quais são os padrões de distribuição geográfica das espécies de invertebrados cavernícolas?
- d) Quais organismos podem ser categorizados como raros, quais são comuns e quais podem ser considerados possíveis acidentais?
- e) Qual a influência das espécies acidentais na estimativa da riqueza regional e que fatores ambientais influenciam a presença destas espécies nas cavernas?

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Área de Estudo

A região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis está localizada no centro-oeste de Minas Gerais, na porção sul do grupo carbonático Bambuí, distante 230 km de Belo Horizonte. Esta região insere-se na porção meridional do cráton São Francisco, onde afloram rochas carbonáticas, pelíticas e raros conglomerados (Magalhães, 1989). Os maciços estão intensamente controlados

pela estrutura, composta principalmente por fraturas, que produziu uma porosidade secundária bem desenvolvida e fundamental para a configuração de um modelo morfoestrutural da região (Piló, 1997).

O exocarste da região apresenta aspecto ruiforme e bastante erodido, com afloramentos calcários escarpados, estruturas com dobramentos, fraturas e falhas regionais. Destas condições resultaram maciços isolados recortados por inúmeros corredores de diáclases, separados por um relevo aplainado com presença de dolinas, uvalas, sumidouros, surgências e vales cegos. Estas feições fazem parte de um sistema complexo que contempla a existência de um grande número de cavidades naturais.

Até o momento foram identificadas aproximadamente 1.200 cavernas cadastradas nas bases de dados espeleológicos do Cadastro Nacional de Cavernas da Sociedade Brasileira de Espeleologia (CNC/SBE) e do Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (CECAV/ICMBio) (CECAV, 2009; SBE, 2009). Isto representa aproximadamente 17% do total de cavidades conhecidas no Brasil. Outro aspecto importante a ser ressaltado é que as cavernas utilizadas neste estudo estão inseridas em áreas remanescentes do bioma do Cerrado. Este bioma, considerado como um dos mais importantes *hotspots* para conservação da biodiversidade mundial e que deve receber atenção prioritária à conservação (Myers et al., 2000), compreende 62% do patrimônio espeleológico do país e é apontado como a maior lacuna de proteção no sistema brasileiro de unidades de conservação (Marra, 2008).

5.2 Procedimentos

Trabalhos relativos ao inventariamento da fauna cavernícola da região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis têm sido realizados desde o ano de 1999 pela equipe do Laboratório de Ecologia Subterrânea da Universidade Federal de

Lavras - UFLA, anteriormente sediado na Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, através de diferentes projetos de pesquisa. Neste período, 176 cavernas foram amostradas. Destes projetos, parte do material biológico encontra-se depositado na Coleção de Invertebrados Cavernícolas do Setor de Zoologia do Departamento de Biologia da UFLA e o restante encontra-se em poder de taxonomistas ou depositados em coleções de outras instituições de pesquisa, o que limitou sua utilização em sua totalidade. Nesta etapa do estudo todos os morfotipos depositados na coleção da Universidade Federal de Lavras foram comparados. Assim, foi possível organizar um banco de dados com as ocorrências e distribuição das espécies através do georreferenciamento de todas as cavidades.

A partir da definição das “lacunas” amostrais existentes na região, sendo estas consideradas como áreas sem estudos ou com grande concentração de cavernas e poucas amostradas, mais 104 cavernas foram inventariadas no período de janeiro a setembro de 2009. A estes foram incorporados dados de riqueza e ocorrência de espécies troglóbias referentes a 16 cavernas estudadas pela Profa. Maria Elina Bichuette da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e gentilmente cedidos para complementação do presente estudo. Desta forma, o estudo utilizou dados de 296 cavernas, o que corresponde a aproximadamente $\frac{1}{4}$ das cavernas conhecidas para a região (Figura 1).

Região Cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG)

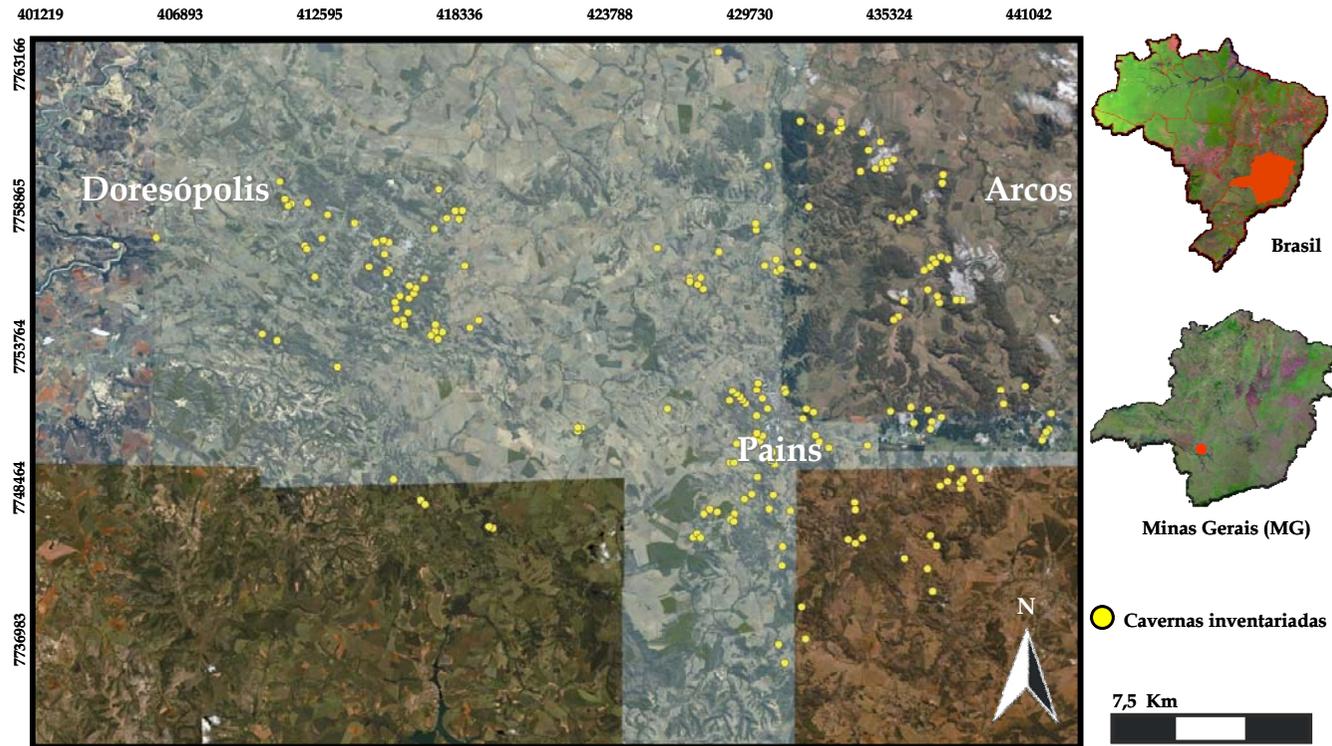


FIGURA 1 Imagem de satélite da região de Arcos, Pains e Doresópolis com a delimitação da área de estudo. Os pontos amarelos representam a localização das cavernas inventariadas. Fonte da imagem: (Google, 2009).

5.2.1 Coleta de invertebrados

Os invertebrados foram coletados manualmente em todos os biótopos potenciais de cada caverna, conforme metodologia proposta por Ferreira (2004). Neste método, o local de coleta de cada organismo observado é registrado em um mapa da cavidade de forma a gerar, ao final do inventário, informações concernentes à riqueza de espécies, diversidade e abundância relativa de cada população. No caso de espécies conhecidas, com caracteres morfológicos de fácil reconhecimento em campo e com populações abundantes, suas ocorrências foram apenas contabilizadas evitando uma superamostragem. Em cada caverna foi realizada uma procura visual detalhada priorizando microhabitats como matéria orgânica, depósitos de guano, espaços sob rochas e locais úmidos para a coleta dos invertebrados com o auxílio de pinças e pincéis. Todos os organismos coletados foram conservados em álcool 70%, posteriormente identificados até o menor nível taxonômico possível e separados em morfoespécies, sendo parte deste material encaminhado a especialistas. As coordenadas geográficas de cada caverna foram obtidas através de aparelho de GPS (WGS 89) e os pontos foram plotados sobre um mosaico de imagens de satélite da região obtidos através do software Google Earth Pro versão 4.2 e georreferenciadas através do programa computacional Arcview 9.0.

5.2.2 Análise dos dados

Uma vez que parte do material biológico coletado em projetos anteriores não se encontra disponível no Laboratório de Ecologia Subterrânea da UFLA, a riqueza total para a região aqui apresentada corresponde à diversidade biológica amostrada em apenas 167 cavernas. Para as análises de diversidade, complexidade ecológica, similaridade, raridade e para as estimativas de diversidade, utilizou-se o mesmo universo amostral, 167 cavernas. Entretanto, os valores de riqueza por caverna e os dados de riqueza e ocorrência de espécies

troglobóricas compreendem as 296 cavernas aqui estudadas. É importante ressaltar que todas as informações utilizadas no presente estudo procederam de inventários realizados a partir de procedimentos padronizados de acordo com a metodologia proposta por Ferreira (2004).

5.2.2.1 Composição, riqueza e distribuição de invertebrados

A riqueza total e a riqueza de espécies troglobóricas foram obtidas através do somatório do total de morfoespécies encontradas em cada caverna. A riqueza total é um fator relevante, já que em cavernas mais ricas podem ocorrer interações ecológicas mais complexas (Ferreira, 2004). Vale ressaltar que estudos recentes no Brasil têm utilizado a relativização da riqueza absoluta de modo a viabilizar comparações de estudos realizados em diferentes regiões do país e em cavernas de dimensões distintas (Souza-Silva, 2008). Apesar de conceitualmente interessante, já que busca reduzir a contribuição excessiva de comunidades para-epígeas ao considerar a extensão das entradas bem como o tamanho das cavidades, no presente estudo optou-se pela não relativização dos dados, uma vez que aproximadamente 70% das cavernas conhecidas na região possuem menos de 30 metros de extensão. Desta forma, a relativização da riqueza total, poderia favorecer a supervalorização de cavernas muito pequenas, com poucas espécies e ecologicamente simplificadas. Tal informação poderia provocar equívocos durante a definição de estratégias de conservação por órgãos gestores em virtude de uma condição singular desta região. Desta forma, outros parâmetros devem ser tomados como base para comparações com a biodiversidade local.

A diversidade de cada caverna foi calculada através do índice de Shannon & Wiener (H'). Trata-se de um índice não paramétrico baseado no conceito de equitabilidade e que mede o grau de incerteza em prever a que espécie pertencerá um indivíduo escolhido ao acaso, de uma amostra com S

espécies e N indivíduos. Quanto menor o valor do índice de Shannon, menor o grau de incerteza e, portanto, menor a diversidade da amostra (Magurran, 2004).

A análise da complexidade ecológica das cavidades foi realizada utilizando-se o Índice de Complexidade Ecológica em Cavernas (ICE) (Ferreira, 2004). Esta é definida como sendo a “Condição apresentada por uma comunidade em que suas espécies exibem um número potencialmente máximo de interações” (Ferreira, 2004). Segundo o autor, dentre as numerosas variáveis que influenciam os tipos de coexistência entre espécies e conseqüentemente suas interações, destacam-se o número de espécies (riqueza – S), o quão homoganeamente distribuídas estão as diferentes populações em termos de abundância relativa (equitabilidade – E) e quão homoganeamente distribuídas estão as diferentes populações em termos espaciais (valor médio de distribuição populacional – VMDP). Desta forma, por tais variáveis serem consideradas importantes na perspectiva da complexidade ecológica, estas foram escolhidas para compor o ICE. Tal índice foi modificado a partir do original e é apresentado abaixo:

$$\text{ICE} = \frac{D^2 \cdot E^2 \cdot S (\log S)^2}{100}$$

100

Para o cálculo do “valor médio de distribuição populacional” (VMDP), cada cavidade foi dividida em 10 setores, cada um correspondente a 1/10 do seu desenvolvimento linear. Tal divisão foi realizada diretamente nos mapas elaborados durante os trabalhos de campo, já com a distribuição de todos os organismos determinada (grau de detalhamento topográfico BCRA 3C ou croqui com correção métrica). Nos mapas de cada cavidade observou-se a distribuição de cada população presente. Esta distribuição foi convencionada como sendo correspondente ao número de setores ocupados por cada população. Com base

nestes valores de “ocupação” foram construídas matrizes que sumarizavam o número de setores ocupados por cada espécie. Quando se encontrava somente um indivíduo de uma determinada espécie, sua ocorrência era considerada “pontual” e o valor correspondente a esta distribuição na matriz era igual a zero. As espécies que ocupassem toda a cavidade recebiam o valor 10 (correspondente a 10 setores de ocupação). Caso a espécie ocupasse um setor marcava-se 1, e assim sucessivamente. Por fim, os valores de distribuição de cada espécie foram somados e divididos pelo número total de espécies, obtendo-se, desta forma, o valor médio de distribuição populacional. Os valores deste índice variam de zero a 10. Valores próximos a zero indicam cavidades onde praticamente todas as espécies se distribuem por toda a sua extensão, enquanto valores próximos a dez indicam cavidades onde praticamente todas as espécies possuem distribuição pontual (Ferreira, 2004).

No intuito de se obter uma visão geral da similaridade faunística entre as cavernas e avaliar se existem padrões de distribuição na região, foi utilizado o modelo de escalonamento multidimensional não-métrico. As cavernas foram agrupadas por municípios e ordenadas com base na distância Euclidiana (Magurran, 2004). Em seguida, utilizou-se a análise de similaridade (ANOSIM) para verificar diferenças significativas entre os grupos. Para a análise de similaridade entre as comunidades cavernícolas foi utilizado o índice quantitativo de Bray-Curtys (grupos pareados). Além de apresentar um melhor ajuste em relação aos dados obtidos e uma boa fidelidade de resultados, Bray-Curtys dá um peso maior às espécies dominantes, o que anula a interferência de espécies acidentais, e é largamente utilizado permitindo comparações com outros trabalhos (Magurran, 2004). As análises de riqueza, diversidade e similaridade foram realizadas com o software PAST versão 1.97 (Hammer et al., 2003).

5.2.2.2 Relações entre as variáveis bióticas e ambientais

A regressão linear foi utilizada para detectar possíveis relações entre a riqueza total de invertebrados, riqueza de espécies troglóbias, diversidade e complexidade ecológica com as seguintes variáveis: desenvolvimento linear das cavernas, extensão das entradas, grau de impactos e distância entre cavernas e áreas de mineração (Zar, 1996). A regressão linear também foi utilizada para detectar possíveis relações entre o grau de impacto do interior das cavernas e a extensão das entradas e a projeção linear das cavernas. Os impactos foram classificados conforme a metodologia proposta por Souza-Silva (2008) e realizadas com o auxílio de uma planilha de impactos (Apêndice 2 - Tabela 2B). Para determinar a distância entre as cavernas amostradas e as principais áreas de mineração utilizou-se o programa computacional Arcview 9.0 e imagens de satélite da região georreferenciadas.

5.2.2.3 Determinação de espécies troglóbias

A determinação de espécies troglóbias foi realizada através da identificação de características morfológicas denominadas “troglomorfismos”. Tais características, como redução da pigmentação melânica, redução das estruturas oculares, alongamento de apêndices, dentre outras, são utilizadas frequentemente para a maioria dos grupos, uma vez que resultam de processos evolutivos ocorrentes após o isolamento de populações em cavernas. As características utilizadas para estes diagnósticos, no entanto, diferem no caso de organismos pertencentes à taxa distintos. Certos grupos, por exemplo, possuem espécies sempre despigmentadas e anoftálmicas, mesmo no ambiente epígeo (*e.g.* Palpigradi). Nestes casos, os troglomorfismos são mais específicos (alongamento dos flagelômeros, aumento no número de órgãos frontais e laterais, dentre outros). Desta forma, é necessário conhecer a biologia de cada grupo no intuito de diagnosticar efetivamente a existência ou não de

trogloformas. Portanto, os organismos identificados no presente estudo como troglomórficos foram considerados como troglóbios efetivos em virtude do elevado grau de evolução morfológica ao ambiente subterrâneo.

5.2.2.4 Análise de raridade: espécies acidentais, espécies comuns e os tipos de raridade

A análise de raridade para as espécies encontradas foi adaptada dos atributos propostos por Rabinowitz et al. (1986), que incorporam três dimensões reconhecidas em função dos seguintes atributos: i) Amplitude da distribuição geográfica da espécie (ampla ou restrita); ii) Condição de abundância da população local (comum ou incomum); iii) Grau de especificidade ao habitat (baixa ou alta). No entanto, como a maioria dos organismos cavernícolas é considerada generalista e o alimento é um fator determinante na estrutura das comunidades, esta última dimensão foi excluída da análise. Vale destacar ainda que a inclusão desta dimensão resultaria no acréscimo de mais três tipos de raridades formando grupos pequenos, não permitindo uma análise clara dos resultados. Além do que, o conceito de especificidade de habitat não foi considerado pelo decreto nº 6.640 (Brasil, 2008), sendo definido como raros apenas as espécies não-troglóbias com distribuição geográfica restrita e pouco abundante. Apesar de as variáveis abundância e distribuição serem consideradas variáveis contínuas, por conveniência de classificação foram dicotomizadas conforme Rabinowitz et al. (1986). Desta forma, a combinação de dois fatores, distribuição e abundância, resultaram em uma matriz de quatro células, e a cada uma delas foi associado um dos quatro tipos de raridade aqui propostos.

Para realizar a análise, primeiramente foram identificadas todas as espécies que apresentaram apenas um indivíduo amostrado. Estes organismos foram considerados como acidentais e, portanto, excluídos da análise. Em seguida foram determinados, de forma arbitrária, os valores de corte para cada

tipo de raridade. Assim, foi definida a seguinte classificação para as quatro formas de raridade: **Raridade Tipo 1:** Espécies com abundância superior a 10 indivíduos e que apresentaram uma distribuição superior a duas cavidades. Trata-se da forma mais branda entre todas aqui propostas. **Raridade Tipo 2:** Espécies que apresentaram abundância entre 2 e 10 indivíduos e que estavam presentes em mais de duas cavidades. Esta forma de raridade é composta principalmente por espécies pouco abundantes. **Raridade do Tipo 3:** Espécies com abundância superior a 10 indivíduos e que foram restritas a apenas uma ou duas cavernas. Esta forma de raridade é composta principalmente por espécies com baixa distribuição. **Raridade do Tipo 4:** Espécies com abundância entre 2 e 10 indivíduos e que apresentaram distribuição restrita a uma ou duas cavidades. Esta corresponde à raridade mais extrema e é baseada na abundância e distribuição das espécies cavernícolas.

Por fim, as espécies que apresentaram ampla distribuição, acima de 50 cavernas, e populações extremamente abundantes, acima de 500 indivíduos, foram classificadas como espécies comuns na região. Durante a descrição dos resultados obtidos para cada tipo de raridade, grupos com melhor refinamento de identificação (famílias, gêneros ou espécies) foram apresentados.

Após a identificação das espécies acidentais, a análise de regressão linear simples foi utilizada para testar a relação entre número de espécies acidentais e o efeito de entradas (número de entradas e largura das entradas), e entre o número de espécies acidentais e o desenvolvimento linear das cavernas. A regressão múltipla foi utilizada para testar a relação entre número de espécies acidentais e a presença rios subterrâneos (Zar, 1996). A comparação entre as variáveis número de espécies acidentais e presença de rios subterrâneos foi realizada através do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis e representadas graficamente por *box plots*.

5.2.2.5 Estimativa da riqueza de espécies

Com o objetivo de comparar o efeito da inclusão de espécies acidentais na análise de estimativa de riqueza para as cavernas da região, duas estimativas foram realizadas, sendo uma com todas as espécies encontradas e outra excluindo a espécies consideradas acidentais. A inclusão de espécies acidentais neste tipo de análise pode resultar numa estimativa “inflada” uma vez que todas as espécies epígeas têm a mesma possibilidade de ocorrerem acidentalmente no ambiente subterrâneo. Desta forma, a estimativa realizada estará considerando também a biodiversidade externa e provavelmente nunca apresentará uma tendência de estabilização.

Assim, a riqueza de 167 cavernas foi estimada com e sem a inclusão das espécies acidentais através da utilização do estimador não paramétrico de riqueza Jackknife 1. Este estimador é baseado no número de uníques sendo adequado para grandes amostragens (Colwell, 1997). Para tal, os dados foram aleatorizados 100 vezes com objetivo de remover o efeito de ordem de amostra produzindo uma curva lisa de acumulação de espécies permitindo uma comparação mais precisa das duas situações (95% de confiança). As estimativas foram realizadas com auxílio do software EstimateS 8.0 e o cálculo do intervalo de confiança bem como o gráfico foram realizados com o software Estatística versão 7.0.

É preciso ressaltar que apesar das espécies consideradas acidentais terem sido excluídas da análise de raridade e comparadas frente ao estimador de riqueza, optou-se por não excluí-las nas análises gerais de diversidade. Apesar da ampla amostragem, o esforço amostral deste trabalho restringiu-se a uma única coleta. Desta forma, não é possível ainda ter certeza sobre a verdadeira condição acidental destas espécies. Além disso, vale lembrar que tais organismos, mesmo acidentais, possuem uma função ecológica dentro do sistema e podem servir como recurso para outros organismos cavernícolas.

6 RESULTADOS

6.1 Composição, riqueza e distribuição de invertebrados

Durante o estudo foram avaliados aproximadamente 16.430 metros de galerias subterrâneas. O desenvolvimento linear médio das cavernas estudadas foi de 102,7m ($\pm 169,4$), o número máximo de entradas em uma única caverna foi igual a nove (Gruta Tamboril) e a extensão das entradas variou de 50 cm (Gruta Serra Azul) a 36 metros (Gruta do Depósito) de largura. Para 167 cavernas, foram encontrados 85.205 invertebrados distribuídos em 1.574 espécies, pertencentes a 44 ordens e pelo menos 246 famílias. Todos os táxons observados encontram-se de forma resumida no apêndice 1. Os insetos foram o grupo dominante entre os invertebrados com a maior riqueza (1.174 spp. – 75%) e abundância (64.858 indiv. – 76%). As ordens mais ricas foram Diptera (20 %), Coleoptera (12%), Hymenoptera, (10%) e Araneae (9%). As famílias com maior número de espécies em cada ordem podem ser observadas Figura 2:

Riqueza de invertebrados cavernícolas na região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG)

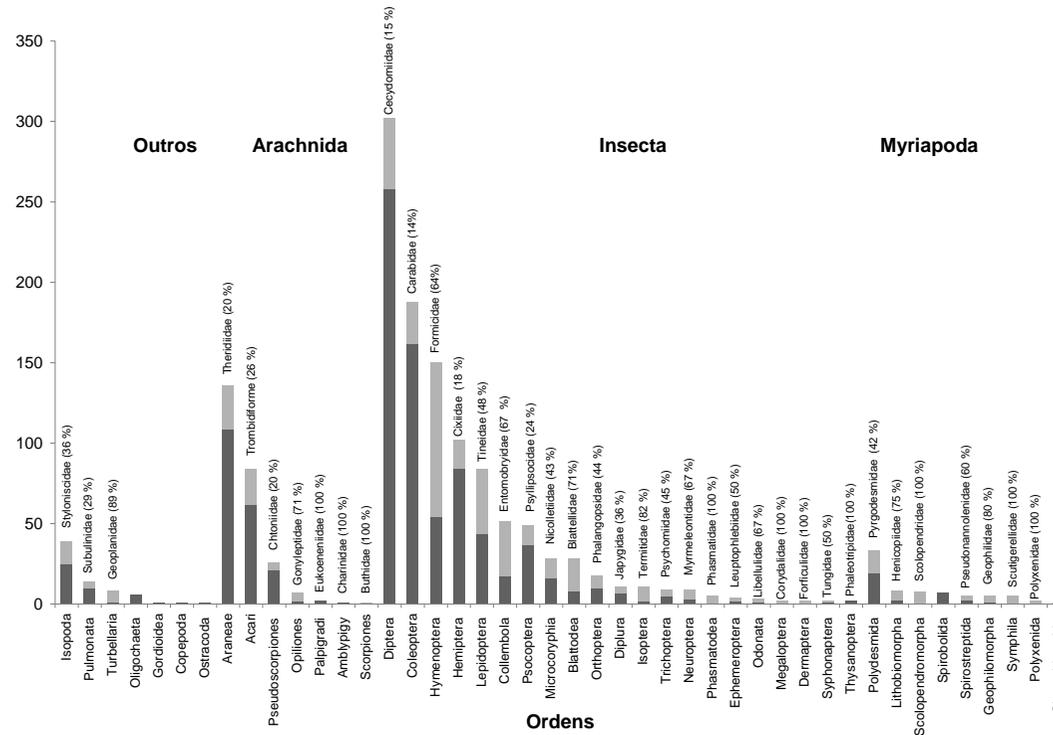


FIGURA 2 Riqueza de invertebrados cavernícolas na região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG). A barra em sua totalidade representa a riqueza de cada ordem; O segmento cinza claro de cada barra representa a família (entre parênteses) com maior riqueza em cada ordem.

Aranhas, hemípteros, dípteros e lepidópteros foram encontrados em mais de 95% das cavernas estudadas. Em relação à abundância dos organismos nos sistemas subterrâneos, Collembola foi a ordem mais abundante (12.378 indivíduos), seguida da ordem Araneae (9.613 indivíduos), Diptera (8.770 indivíduos) e Hymenoptera (6.278 indivíduos). Quanto aos padrões de distribuição, os aracnídeos são os invertebrados mais bem distribuídos pela região sendo as aranhas e opiliões os grupos mais representativos: *Enoploctenus cyclothorax* (Araneae: Ctenidae - 89,22%; 1.818 indiv.), *Mitogoniella taquara* (Opiliones: Gonyleptidae - 82,63%; 3.661 indiv.) e *Mesabolivar* spn. (Araneae: Pholcidae - 79,04%; 3.425 indiv.). Entre os outros grupos, apenas os barbeiros *Zelurus* sp. (Hemiptera: Reduviidae - 67,66%; 1.134 indiv.), os grilos *Endecous* sp. (Orthoptera: Phalangopsidae - 62,87%; 1.685 indiv.) e os miriápodes *Pseudonannolene* sp. (Spirostreptida: Pseudonannolenidae - 64,67%; 708 indiv.) apresentaram-se distribuídos em mais de 60% das amostras.

A riqueza média observada para a área de estudo foi de 35 (\pm 19,1) espécies por caverna. As grutas sumidouro da Loca D'Água (93 espécies - Município de Pains) e Marinheiros (91 espécies - Município de Pimenta) foram as que apresentam os maiores valores de riqueza. Ambas possuem menos de 200 metros de extensão e apresentam condições geomorfológicas e ambientais completamente distintas. A diversidade média obtida para a região foi 2,46 (\pm 0,51) e as cavernas Lanchonete de Coruja ($H' = 3,46$) e Cerâmicas ($H' = 3,38$) foram aquelas que apresentaram os maiores valores deste parâmetro. Em relação à complexidade ecológica das cavernas estudadas, a Gruta dos Marinheiros apresentou o maior valor de complexidade observado (ICE = 21,80) seguida pela Gruta Paranoá (ICE = 21,02). A complexidade média observada para as cavernas foi de 3,67 (\pm 3,87). Vale destacar que a Gruta Paranoá e a Gruta do Éden, apesar de estarem sob influência direta das áreas de mineração e apresentarem diferentes tipos de impactos, tanto em seu interior quanto em seu

entorno, apresentaram altos valores para riqueza, diversidade e complexidade ecológica ($S = 86$ e 78 spp.; $H' = 3,35$ e $2,84$; $ICE = 21,02$ e $12,60$, respectivamente).

Em relação à similaridade faunística entre as cavernas estudadas, os valores variaram de zero (mínima) até 72% (máxima) e o coeficiente de correlação cofenética obtido foi 0,80. A análise de nMDS não permitiu observar a ordenação clara de grupos ou discontinuidades existentes entre as 167 amostras. Esta condição foi corroborada pela análise de ANOSIM que não apresentou diferença significativa entre os grupos organizados de acordo com a distribuição das cavidades em função dos municípios. No entanto, vale a pena ressaltar que algumas grutas se destacam do conjunto geral. Dentre elas a gruta do Éden que apresenta uma comunidade biológica extremamente distinta das outras cavernas pesquisadas, com várias espécies raras e troglóbias (Figura 3).

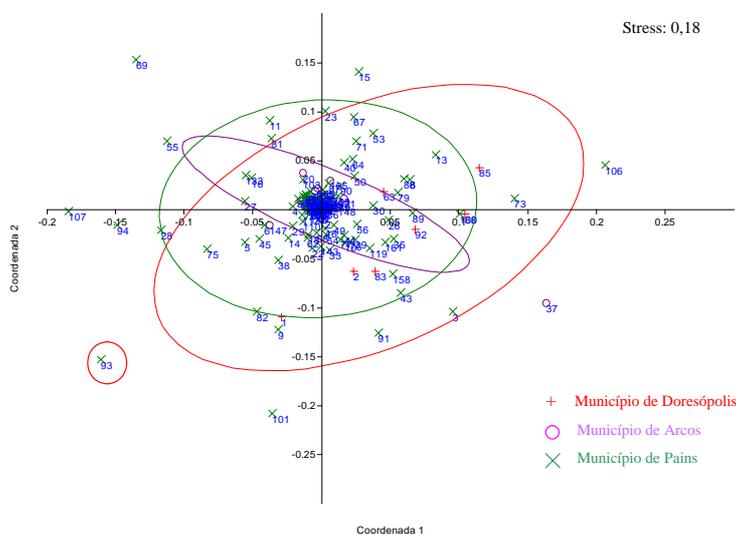


FIGURA 3 Análise de nMDS realizado com 167 cavernas da região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG). O círculo vermelho no canto inferior esquerdo indica a amostra n° 93 que representa a Gruta do Éden.

6.2 Relações entre as variáveis bióticas e ambientais

A riqueza total de invertebrados e o índice de complexidade ecológica mostraram-se positiva e significativamente relacionados ao desenvolvimento linear das cavidades ($F_{(1,15)} = 34,11$; $R = 0,42$; $R^2 = 0,18$; $p < 0,01$; e $F_{(1,15)} = 14,19$; $R = 0,29$; $R^2 = 0,08$; $p < 0,01$ respectivamente - Figuras 4 e 5). Esta análise também permitiu verificar uma relação positiva e significativa entre diversidade de invertebrados e distância entre os empreendimentos minerários ($F_{(1,15)} = 4,90$; $R = 0,17$; $R^2 = 0,03$; $p < 0,03$).

A riqueza de espécies troglóbias apresentou uma forte correlação positiva com a riqueza de invertebrados não troglóbias observados em cada cavidade ($F_{(1,15)} = 41,64$; $R = 0,46$; $R^2 = 0,21$; $p < 0,01$) (Figura 6), e ainda apresentou uma relação positiva com a complexidade ecológica dos sistemas ($F_{(1,15)} = 28,04$; $R = 0,39$; $R^2 = 0,15$; $p < 0,01$) (Figura 7), com a distância entre as cavidades e as minerações ($F_{(1,15)} = 6,22$; $R = 0,20$; $R^2 = 0,04$; $p < 0,01$) e com a diversidade de invertebrados cavernícolas ($F_{(1,15)} = 6,83$; $R = 0,20$; $R^2 = 0,04$; $p < 0,01$).

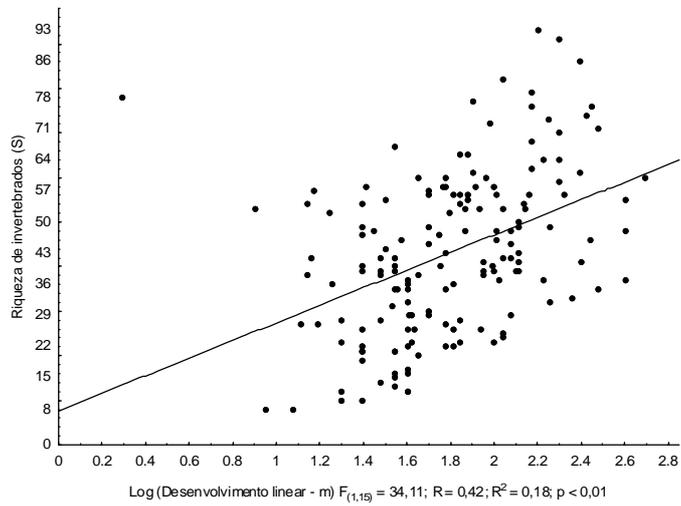


FIGURA 4 Regressão linear entre a riqueza de invertebrados e o desenvolvimento linear (log-m) das cavernas.

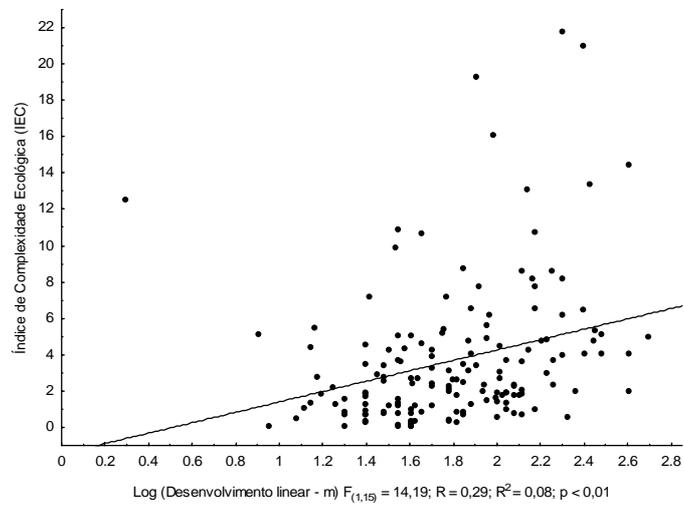


FIGURA 5 Regressão linear entre o Índice de Complexidade Ecológica (ICE) e o desenvolvimento (log-m) linear das cavernas.

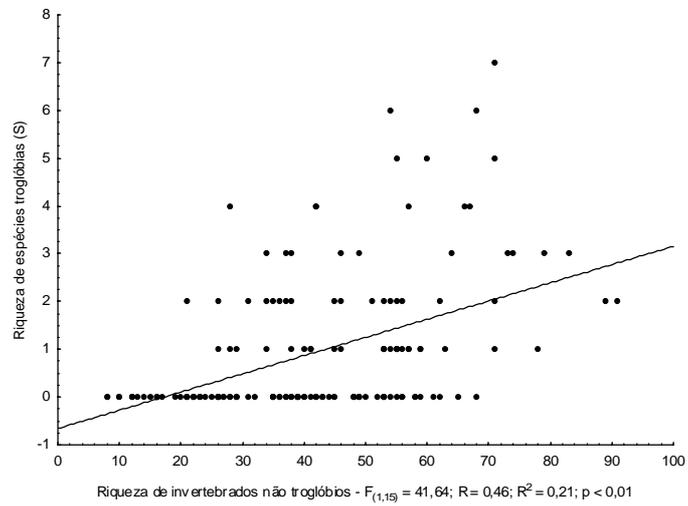


FIGURA 6 Regressão linear entre a riqueza de espécies troglóbias e a riqueza de invertebrados cavernícolas não troglóbios.

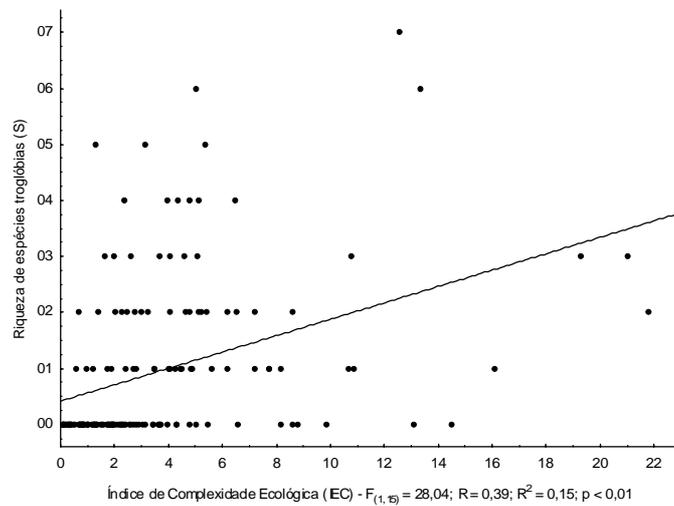


FIGURA 7 Regressão linear entre a riqueza de espécies troglóbias e o Índice de Complexidade Ecológica (ICE).

Em relação aos impactos ambientais observados no interior das cavidades, estes se demonstraram positivamente relacionados com o tamanho das cavidades ($F_{(1,94)} = 16,02$; $R = 0,38$; $R^2 = 0,15$; $p < 0,01$) (Figura 8), e os impactos externos apresentaram uma relação negativa com a distância entre as minerações ($F_{(1,94)}$; $R = - 0,25$; $R^2 = 0,06$; $p = 0,01$). Entretanto, vale destacar que, embora os valores acima citados sejam estatisticamente significativos, em alguns casos os valores de R são considerados baixos. Desta forma, a força das relações é pequena, sendo que a significância dos testes pode ter resultado de um número grande de amostras. Todas as demais combinações entre as variáveis testadas não foram estatisticamente significativas.

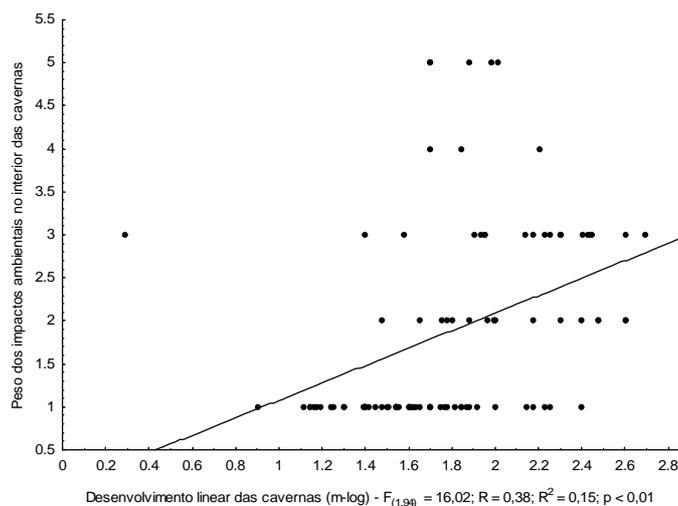


FIGURA 8 Regressão linear entre o peso dos impactos no interior das cavernas e o desenvolvimento linear (m-log) das cavernas.

6.3 Diversidade de espécies troglóbias

Das 296 cavernas inventariadas, 104 (35,1%) apresentaram espécies troglomórficas. A Gruta do Éden (8 spp.) e a Gruta Serra Azul (7 spp.) apresentaram as maiores concentrações de espécies troglomórficas na região e representam atualmente uma das maiores concentrações de espécies troglóbias conhecidas no país. Vale destacar ainda a gruta do Zizinho Beraldo, o Buraco dos Curiós e a Loca dos Negros II com seis espécies cada uma e a gruta Zé da Fazenda I onde foram encontradas cinco espécies troglomórficas. As grutas da CSN, dos Milagres, Cavalinho, Dimas I, Fazenda Amargoso, Fornos I, Vicente Amargoso e Cornélio III apresentaram quatro espécies cada. Outras 19 cavidades (6,4%) apresentaram três espécies, 23 cavidades (7,8%) apresentaram duas espécies e em 43 cavernas (14,5%) foram encontradas apenas uma espécie troglóbia.

No total foram encontradas 79 espécies troglóbias, sendo 78 espécies ainda não descritas, e a relação entre espécies troglóbias e cavernas inventariadas foi de 0,27 spp./caverna. Entretanto, salienta-se aqui que foram consideradas troglóbias somente aquelas espécies com troglomorfmismos evidentes. Sendo assim, o número efetivo de espécies troglóbias presentes na região, o que incluiria os chamados “troglóbios recentes”, pode ser superior ao relatado neste trabalho. No entanto, este reconhecimento só ocorrerá à medida que a biodiversidade epígea seja mais bem compreendida.

A ordem Isopoda foi a mais rica com 22 espécies, sendo que a família Styloniscidae destacou-se com 16 espécies morfológicamente distintas. Os coleópteros também apresentaram uma alta riqueza de espécies troglomórficas (15 spp.) distribuídos em apenas duas famílias: Carabidae (12 spp.) e Pselaphidae (03 spp.). Entre as aranhas, a família Ochyroceratidae (*Speocera* sp. - 4spp.) e Prodidomidae (*Lygromma* sp.) também apresentaram espécies

troglomórficas. Ainda entre os aracnídeos, uma nova espécie de opilião troglóbio (Gonyleptidae: Trichomatinae – *Liops* sp.) foi encontrada durante o estudo. Trata-se de um relicto biogeográfico com diferentes níveis de redução de estruturas oculares, o que demonstra que o caráter de redução de olhos ainda está sendo fixado na espécie. Vale destacar que na Gruta do Éden e na Gruta Serra Azul esta espécie apresentou grandes populações com centenas de indivíduos distribuídos ao longo nos sistemas. Populações grandes e bem estabelecidas desta espécie são raras, o que denota uma maior relevância para estas cavernas na região.

Dentre as espécies troglomórficas de ampla distribuição, destaca-se um diplopoda (Spirostreptidae: *Pseudonannolene* sp.) e um colêmbola (Arrhopalitidae: *Arrhopalites* sp.). Os *Pseudonannolene* apresentaram seus maiores valores de abundância na Gruta do Éden, estando associados principalmente aos bancos de areia presentes na galeria do rio. Tais organismos possuem elevados níveis de despigmentação e redução ocular. Entre os aracnídeos, a aranha *Lygromma* e o opilião *Liops* sp. são os organismos que apresentaram os maiores valores de distribuição sendo encontrados em mais de 10% das amostras.

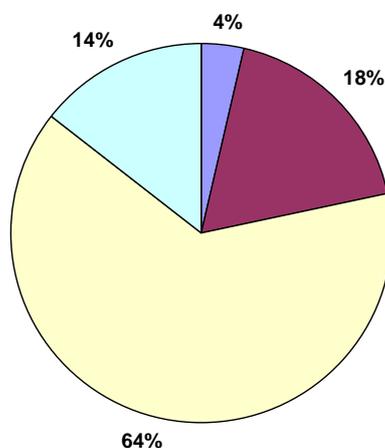
Alguns organismos troglomórficos aparentemente são raros nas cavernas da região, destes destacam-se os diplópodes Polydesmida (Cryptodesmidae – 3 spp.), traças (Nicoletiidae – 6 spp.), hemípteros (Cixiidae – 1 sp.; Scutelleridae – 1 sp.). As Ochyroceratidae foram encontradas apenas em quatro cavernas (Gruta Olhos D'Água, Gruta das Cerâmicas, Gruta Vicente Amargoso e Buraco dos Curiós). Além disso, merece um destaque especial uma espécie de formiga troglomórfica do gênero *Tapinoma* (Formicidae - Dolichoderinae) encontrada nas Grutas Lanchonete de Coruja, Fornos e do Tamanduazinho e uma nova espécie de barata troglóbia (*Litoblatta* ? sp.) encontrada na Gruta do Éden.

6.4 Análise de raridade: espécies acidentais, espécies comuns e os tipos de raridade

Espécies acidentais

Das 1.574 espécies coletadas, 541 (34%) espécies foram consideradas acidentais na região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis em virtude da ocorrência de apenas um espécime em 167 amostras. O máximo de espécies acidentais observadas em uma caverna foram 16 (Gruta Loca D'Água – Sumidouro). Seis cavernas (4%) apresentaram mais que dez espécies acidentais. Trinta cavernas (18%) apresentaram entre seis e dez espécies acidentais. 107 cavernas (64%) apresentaram entre 1 e 5 espécies acidentais e apenas 24 cavernas (14%) não apresentaram nenhuma espécie acidental (Figura 9).

Número de espécies acidentais em Cavernas na Província Espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG)



■ Cavernas com mais de 10 spp. ■ Cavernas com 6 a 10 spp. □ Cavernas com 1 a 5 spp. □ Cavernas com 0 spp.

FIGURA 9 Porcentagem de cavernas com ocorrência de espécies acidentais na região espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG).

Entre as espécies consideradas acidentais o maior número de ocorrências pertenceu à classe Insecta com 374 espécies (69,1%). Destes, 106 espécies eram dípteros (Culicidae = 11 spp.), 86 espécies eram coleópteros (Staphyllinidae – 33 spp.) e 34 himenópteros (Formicidae - 23 spp.). Vale destacar que algumas famílias apresentaram uma elevada quantidade de espécies acidentais em relação à riqueza total observada para o grupo. Destas, as que apresentaram valores iguais ou superiores a 75% de espécies acidentais em relação à riqueza total foram: Coleoptera: Byturidae, Cerambycidae, Chrysomelidae, Corylophidae, Erotylidae, Hydraenidae, Monotomidae, Ptilodactylidae, Scarabaeidae, Scydmaenidae e Tenebrionidae; Diptera: Agromyzidae, Calliphoridae, Chaoboridae, Ephydriidae, Lauxaniidae, Muscidae, Sphaeroceridae e Therevidae; Hemiptera: Pentatomidae; Hymenoptera: Formicidae (*Amblyopone* sp.) e Ichneumonidae; Thysanoptera.

Ainda entre os insetos, algumas famílias recorrentes nos ecossistemas cavernícolas, especialmente dípteros, apresentaram elevadas porcentagens de espécies acidentais: Mycetophilidae (53%), Chironomidae (50%), Drosophilidae (50%), Blattellidae (42%), Sciaridae (38%), Ceratopogonidae (37%), Milichiidae (35%) e Culicidae (32%).

Dentre os aracnídeos, 72 espécies (13,3%) foram consideradas acidentais. Destes, 50% eram aranhas, das quais vale destacar os seguintes gêneros: *Micrathena* (Araneidae), *Attacobius* e *Castianeira* (Coriniidae), *Phoneutria* (Ctenidae), *Erigone* (Linyphiidae), *Gelanor* (Mimetidae), *Opopaea deserticola* e *Gamasomorpha* (Oonopidae), *Coleosoma* e *Chthonos* (Theridiidae), além das espécies das famílias Drymusidae, Palpimanidae, Paratropidae e Tomisidae.

Entre os miriápodes, 25 espécies (4,6%) foram consideradas acidentais. Os grupos com maior representatividade de acidentais foram: Chelodesmidae e Polyxenidae (Diplopoda) e Geophilidae (Quilopoda). Entre os grupos com

menor riqueza, os isópodes apresentaram seis espécies acidentais (1,1%) distribuídos em duas famílias (Armadillidae e Philosciidae). Todos os outros invertebrados agrupados representaram 64 espécies acidentais (11,8%).

A análise de regressão não nos permitiu observar uma relação entre riqueza de espécies acidentais e o número e extensão das entradas nas cavernas estudadas, apesar dessa relação ser esperada. No entanto, observamos a existência de uma relação positiva e significativa entre o número de espécies acidentais e a presença de rios subterrâneos ($F_{(1,15)} = 44,44$; $R = 0,47$; $R^2 = 0,22$; $p = 0,00$). A análise de variância representada pelos *box plots* (Figura 10) permitiu verificar a existência de uma diferença significativa entre o número de espécies acidentais em cavernas com e sem rio ($H_{1,16} = 19,41$; $p < 0,01$).

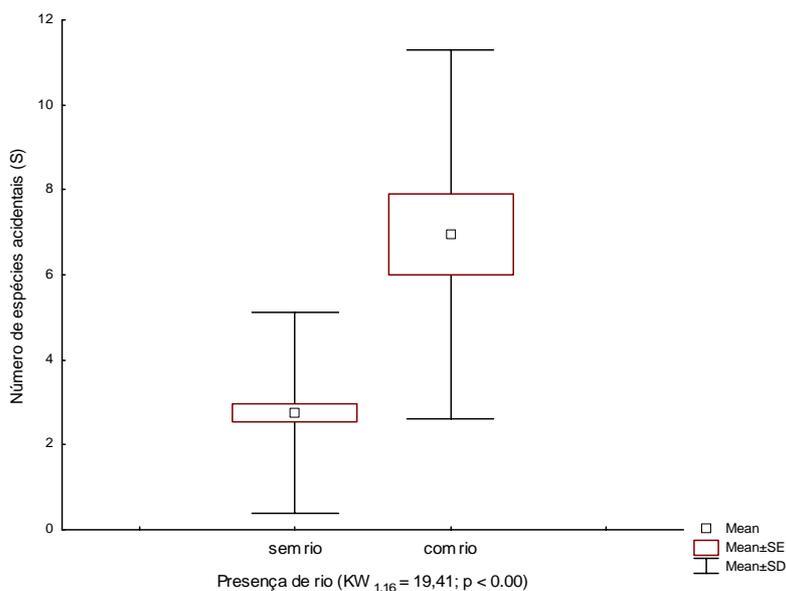


FIGURA 10 Comparação entre o número de espécies acidentais em cavernas com e sem rio.

Espécies comuns

Dentre todos os táxons amostrados, 1.033 (66%) foram considerados cavernícolas. Destes, 489 espécies (47,3%) apresentaram distribuição restrita ocorrendo em no máximo duas cavidades, sendo 238 uníques (23,1%) e 251 duplicates (24,2%). Em relação à abundância, 590 espécies (57,1%) apresentaram abundâncias totais entre 3 e 10 indivíduos.

Apenas 15 espécies (1,5%) foram classificadas como comuns em virtude da ampla distribuição e elevada abundância. Estas espécies apresentaram uma distribuição que variou entre 54 e 149 ocorrências sendo a maior parte representada por aracnídeos (60%). O máximo de espécimes comuns em uma única caverna foram 14 espécies (Gruta dos Milagres e Isaias) e o mínimo quatro. Segue os táxons considerados comuns na área de estudo: Araneae 7 spp. - *Alpaida* sp., *Enoploctenus cyclothorax*, *Isoctenus* sp., *Mesabolivar* spn., *Plato* sp., Salticidae sp., *Uloborus* sp.; Opiliones 2 spp. - *Mitogoniella taquara* e *Eusarcus hastatus*; Orthoptera 2 spp. - *Eidmanacris* sp., *Endecous* sp.; Collembola 1sp. - Entomobryidae sp.; Hemiptera 1sp. - *Zelurus* sp., Lepidoptera 1sp. - *Ipoena* sp.; Spirostreptida 1 sp. - *Pseudonannolene* sp. Estas espécies representam 26% dos invertebrados observados.

Tipos de raridade

Das 1.033 espécies de invertebrados, 1.018 (98,5%) enquadraram-se em algum tipo de raridade (Figura 11). Destas, 358 espécies (35,2%) foram classificadas como **Raridade Tipo 1**. A riqueza de espécies raras do tipo 1 variou entre 4 e 46 espécies em uma mesma caverna, sendo que os maiores valores correspondem às Grutas dos Marinheiros e Paranoá. Neste grupo predominaram os insetos (66%), dentre eles os dípteros (59 spp.), himenópteros (Formicidae - 35 spp.), lepidópteros (24 spp.) e coleópteros (13 spp.). Entre os aracnídeos foram observados 35 spp. (16,5%). Neste grupo, vale destacar a

ocorrência da única espécie de palpigradi (*Eukoenia florenciae*) e as aranhas *Lasiadora* sp., *Loxosceles anomala* e *L. similis*, *Magula obesa*, *Matta* sp., *Masteria* sp., *Metagonia* sp., *Natlo* sp., *Nesticodes rufipes*, *Platnickina mneon*, *Ochirocera* sp., *Oonops* sp., *Scytodes* sp., *Symphytognata carstica*, *Theridion bergi*, *Theotima* sp., *Thymoites* sp. e *Triaeris stenaspis*.

Entre os troglóbios, nove espécies troglomórficas (11% do total de troglóbios incluindo a aranha *Lygromma* sp., o opilião *Liops* sp., o diplópode *Pseudonannolene* sp., uma espécie de coleóptero Pselaphidae, um colêmbolo *Arrhopalites* sp. e as espécies de isópodes *Trichorhina* sp.) foram enquadradas neste tipo de raridade. Neste grupo, vale destacar os sínfilos, que das cinco espécies observadas de dois gêneros distintos, quatro espécies se ajustaram nesta categoria.

No grupo de **Raridade Tipo 2** foram classificadas 186 spp. (18,3%). A maior riqueza observada para este grupo foram 13 espécies (Gruta Tio Rafa II), sendo que 15 cavernas não apresentaram nenhuma espécie deste tipo. Os insetos foram a classe mais representativa (112 spp. – 60,2%) seguidos pelos aracnídeos (35 spp. – 18,8%). Neste grupo, foram classificadas algumas ordens que apresentaram apenas uma ou duas espécies em toda área de estudo, dentre eles os amblipígeos (*Charinus* spn.), os escorpiões (*Tytius brasiliae*), os pseudoscorpídeos (Geogaripidae 2 spp.) e os himenópteros Driinidade. Entre as aranhas vale destacar *Acanthoscurria* sp., *Azilia histrio*, *Deinops* sp., *Ero* sp., *Nephila clavipse*, *Prorachias* sp., *Physocyclus globosus*, além das famílias Licosidae, Hahniidae e Segestridae. Com relação às espécies troglomórficas foram observadas quatro espécies (5%), sendo três isópodes dos gêneros *Trichorhina* (2 spp.) e *Pectenoniscus* (1sp.) e uma espécie de coleóptero (Pselaphidae).

A proporção de espécies que apresentaram a **Raridade do Tipo 3** é de 8,2% (84 spp.). A riqueza de espécies do tipo três variou entre 3 e 10 espécies,

sendo que a gruta do Éden representa a maior concentração de espécies deste tipo (10 spp.). Este é o grupo de menor representatividade, mas que incluiu seis espécies troglóbias (8%): (Isopoda: Styloniscidae – 2 spp.; Coleoptera: Carabidae – 2 spp.; Hymenoptera: Formicidae - *Tapinoma* sp.; Blattodea: Blattellidae – *Litoblatta?* sp.) e algumas espécies restritas a uma única caverna, dentre eles os crustáceos epicársticos (Ostracoda sp., Copepoda sp.), a planária exótica *Bipalium kewense* e o cupim *Syntermes* sp.

O mais extremo nível de raridade está denominado como **Raridade do Tipo 4** e inclui espécies com baixa abundância e distribuição extremamente restrita. No entanto é o grupo mais representativo com 390 espécies (38,3%). As Grutas dos Marinheiros e a do Éden compreendem as maiores riquezas deste grupo (15 espécies). As proporções entre as classes de invertebrados também se mantiveram constantes neste grupo, sendo os insetos os mais representativos com 257 spp. (66%). Neste, estão inclusos a maioria dos troglóbios (76%), dentre eles os isópodes Styloniscidae, as aranhas *Speocera*, traças Nicolettiidae, os coleópteros (Carabidae e Pselaphidae) incluindo o *Coarazuphium pains*, os diplópodes Cryptodesmidae e a única espécie de *Eukoenenia* troglomórfica amostrada representada por um único indivíduo coletado da Gruta Cazanga. Entre os organismos não troglóbios, vale destacar uma formiga do gênero *Octostruma*, o diplópoda Glomeridesmida e 50% das espécies de escolopendromorphos. Os psocópteros apresentaram vários táxons, entre eles os gêneros *Tapinella* (Pachytractidae), *Mesocaecilius* (Myopsocidae) e *Triplocania* (Ptiloneuridae) e entre as aranhas as famílias Amaurobiidae, Linyphiidae (*Dubiaranea* sp.), Míturgidae, Mysmenidae (*Mysmena* sp.), Nesticidae (*Nesticus* sp.) e Theridiidae (*Chryssa* sp. e *Dipoena* sp.).

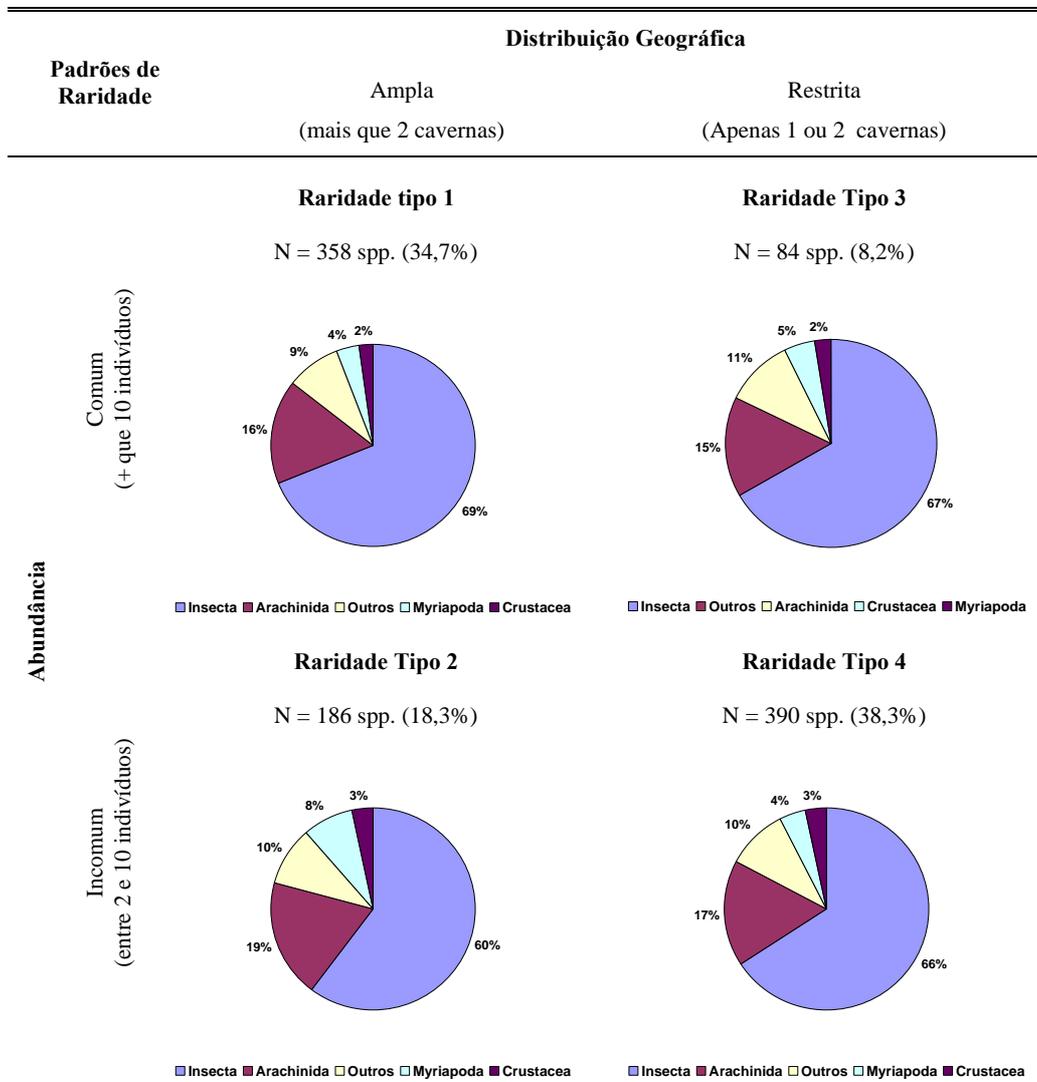


FIGURA 11 Distribuição de espécies de invertebrados cavernícolas entre os quatro tipos de raridade; Quantidades de espécies raras (n) são mostradas também como porcentagem do total (1.018 spp.).

6.5 Estimativas de diversidade

A riqueza estimada para 167 cavernas considerando todas as 1.574 espécies, o que inclui as espécies consideradas acidentais, foi de 2.348 espécies. Desta forma, provavelmente teríamos amostrado 67% da riqueza esperada para a região. No entanto, consideramos durante a análise de raridade que 541 táxons (34%) podem ser compostos por espécies acidentais. Desta forma, ao realizarmos uma nova estimativa excluindo as espécies consideradas acidentais, o valor obtido foi 1.270 espécies. Assim, teríamos amostrado 81% (1.033 spp.) da riqueza esperada para as cavernas da região. A análise gráfica permite verificar uma diferença significativa entre a riqueza esperada para as cavernas da região com e sem a inclusão de espécies acidentais. Neste caso, percebe-se uma tendência a estabilização da curva do coletar sem a inclusão de espécies acidentais quando o esforço de coleta se aproxima de 100 amostragens. Com a inclusão de todas as espécies amostradas, as 167 cavernas inventariadas não são suficientes para a curva do estimador apresentar uma tendência a estabilização (Figura 12).

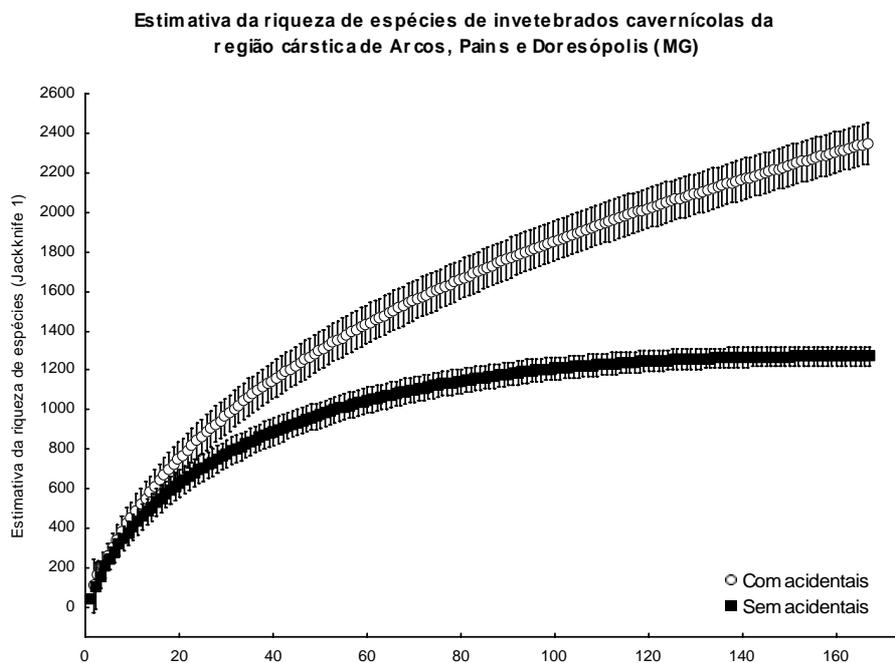


FIGURA 12 Comparação das estimativas da riqueza de invertebrados cavernícolas em 167 cavernas inventariadas na região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG).

7 DISCUSSÃO

7.1 Composição, riqueza e distribuição de invertebrados

Apesar de grande parte dos estudos bioespeleológicos já desenvolvidos no mundo estarem concentrados na Europa e América do Norte em virtude da existência de grandes áreas cársticas e de contextos históricos no desenvolvimento desta ciência, estudos em regiões tropicais têm revelado uma alta diversidade de espécies associadas aos ambientes subterrâneos (Chapman, 1980; Culver & Sket, 2000; Deharveng & Bedos, 2000; Gnaspini & Trajano, 1994; Howarth, 1973; Humphreys, 1993). Embora o número de espécies

troglóbias conhecidas até o momento seja expressivamente maior nas altas latitudes do hemisfério norte, é esperado que com o investimento em pesquisa em regiões tropicais ocorra um aumento na biodiversidade subterrânea na proporção inversa à latitude, assim como ocorre nos ambientes epígeos (Romero, 2009; Trajano, 2004).

O Brasil está entre os dezessete países no mundo considerados megadiversos. Estes reúnem em seu território imensas variedades de espécies animais e vegetais e sozinhos detêm 70% de toda a biodiversidade global. No entanto, estudos sobre a biodiversidade subterrânea brasileira são recentes, mas têm apresentado um rápido progresso nos últimos 30 anos. Entretanto, estes se encontram fragmentados e concentrados em algumas poucas áreas cársticas do país sendo que poucas regiões foram contempladas com amplos levantamentos bioespeleológicos (Ferreira, 2003; Rocha, 1994; Souza-Silva, 2008; Trajano, 2000).

Na região espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis, assim como em outros estudos realizados em cavernas de diferentes regiões do país, os grupos mais diversos e comumente encontrados nos ecossistemas cavernícolas são representados por organismos que apresentam hábitos alimentares detritívoros ou predadores generalistas, capazes de encontrar alimento nestes ambientes com recursos escassos e pouco diversificados (Gnaspini & Trajano, 1994; Jordão-Silva, 2006; Rocha, 1995; Souza-Silva, 2008; Trajano, 2000). Além disso, tais grupos apresentam ampla ocorrência epígea, o que favorece a colonização do meio subterrâneo. Dentre eles, os opilões (Gonyleptidae), aranhas (Ctenidae, Pholcidae, Salticidae), grilos phalangopsídeos (*Eidmanacris* sp., *Endecous* sp.), colêmbolos (Entomobryidae), hemípteros (*Zelurus* sp.), lepidópteras (*Ipoena* sp.) e diplópodes (*Pseudonannolene* sp.) também ocorrem em diferentes regiões do país (Ferreira, 2003; Ferreira, 2005b; Gnaspini & Trajano, 1994; Jordão-

Silva, 2006; Pinto-da-Rocha, 1994; Souza-Silva, 2008; Trajano, 2000; Zampaulo & Ferreira, 2009; Zeppelini-Filho et al., 2003).

Em relação ao número total de espécies observadas, a região de Pains apresentou uma alta riqueza tendo em vista o pequeno desenvolvimento linear das cavernas da região quando comparadas a outras áreas cársticas do país. No entanto, tais comparações são limitadas pelo emprego de métodos distintos no acesso à biodiversidade subterrânea (Gnaspini et al., 1994; Jordão-Silva, 2006; Rocha, 1994; Trajano, 2000). Souza-Silva (2008) encontrou 1.938 espécies em 103 cavernas amostradas utilizando a mesma metodologia aqui empregada. No entanto, este trabalho foi realizado em cavernas distribuídas ao longo de todo o bioma de Mata Atlântica incluindo cavernas de amplas dimensões.

Em relação à riqueza de espécies, os valores observados para as Grutas da Loca D'Água e Marinheiros devem ser considerados expressivos quando comparados a outras cavernas brasileiras. Atualmente as Grutas do Janelão (275 spp. – Minas Gerais), de Maquiné (177 spp. – Minas Gerais), do Brejal (171 spp. – Minas Gerais), o Sistema Areias (118 spp. - São Paulo) e a Gruta Lapão de Santa Luzia (107 spp. - Bahia) representam as maiores riquezas registradas para as cavernas brasileiras (Ferreira, 2003; Souza-Silva, 2008; Trajano, 2007a). No entanto, a maioria destas cavernas possui grande extensão (à exceção da gruta de Maquiné), além de terem sido inventariadas em mais de um episódio de coleta (à exceção da gruta Lapão de Santa Luzia). Já as grutas do presente estudo, consideradas de pequeno porte, que não ultrapassam 200 metros de desenvolvimento, foram amostradas em um único episódio de coleta.

No entanto é preciso ressaltar que a riqueza observada para a gruta dos Marinheiros pode ter resultado da influência de comunidades para-epígeas em virtude da alta conectividade, número e extensão das entradas desta cavidade com ambiente epígeo. Comunidades para-epígeas são compostas por um conjunto de espécies que se distribuem preferencialmente em regiões próximas

às entradas das cavernas (Ferreira & Martins, 2001). Historicamente, tais comunidades são excluídas dos estudos bioespeleológicos por abrigarem uma ampla diversidade de animais que teoricamente não apresentam forte associação com o ambiente subterrâneo (Chapman, 1994). Nestas regiões, é comum a ocorrência de espécies epígeas e hipógeas, mas também espécies exclusivas deste ambiente de transição podendo apresentar importantes funções ecológicas (Prous et al., 2004). Desta forma, tais espécies não somente contribuem para um aumento na riqueza observada nas cavernas estudadas, mas podem possuir um papel importante no funcionamento dos sistemas.

Apesar dos índices de diversidade serem ainda pouco utilizados nos estudos bioespeleológicos brasileiros, os valores de diversidade observados nos permitem verificar que algumas cavernas amostradas na região apresentaram elevados valores de diversidade quando comparados a cavernas de outras regiões do país (Jordão-Silva, 2006; Souza-Silva, 2008; Zampaulo & Ferreira, 2009). Vale destacar ainda, que estes resultados de diversidade, assim como a riqueza média observada no presente estudo, podem ser utilizados como um referencial importante pelos órgãos ambientais para análise de processos de licenciamento ambiental na região.

Através do escalonamento multidimensional não-métrico e da análise de similaridade (ANOSIM) não foi possível verificar agrupamentos que pudessem relacionar a similaridade biológica com a distribuição geográfica das cavidades ou condições ambientais. Desta forma, os dados mostram claramente que não existem grupos taxonômicos que se distribuem preferencialmente por determinadas regiões (em Arcos, Pains ou Doresópolis), de modo que se pode considerar toda a região cárstica como “homogênea” em termos de composição faunística. Cavernas localizadas até mesmo em único maciço calcário apresentaram valores extremamente baixos de similaridade, enquanto que as Grutas V10, localizada nas proximidades do município de Pains, e a Gruta

Sumidouro da Caixa, no município de Arcos, foram as que apresentaram os maiores valores de similaridade. Tal condição já era esperada, uma vez que cavernas geograficamente próximas podem apresentar uma baixa similaridade biológica tendo em vista que as condições físicas e tróficas, com particularidades inerentes a cada caverna, são determinantes na composição e estrutura das comunidades cavernícolas (Culver, 1982).

7.2 Relações entre as variáveis bióticas e ambientais

A influência do tamanho das cavernas na riqueza de invertebrados cavernícolas e na complexidade ecológica dos sistemas era esperada, uma vez que cavernas maiores tendem a ser geomorfologicamente mais heterogêneas, o que provavelmente resulta em aumento da quantidade de micro-habitats para a fauna, bem como podem apresentar uma maior quantidade de recursos alimentares (Christman & Culver, 2001; Ferreira, 2004). No entanto, não foi possível observar uma relação direta entre a riqueza de invertebrados e o número e extensão das entradas, apesar destas representarem uma importante via para colonização e importação de recursos para o ambiente subterrâneo (Ferreira, 2004).

Em relação à riqueza de espécies troglóbias, observou-se que cavernas com condições ambientais mais favoráveis a evolução destas populações também apresentaram os maiores valores de riqueza, diversidade e complexidade ecológica. Em geral, cavernas com alta diversidade e complexidade ecológica normalmente apresentam condições ambientais mais estáveis e melhores condições geomorfológicas para a importação de recursos (Barr & Kuehne, 1971; Chapman, 1994; Ferreira, 2004; Holsinger & Culver, 1988; Howarth, 1983; Trajano, 2000). Desta forma, o investimento em estratégias de conservação direcionadas para cavernas com maior diversidade de

invertebrados cavernícolas, provavelmente resulte na proteção de um maior número de espécies troglóbias.

Cavernas mais distantes de áreas de mineração apresentaram maior diversidade quando comparadas às cavernas localizadas nas proximidades das minerações, indicando um possível efeito de alteração das comunidades subterrâneas advindas deste tipo de atividade. No entanto, o baixo valor de R indica que certamente outras variáveis (não consideradas) também exercem influência sobre o sistema observado. Entretanto, mesmo não existindo estudos detalhados sobre o efeito de empreendimentos minerários em relação às comunidades cavernícolas, parece real a possibilidade destes, em longo prazo, estarem causando impactos negativos diretos e indiretos sobre o sistema (Gomes et al., 2000).

A relação observada entre impactos no interior das cavidades e cavernas com maiores dimensões são decorrentes de atividades de visitação, uma vez que, cavernas maiores normalmente são mais atrativas para o turismo (Souza-Silva, 2008). Como praticamente todas as cavidades estudadas sofrem com efeitos do desmatamento e da mineração, os impactos do turismo desordenado, apesar de serem recorrentes em apenas algumas poucas cavernas, tendem a ser considerados como um peso diferencial em relação ao grau de conservação das cavidades estudadas. Vários tipos de impactos decorrentes da visitação podem afetar as comunidades cavernícolas, dentre eles, vale destacar as de ordem térmica (alteração nas condições micro-climáticas), física (pisoteamento, lixo, etc), química (liberação de CO₂) e biológica (introdução de organismos exóticos) (Huppert et al., 1993).

7.3 Diversidade de espécies troglóbias

Existem inúmeros registros de espécies de invertebrados troglomórficos encontradas pelo país e, apesar de existirem sobreposições entre estes registros, podemos citar como exemplo a ocorrência de 165 espécies para o estado de Minas Gerais, 180 espécies para cavernas inseridas no bioma de Mata Atlântica e 102 espécies para cavernas localizadas no bioma da Caatinga (Ferreira et al., 2009; Prous & Ferreira, 2009; Souza-Silva, 2008). Na clássica revisão sobre a fauna cavernícola brasileira, Rocha (1995) reuniu informações sobre a ocorrência de 97 espécies de invertebrados troglomórficos, dos quais apenas 20 espécies apresentavam-se oficialmente descritas. Desta forma, a riqueza de troglóbios observada no presente estudo representa uma parcela significativa da quantidade de espécies troglóbias atualmente conhecidas para o país, sendo que o coleóptero *Coarazuphium pains*, representa a única espécie formalmente descrita para a região aqui estudada (Álvares & Ferreira, 2002). Tal situação deve ser considerada como um indicativo importante de que a fauna troglóbia brasileira encontra-se ainda extremamente subestimada e que esforços para a descrição de novas espécies devem ser considerados de caráter emergencial (Ferreira et al., 2009).

Atualmente o Sistema Areias (composto pelas Cavernas Areias de Cima e Areias de Baixo e pela Ressurgência das Areias das Águas Quentes) com 20 espécies, localizado na área cárstica do Vale do Ribeira, e a Gruta Mina do Pico-08 com 15 espécies, localizada no quadrilátero ferrífero em Minas Gerais, representam as maiores concentrações de espécies troglomórficas conhecidas para o Brasil (Ferreira, 2005a; Trajano, 2007). Apesar da riqueza de espécies troglóbias observada na Gruta do Éden e na Gruta Serra Azul durante o presente estudo não serem tão expressivos, tais grutas apresentam um enorme potencial para novas ocorrências de espécies troglóbias em virtude de suas condições físicas e tróficas. Vale lembrar ainda que a riqueza de troglóbios observada para

ambas as grutas resulta de uma única amostragem. Desta forma, o investimento em novos esforços para o acesso da biodiversidade subterrânea nestas grutas, deve ser considerado emergencial.

No contexto regional, para a região do quadrilátero ferrífero atualmente são conhecidas 50 espécies troglomórficas e para a Província Cárstica do Açungui são conhecidas 62 espécies sendo, esta última, protegida por um mosaico de unidades de conservação e acumula aproximadamente 30 anos de pesquisas sistemáticas na região (Rocha, 1995). Apesar da região espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis assumir certa importância no contexto nacional em relação a ocorrência de espécies troglóbias, a razão entre espécies troglóbias e o número de cavernas estudadas não é tão expressiva no contexto mundial. Como exemplos, Clarke (1988) relatou a presença de 643 espécies de invertebrados troglóbios em 492 cavernas calcárias da Tasmânia (1,3 spp/caverna), Peck (1992) relatou a presença de 250 espécies em 54 cavernas do Alabama, EUA (4,6 spp/caverna) e Sharratt et al. (2000) relataram a ocorrência de 85 espécies troglóbias em 80 cavernas quartzíticas localizadas no sul da África (1,06 spp/caverna).

No entanto, é preciso ressaltar que a quase totalidade das espécies reconhecidas como troglomórficas no Brasil compreendem provavelmente os chamados “troglóbios avançados”, que já colecionam modificações morfológicas obtidas ao longo da evolução em isolamento em habitats subterrâneos (Ferreira et al., 2009). No entanto, o conceito de troglóbio refere-se à ocorrência restrita em habitats subterrâneos, e não a quaisquer modificações morfológicas que eventualmente podem possuir. Sendo assim, podem existir espécies troglóbias na área estudada que não apresentam troglomorfismos e que, por desconhecimento da efetiva constituição da fauna epígea, não foram consideradas troglóbias, já que não é possível definir se ocorrem ou não exclusivamente no meio subterrâneo.

Em muitas partes do mundo conhecem-se grupos com inúmeras espécies troglóbias que não apresentam troglomorfose, sendo chamados de “troglóbios recentes”, como o caso de muitas espécies de coleópteros Cholevidae e Carabidae presentes em cavernas do carste Dinárico (Zagmajster et al., 2008). Desta forma, comparações ainda são muito limitadas sendo fundamental a realização de inventários faunísticos, especialmente de invertebrados, em porções epígeas da região, para que se conheça a constituição dos táxons externos e seja possível, com isso, ter um diagnóstico mais confiável das espécies efetivamente troglóbias. Mesmo assim, o registro de 78 espécies troglomórficas para uma única região com certeza se traduz em uma das principais concentrações de espécies troglóbias do país.

Em virtude de sua relevância algumas espécies troglóbias merecem destaque, dentre elas o opilião *Liops* sp.. Até o momento existem oito espécies de opiliões troglóbios descritos para as cavernas brasileiras, sendo apenas uma espécie desta subfamília. A espécie aqui encontrada provavelmente represente um organismo relicto biogeográfico da Mata Atlântica resultante do isolamento provocado pelos processos de retração e expansão deste bioma durante as flutuações climáticas ao longo das eras geológicas (Kury & Pérez-González, 2008). Em virtude de sua ampla distribuição pelo carste local, este contexto tem um desdobramento importante em relação à questão de conservação e a aplicação da instrução normativa do novo decreto federal (Brasil, 2008). Esta instrução prevê que cavernas com ocorrência de troglóbios relictos, filogenéticos ou geográficos, devem ser incluídas como cavernas de máxima relevância impossibilitando sua supressão para fins econômicos. Desta forma, a ampla distribuição deste opilião na região inviabiliza a exploração mineral de muitas áreas na área aqui estudada.

Dentre as espécies troglóbias de distribuição restrita, merece um destaque especial a espécie de formiga troglomórfica do gênero *Tapinoma*

(Formicidae - Dolichoderinae), o hemíptero Scutelleridae e uma nova espécie de barata troglóbia (*Litoblatta?* sp.). Baratas troglóbias são raras, sendo que atualmente existem apenas aproximadamente 32 espécies descritas no mundo, e *Litoblatta camargoi* é a única espécie oficialmente descrita para o Brasil (Gutiérrez, 2005). Até o momento, existe apenas o registro de uma espécie de formiga (Ponerinae) troglomórfica, embora ainda não descrita, e nenhum hemíptero troglóbio oficialmente descrito para o país (Rocha, 1995).

Apesar de existirem grandes concentrações de espécies troglóbias em algumas cavernas, não foi possível verificar regiões de maior concentração destes organismos na região, sendo que a distribuição destas espécies se apresenta de maneira heterogênea. A maioria dos troglóbios aqui encontrados apresentou um padrão comum de distribuição, sendo endêmicas a uma caverna ou um sistema (Decu & Juberthie, 1998; Holsinger, 2000). Entretanto, a presença de vários grupos distintos (*Lygromma* sp., *Liops* sp., *Pseudonannole* sp., *Arrhopalites* sp., *Trichorhina* sp., além de uma espécie de Carabidae e um Pselaphidae) com uma ampla distribuição na região deve ser considerada como uma condição singular para áreas cársticas brasileiras, observada até o momento apenas nos sistemas ferruginosos do quadrilátero ferrífero (Ferreira, 2005b) e para algumas espécies de coleópteros encontrados em áreas cársticas o estado da Bahia (como *C. cessaima*). Tal condição talvez seja explicada pela existência de uma alta conectividade entre as cavernas da região que permita a circulação destes organismos pelo ambiente subterrâneo. É provável que tal dispersão ocorra pelo Meio Subterrâneo Superficial (MSS) assim como observado para várias espécies troglóbias em diferentes regiões do mundo (Juberthie et al., 1980; Juberthie, 2000).

As cavernas de Pains apresentam-se de maneira superficial estando muitas vezes em contato com solos rasos, sendo possível encontrar em muitas cavidades, a presença de sistemas radiculares bem desenvolvidos. Tal condição

talvez favoreça o transito e dispersão das espécies troglóbias entre os diferentes horizontes do ambiente subterrâneo através do Meio Subterrâneo Superficial. Tanto em rochas carbonáticas como em outras litologias, a descoberta de espécies (principalmente coleópteros) distribuídas pelo MSS são cada vez mais freqüentes (Juberthie et al., 1980; Juberthie, 2000). Nestes casos, flutuações climáticas ao longo do ano podem influenciar a distribuição populacional destes organismos entre estes ambientes (Howarth, 2001; Racovitza, 1983).

Em cavernas da Romênia (Montes Apuseni) vários estudos com coleópteros (Cholevidae: Bathyscinae) têm demonstrado a existência de uma continuidade entre as cavernas e o MSS (Racovitza, 1983). No Brasil, os sistemas subterrâneos associados aos campos ferruginosos possuem como uma de suas principais características a existência de uma grande quantidade de canalículos que conformam uma extensa rede de espaços intersticiais (meso e microcavernas) conectados as macrocavernas que também funcionam como vias de colonização e dispersão de inúmeros organismos no ambiente subterrâneo (Ferreira, 2005b). Tal característica não é exclusiva dos sistemas ferruginosos podendo ocorrer também em diferentes litologias como os tubos de lava (Howarth, 2001; Racovitza, 1983).

7.4 Análise de raridade: espécies acidentais, espécies comuns e os tipos de raridade

Espécies com área de ocorrência limitada, distribuição geográfica restrita, que apresentam populações pequenas em tamanho ou que requerem habitats específicos são as mais vulneráveis a processo de extinção frente às perturbações ambientais de ordem natural ou antrópica (Primack & Rodrigues, 2001). Tais espécies devem ser priorizadas frente às estratégias de conservação sendo extremamente importante a definição de critérios para sua identificação (Rabinowitz et al., 1986). As comunidades de invertebrados cavernícolas na

região espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis apresentam uma predominância de espécies raras da forma mais restrita dos quatro tipos aqui propostos, sendo esta a forma mais propensa a processos de extinção (Primack & Rodrigues, 2001).

Desde os primeiros estudos bioespeleológicos no país, diversos trabalhos têm apresentado diferentes classificações para os organismos cavernícolas, muitos dos quais realizados sem critérios e de forma aleatória. Destas, o emprego da classificação proposta por Schiner-Racovitza é a mais difundida apesar de, na maioria dos trabalhos, nenhum estudo sobre as relações ecológicas da maioria das espécies ter sido sistematicamente efetuado. Desta forma, tal classificação não apresenta fundamentos científicos, uma vez que, na maioria dos casos, nem a condição de restrição aos ambientes subterrâneos pode ser empregado para espécies que não apresentam troglomorismos evidentes.

Em relação à classificação de espécies raras a situação não é diferente. Dessen et al. (1980), Trajano & Gnaspini-Neto (1991) e Pinto da Rocha & Sessegolo (2001) a partir de estimativas visuais, utilizam valores de abundância para classificar os organismos cavernícolas quanto ao grau de raridade. No entanto, tal critério não considerou o contexto de distribuição geográfica das espécies, sendo considerada apenas uma dimensão das formas de raridade existentes. Sendo assim, o presente trabalho apresenta-se de forma pioneira adotando uma abordagem mais ampla e com vistas a atender uma demanda da legislação brasileira. Desta forma, qualquer comparação entre os padrões e formas de raridade aqui observadas com trabalhos anteriores torna-se limitada.

Apesar da subjetividade nos critérios de inclusão aqui estabelecidos, do ponto de vista aplicado esta proposta, bem como as informações do presente estudo vão ao encontro de uma demanda do novo decreto federal que estabelece critérios para classificação das cavernas brasileiras quanto à sua relevância. A presença de espécies raras é um dos vários critérios biológicos considerados para

a classificação das cavernas como de extrema relevância. O mesmo define como espécies raras “*os organismos representantes de espécies cavernícolas não-troglóbias com distribuição geográfica restrita e pouco abundante*”. No entanto, não apresenta quais descritores devem ser considerados para a inclusão ou não dos organismos cavernícolas em função de sua raridade.

Primeiramente é preciso ressaltar que esta definição de raridade está restrita ao padrão de raridade apresentada pela espécie dentro do ambiente subterrâneo, independente de sua condição no meio epígeo. Desta forma, se considerarmos apenas as espécies classificadas como raras do tipo 4 (que é a classificação mais restrita), uma grande parcela das cavernas amostradas enquadrariam-se dentro deste atributo. No entanto, é preciso lembrar que os dados aqui apresentados estão condicionados ao contexto regional de Pains, representam um único evento de amostragem e podem ter sido pouco amostrados em decorrência do método de coleta, mas a possibilidade de tais padrões se repetirem em outras regiões é elevada em função da singularidade ambiental destes ecossistemas.

Outra questão importante a ser destacada, é que o método aqui proposto para determinação do status de raridade de uma espécie no ambiente subterrâneo, assim como a instrução normativa do novo decreto (Brasil, 2008), não leva em consideração informações concernente à sua abundância e distribuição no ambiente epígeo. Desta forma, determinada espécie pode ser considerada rara nas cavernas, embora possa ser extremamente abundante no meio epígeo circundante, o que, por sua vez, poderá acarretar a tomada de decisões errôneas sobre quais cavernas devem ser conservadas em função da presença de espécies raras. Desta forma, mais uma vez reitera-se a necessidade da execução de inventários em sistemas epígeos no entorno das cavernas, não apenas pela necessidade de informações que corroborem com a condição de restrição de uma determinada espécie ao ambiente subterrâneo (troglóbias), mas

também para que se possa atender a instrução normativa do novo decreto através de um diagnóstico confiável sobre o real status de raridade de uma determinada espécie antes da tomada de decisões.

Poucas espécies podem ser consideradas comuns no ambiente cavernícola, sendo que grande parte destes organismos apresentam abundâncias extremamente reduzidas e ocorrências limitadas a poucas cavidades. Desta forma, o presente trabalho ressalta que não apenas populações troglóbias são raras nos ambientes cavernícolas, mas essa raridade também se aplica a uma grande quantidade de outras espécies de invertebrados. Dentre as cavernas pesquisadas, a Gruta do Éden, além de possuir a maior concentração de troglóbios da região, ainda abriga a maior riqueza de espécies raras em abundância e distribuição. Tal condição reforça a necessidade urgente de estratégias para a conservação deste sistema.

Entre os grupos considerados acidentais, em sua maioria, estes foram representados por espécies que não apresentam pré-adaptações ao ambiente subterrâneo. No entanto, pela primeira vez adotou-se um critério para a determinação dos mesmos. Historicamente a exclusão de tais organismos nos estudos bioespeleológicos brasileiros é feita de maneira arbitrária levando em conta apenas a morfologia geral do grupo. Outro fator relevante é que mesmos grupos recorrentes dentro dos sistemas cavernícolas brasileiros, por apresentarem pré-adaptações favoráveis às colonizações do meio subterrâneo (e.g. Drosophilidae, Sciaridae, Ceratopogonidae, Milichiidae), podem apresentar porcentagens elevadas de espécies acidentais. Estas famílias são amplamente classificadas como troglófilos e trogló xenos em estudos bioespeleológicos sem serem consideradas condições ecológicas específicas dentro de cada táxon. Dípteros, provavelmente, em virtude de sua alta capacidade de dispersão podem facilmente adentrar nos sistemas cavernícolas de maneira acidental. Desta

forma, estes dados reforçam a ideia que tal classificação não deve ser realizada de maneira aleatória.

Através da análise de espécies acidentais, observamos que o tamanho das entradas pode não ser o único fator responsável pelo incremento destas espécies nos ecossistemas subterrâneos da região espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis. Cavernas com rios apresentaram uma diferença significativa na ocorrência de espécies acidentais. Um exemplo é a Gruta Loca D'Água que compreende uma das cavernas mais confinadas da região, embora bastante heterogênea, com presença de um rio subterrâneo responsável pela importação da maioria dos recursos orgânicos. Neste caso, esperava-se que a comunidade presente na gruta Loca D'Água fosse formada essencialmente por organismos subterrâneos. No entanto, foi a gruta com maior ocorrência de espécies acidentais. Desta forma, os sistemas hídricos parecem ser não apenas extremamente importantes na importação de recursos orgânicos (Gibert et al., 1994; Juberthie & Decu, 1994), como também podem ser responsáveis pela introdução de espécies epígeas dentro dos ambientes subterrâneos. Entretanto, é preciso considerar que populações cavernícolas podem sofrer declínios populacionais significativos em decorrência de enchentes sazonais nos ecossistemas subterrâneos. Desta forma, tais espécies consideradas acidentais talvez possam representar na verdade, populações reduzidas em virtude deste impacto natural sobre as comunidades cavernícolas. Desta forma, tal observação sem dúvida merece o desdobramento em trabalhos futuros para que haja uma melhor compreensão sobre esta hipótese.

Por fim, através do uso de um estimador de riqueza foi possível verificar o quanto a inclusão de espécies acidentais pode influenciar na estimativa da biodiversidade presente nos ecossistemas cavernícolas. Apesar de esta ferramenta ser de extrema importância para contornar o problema da riqueza em função do tamanho amostral e permitir comparações entre sítios de pesquisa, até

o momento ainda são poucos os trabalhos bioespeleológicos brasileiros que utilizaram este recurso (Souza-Silva, 2008; Zampaulo & Ferreira, 2009). Vale salientar que nos últimos anos ocorreu uma explosão no uso de estimadores e estes são amplamente difundidos nos estudos ecológicos dos mais diferentes ambientes, inclusive cavernas (Schneider & Culver, 2004). No entanto, é preciso destacar que os resultados aqui obtidos são um forte indicativo sobre o quanto deve ser ampla uma amostragem satisfatória para se acessar a biodiversidade de invertebrados associados a ecossistemas cársticos em locais com grande concentração de cavernas como a região de Arcos, Pains e Doresópolis, sendo esta informação de extrema relevância para a definição de estratégias de conservação.

8 AGRADECIMENTOS

A FAPEMIG (Processo n° APQ 01826-08), pelo apoio financeiro; A CAPES pela bolsa de mestrado concedida; Aos especialistas, Dr. Abel Pérez González (Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ), Dr. Antonio Brescovit (Instituto Butantan-SP), Dra. Sonia Maria Lopes Fraga (UFRJ) e aos alunos de pós-graduação em Ecologia Aplicada (UFLA), Leopoldo Ferreira de Oliveira Bernardi, Maysa Fernanda Villela Rezende Souza, Thais Giovannini Pellegrini e Thaís de Oliveira do Carmo pela determinação do material biológico. A todos que participaram das coletas bioespeleológicas ou indicaram cavernas a serem estudadas: Jéfferson Luis, Rodrigo Lopes Ferreira, Érika Linz Silva Taylor, Leopoldo Ferreira de Oliveira Bernardi, Marconi Souza Silva, Sibebe Fernandes de Oliveira Sanchez, Fabiana de Oliveira Branchini, Maria Helena Pereira, Leonardo Estevão de Oliveira Berthaud, Maysa Fernanda Villela Rezende Souza, Thais Giovannini Pellegrini e Xavier Prous. Aos estagiários Claudia Santos Luz, Adriano Luiz Benedeti e Igor Guimarães que foram

fundamentais para a realização do mesmo contribuindo no laboratório, em campo e no processamento de dados. Ao grande amigo Rosinei de Oliveira pela contribuição direta nos trabalhos de campo, indicação de grande parte das cavernas contempladas no presente estudo e pela inestimável participação em parte significativa da logística despendida na região de Pains.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVARES, E. S. S.; FERREIRA, R. L. *Coarazuphium pains*, a new species of troglobitic beetle from Brazil (Coleoptera: Carabidae: Zuphiini). **Lundiana**, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p. 41-43, jan. 2002.

AULER, A. S. Quartzite caves of South America. In: GUNN, J. (Ed.). **Encyclopedia of caves and karst science**. New York: Fitzroy Dearborn, 2004. p. 611-613.

AULER, A.; PILÓ, L. B. Introdução às cavernas em minério de ferro e canga. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 17, n. 3, p. 70-72, jul. 2005.

BARR, T. C.; KUEHNE, R. A. Ecological studies in mammoth cave ecosystems of kentucky. **Annales de Speleologie**, Paris, v. 26, n. 1, p. 47-96, Mar. 1971.

BRASIL. Decreto n. 6.640, de 7 de Novembro de 2008. Dá nova redação aos arts. 1º, 2º, 3º, 4º e 5º e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 10 nov. 2008. Seção 1. Disponível em:<www.dou.gov.br>. Acesso em: 15 dez. 2009.

BRASIL. Decreto-lei n. 99.556, de 1º de outubro de 1990. Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 2 out. 1990. Seção 1. Disponível em:<www.dou.gov.br>. Acesso em: 15 dez. 2009.

CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS. **Base de dados geoespecializados de cavidades naturais subterrâneas do CECAV**. Brasília: CECAV, 2009. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/cecav>>. Acesso em: 10 jan. 2009.

CHALCRAFT, D.; PYE, K. Humid tropical weathering of quartzite in Southeastern Venezuela. **Zeitschrift für Geomorphologie**, Berlin, v. 28, n. 3, p. 321-332, Mar. 1984.

CHAPMAN, P. **Caves and cave life**. London: Harper Collins, 1994. 219 p.

CHAPMAN, P. The biology of caves in the Gunung Mulu National Park, Sarawak. **British Cave Research Association Trans**, Buxton, v. 7, n. 3, p. 141-149, Mar. 1980.

CHRISTMAN, M. C.; CULVER, D. C. The relationship between cave biodiversity and available habitat. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 3, n. 28, p. 367-380, Mar. 2001.

CLARKE, A. The biology of caves in southern Tasmania. **Journal of the Tasmanian Cave and Karst Research Group**, Austrália, v. 3, p. 18-29, 1988.

COLWELL, R. K. **Estimates**: statistical estimation of species richness and shared species from samples: version 5. [S.l.: s.n.], 2009. Disponível em: <<http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>>. Acesso em: 28 out. 2009.

CULVER, D. C. **Cave life**: evolution and ecology. London: Harvard University, 1982. 189 p.

CULVER, D. C.; DEHARVENG, L.; BEDOS, A.; LEWIS, J. J.; MADDEN, M.; REDDELL, J. R.; SKET, B.; TRONTELJ, P.; WHITE, D. The mid-latitude biodiversity ridge in terrestrial cave fauna. **Ecography**, Copenhagen, v. 29, n. 1, p. 120-128, Feb. 2006.

CULVER, D. C.; HOLSINGER, J. R. How many species of troglobites are there? **National Speleological Society Bulletin**, Huntsville, v. 54, n. 2, p. 79-80, Dec. 1992.

CULVER, D. C.; SKET, B. Hotspots of subterranean biodiversity in caves and wells. **Journal of Cave and Karst Studies**, Huntsville, v. 62, n. 1, p. 11-17, Apr. 2000.

DANIELOPOL, D. L.; GRIEBLER, C.; GIBERT, J.; NACHTNEBEL, H. P.; NOTENBOOM, J. **Groundwater ecology**: a tool for management of water resources: EC Advanced study course lecture notes. Vienna-Mondsee: European Commission Environment and Climate Programme/Austrian Academy of Sciences, 1999. 298 p.

DECU, V.; JUBERTHIE, C. Coléoptères (Generalités et synthèse). In: JUBERTHIE, C.; DECU, V. (Ed.). **Encyclopaedia biospeologica**. Moulis: Societé Internationale de Biospéology, 1998. p. 835-1373.

DEHARVENG, L.; BEDOS, A. The cave fauna of southeast Asia: origin, evolution and ecology. In: WILKENS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHRIES, W. F. (Ed.). **Subterranean Ecosystems**. Amsterdam: Elsevier, 2000. p. 603-632.

DESSEN, E. M. B.; ESTON, V. R.; SILVA, M. S.; TEMPERINI-BECK, M. T.; TRAJANO, E. Levantamento preliminar da fauna de cavernas de algumas regiões do Brasil. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 32, n. 6, p. 714-725, jun. 1980.

DOERR, S. H. Karst-like landforms and hydrology in quartzites of the Venezuelan Guyana Shield: pseudokarst or "real" karst? **Zeitschrift für Geomorphologie**, Berlin, v. 43, n. 1, p. 1-17, Jan. 1999.

FERREIRA, R. L. **Caracterização de ecossistemas subterrâneos do complexo Mina do Pico (Itabirito, MG): estudo bioespeleológico das cavidades visando o licenciamento necessário ao aproveitamento do minério de ferro**. Belo Horizonte: Minerações Brasileiras Reunidas, 2005a. 31 p.

FERREIRA, R. L. **Medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos**. 2004. 161 p. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

FERREIRA, R. L. **Subsídios para o estabelecimento do manejo bioespeleológico e paleontológico em algumas cavernas do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu**. Belo Horizonte: Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, 2003. 140 p.

FERREIRA, R. L. Aida subterrânea nos campos ferruginosos. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 17, n. 3, p. 106-115, jul. 2005b.

FERREIRA, R. L.; HORTA, L. C. S. Natural and human impacts on invertebrate communities in Brazilian caves. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 61, n. 1, p. 7-17, fev. 2001.

FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Cavernas em risco de extinção. **Ciência Hoje**, São Paulo, v. 173, n. 29, p. 20-28, jun. 2001.

FERREIRA, R. L.; SILVA, M. S.; BERNARDI, L. F. O. Contexto Biospeleológico. In: DRUMMUND, G. M.; MARTINS, C. S.; GRECO, M. B.; VIEIRA, F. (Ed.). **Biota Minas**: diagnóstico do conhecimento sobre a biodiversidade no Estado de Minas Gerais, subsídios ao Programa Biota Minas. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2009. p. 622-638.

FORD, D. C.; WILLIAMS, P. W. **Karst hydrogeology and geomorphology**. London: J. Wiley, 2007. 601 p.

GASTON, K. J. **Rarity**. London: Chapman and Hall, 1994. 205 p.

GIBERT, J.; DANIELPOL, D. L.; STANFORD, J. A. **Groundwater ecology**. New York: Academic, 1994. 571 p.

GINET, R.; DECOU, V. **Initiation à la biologie et à l'écologie souterraines**. Paris: Delarge, 1977. 345 p.

GNASPINI, P.; TRAJANO, E. Brazilian cave invertebrates, with a checklist of troglomorphic taxa. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 38, n. 3/4, p. 549-584, dez. 1994.

GNASPINI, P.; TRAJANO, E.; SANCHEZ, L. E. Provincia espeológica da Serra da Bodoquena, MS: exploração, topografia e biologia. **Espeleo-Tema**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 19-44, jan. 1994.

GOMES, F. T. D. M. C.; FERREIRA, R. L.; JACOBI, C. M. Arthropod community of a limestone cave in a mining area: structure and composition. **Revista Brasileira de Zoociências**, Juiz de Fora, v. 2, n. 1, p. 77-96, dez. 2000.

GOOGLE. **Google Earth Pro**. Disponível em: <<http://earth.google.com/intl/pt-BR>> 2009. Acesso em: Janeiro de 2009.

GUTIÉRREZ, E. Nueva cucaracha ciega de litoblatta de Brasil y rediagnosis del género (Dictyoptera: Blattaria: Blattellidae). **Solenodon**, Habana, v. 5, n. 1, p. 64-75, Dec. 2005.

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. **PAST Palaeontological Statistics, ver. 1.12**. Disponível em: <http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm>. Acesso em: 28 out. 2003.

HARDT, R.; RODET, J.; PINTO, S. D. A. F.; WILLEMS, L. Exemplos brasileiros de carste em arenito: Chapada dos Guimarães (MT) e Serra de Itaqueri (SP). **Espeleo-Tema**, São Paulo, v. 20, n. 1-2, p. 7-23, fev. 2009.

HOLSINGER, J. R. Ecological derivation, colonization, and speciation. In: WILKENS, H. D. C. C. W. F. H. (Ed.). **Ecosystems of the World: 30** subterranean ecosystems. Amsterdam: Elsevier Science, 2000. p. 399-415.

HOLSINGER, J. R.; CULVER, D. C. **The invertebrate cave fauna of Virginia and a part of eastern Tennessee: zoogeography and ecology**. North Carolina: State Museum of Natural Sciences, 1988. 164 p.

HOWARTH, F. B. Hawaii. In: JUBERTHIE, C.; DECU, V. (Ed.). **Enciclopaedia biospeologica**. Moulis: Societé Internationale de Biospéologie, 2001. v. 3, p. 2175-2181.

HOWARTH, F. G. Ecology of cave arthropods. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 28, p. 365-389, Jan. 1983.

HOWARTH, F. G. The cavernicolous fauna of Hawaiian lava tubes. **Pacific Insects**, Honolulu, v. 15, n. 1, p. 139-151, May 1973.

HUMPHREYS, W. F. Cave fauna in semi-arid tropical western Australia: a diverse relict wet forest-litter fauna. **Mémoires de Biospéologie**, Moulis, v. 20, p. 105-110, Dec. 1993.

HUPPERT, G.; BURRI, E.; FORTI, P.; CIGNA, A. Effects of tourist development on caves and karst. In: WILLIAMS, P. W. (Ed.). **Karst terrains: environmental changes and human impact**. Cremlingen-Destedt: Catena-Verlag, 1993. p. 251-268. (Catena Supplement, 25).

JANINE, G.; DEHARVENG, L. Subterranean ecosystems: a truncated functional biodiversity. **BioScience**, Washington, v. 52, n. 6, p. 473-481, June 2002.

JEANNEL, R. **Faune cavernicole de la France, avec une étude des conditions d'existence dans le domaine souterraine**. Paris: Lechevalier, 1926. 334 p.

JENNINGS, J. N. Sandstone pseudokarst or karst?. In: YOUNG, R. W.; NANSON, G. C. (Ed.). **Aspects of Australian Sandstone Landscapes**. Wollongong: Geomorphology Group Special Publication, 1983. p. 21-30.

JORDÃO-SILVA, F. **Invertebrados de cavernas do Distrito Federal: diversidade, distribuição temporal e espacial**. 2006. 131 p. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade Federal de Brasília, Brasília.

JUBERTHIE, C. B. The diversity of the karstic and pseudokarstic hypogean habitats in the World. In: WILKENS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHREYS, W. F. (Ed.). **Ecosystems of the world**: 30, subterranean ecosystems. Amsterdam: Elsevier Science, 2000. p. 17-39.

JUBERTHIE, C.; DECU, V. Structure et diversité du domaine souterrain: particularités des habitats et adaptations des espèces. In: JUBERTHIE, C.; DECU, V. (Ed.). **Encyclopaedia biospeleologica**. Moulis: Société de Biospéologie, 1994. p. 5-22.

JUBERTHIE, C.; DELAY, B.; BOUILLON, M. Extension du milieu souterrain en zone non-calcaire: Description d'un nouveau milieu et de son peuplement par les coléoptères troglodytes. **Mémoires de Biospéologie**, Moulis, v. 8, p. 77-93, Dec. 1980.

KUNIN, W. E.; GASTON, K. J. **The biology of rarity**: causes and consequences of rare-common differences. London: Chapman & Hall, 1997. 280 p.

KURY, A. B.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A. The first cave-dwelling *Spinopilar* Mello-Leitão 1940 (Opiliones Gonyleptidae Tricommatinae), described from a Brazilian cave. **Tropical Zoology**, Firenze, v. 21, n. 2, p. 259-267, Nov./Dec. 2008.

MACHADO, S. F.; FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Aspects of the population ecology of *Goniosoma* sp. (Arachnida, Opiliones, Gonyleptidae) in limestone caves in Southeastern Brazil. **Tropical Zoology**, Firenze, v. 16, n. 1, p. 13-31, Aug. 2001.

MAGALHÃES, P. M. **Análise estrutural das rochas do Grupo Bambuí na porção sudoeste da bacia do São Francisco**. 1989. 105 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

MAGURRAN, A. E. **Ecological diversity and its measurement**. London: Princeton University, 2004. 192 p.

MARRA, R. J. C. **Critérios de relevância para classificação de cavernas no Brasil**. 2008. 393 p. Dissertação (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, G. M. C.; FONSECA G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, n. 6772, p. 853-858, Feb. 2000.

PECK, S. B. A synopsis of the cave fauna of Jamaica. **Bulletin of the National Speleological Society**, Huntsville, v. 54, n. 2, p. 37-60, Dec. 1992.

PILÓ, L. B. Rochas carbonáticas e relevos cársticos em Minas Gerais. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 9, n. 3, p. 72-79, jul. 1997.

POULSON, T. L.; WHITE, W. B. The cave environment. **Science**, Cambridge, v. 165, n. 3897, p. 971-981, Sept. 1969.

PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da conservação**. Londrina: Vida, 2001. 328 p.

PROUS, X.; FERREIRA, R. L. Estrutura das comunidades cavernícolas na caatinga: subsídios para a conservação. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ESTUDOS DO CARSTE, 3., 2009, São Carlos. **Resumos...** São Carlos: Redespeleo Brasil, 2009. p. 62-63.

PROUS, X.; FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Ecotone delimitation: epigeal hypogean transition in cave ecosystems. **Austral Ecology**, Carlton, v. 29, n. 4, p. 374-382, Aug. 2004.

RABINOWITZ, D.; CAIRNS, S.; DILLON, T. Seven forms of rarity and their frequency in the flora of the British Isles. In: SOULÉ, M. E. (Ed.). **Conservation biology: the science of scarcity and diversity**. Massachusetts: Sinauer Associates, 1986. p. 182-204.

RACOVITZA, E. G. Sur les relations dynamiques entre le milieu souterrain superficiel et le milieu cavernicole. **Mémoires de Biospéologie**, Moulis, v. 10, p. 85-89, Dec. 1983.

ROCHA, R. P. da. Invertebrados cavernícolas da porção meridional da Província Espeleológica do Vale do Ribeira, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 2, n. 12, p. 229-255, dez. 1994.

ROCHA, R. P. da. Sinopse da fauna cavernícola do Brasil (1907 - 1994). **Papéis Avulsos de Zoologia**, São Paulo, v. 39, n. 6, p. 61-163, jul. 1995.

ROCHA, R. P. da; SESSEGOLO, G. C. Estuda da fauna da Gruta de São Miguel I, Serra da Bodoquena (MS), como subsídio para o plano de manejo. In: PARANÁ, G. D. E. E. D. (Ed.). **Conservando cavernas: 15 anos de espeleologia**. Curitiba: GEEP Açungui, 2001. p. 123-133.

ROMERO, A. **Cave biology: life in darkness**. New York: Cambridge University, 2009. 291 p.

SARBU, S. M.; KANE, T. C.; KINKLE, B. K. A chemoautotrophically based cave ecosystem. **Science**, Cambridge, v. 272, n. 4, p. 1953-1955, Dec. 1996.

SCHNEIDER, K.; CULVER, D. C. Estimating subterranean species richness using intensive sampling and rarefaction curves in a high density cave region in west Virginia. **Journal of Cave and Karst Studies**, Huntsville, v. 66, n. 2, p. 39-45, Aug. 2004.

SHARRATT, N. J.; PICKER, M.; SAMWAYS, M. The invertebrate fauna of the sandstone of the caves of the Cape Peninsula (South Africa): patterns of endemism and conservation priorities. **Biodiversity and Conservation**, London, v. 9, n. 1, p. 107-143, Jan. 2000.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA. **Cadastro nacional de cavidades**. Taquaral, 2009. Disponível em: <www.sbe.com.br>. Acesso em: 28 jan. 2009.

SOUZA-SILVA, M. **Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na mata atlântica brasileira**. 2008. 225 p. Tese (Doutorado em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

STANFORD, J. A.; SIMON, J. J. FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON GROUNDWATER ECOLOGY, 1992, Bethesda. **Proceedings...** Bethesda: American Water Resources Association, 1992.

STANFORD, J. A.; VALETT, H. M. FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON GROUNDWATER ECOLOGY, 2., 1994, Herndon. **Proceedings...** Herndon: American Water Resources Association, 1994.

TRAJANO, E. America, South: biospeleology. In: GUNN, J. (Ed.). **Encyclopedia of caves and karst science**. New York: Fitzroy Dearborn, 2004. p. 118-122.

TRAJANO, E. Cave faunas in the Atlantic tropical rain forest: composition, ecology and conservation. **Biotropica**, Washington, v. 32, n. 4, p. 882-893, Apr. 2000.

TRAJANO, E. **Sistema areias**: 100 anos de estudos. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2007. 128p.

TRAJANO, E.; GNASPINI, P. Composição da fauna cavernícola brasileira, com uma análise preliminar da distribuição dos táxons. **Revista Brasileira de Zoologia**, São Paulo, v. 3, n. 7, p. 383-407, jul. 1991.

VANDEL, A. **Biospéologie**: la biologie des animaux cavernicoles. Paris: Gauthier Villars, 1964. 619 p.

ZAGMAJSTER, M.; CULVER, D. C.; SKET, B. Species richness patterns of obligate subterranean beetles (Insecta: Coleoptera) in a global biodiversity hotspot: effect of scale and sampling intensity. **Diversity and Distributions**, Oxford, v. 14, n. 1, p. 95-105, Jan. 2008.

ZAMPAULO, R. D. A.; FERREIRA, R. L. Diversidade de invertebrados terrestres cavernícolas em nove cavidades naturais no município de Aurora do Tocantins (TO). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 30., 2009, Montes Claros. **Anais...** Montes Claros: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2009. p. 267-274.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. 3. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1996. 718 p.

ZEPPELINI-FILHO, D.; RIBEIRO, A. C.; GUILHERME, G. C.; FRACASSO, M. P. A.; PAVANI, M. M.; OLIVEIRA, O. M. P.; OLIVEIRA, S. A. D.; MARQUES, A. C. Faunistic survey of sandstone caves from Altinópolis region, São Paulo state, Brazil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, São Paulo, v. 43, n. 5, p. 93-99, maio 2003.

APÊNDICE

APÊNDICE A	Página
TABELA 1A Táxons encontrados na região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG)	99

TABELA 1A Táxons encontrados na região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG).

Táxons (nº famílias)		Famílias, Gêneros, Espécies (nº de espécies)	S
Outros	Gordioidea (01)	Indet. (01)	01
	Oligochaeta (01)	Indet. (06)	06
	Pulmonata (05), Unionoidea (01)	Mycetopodidae (01); Vallonidae (01); Haplotrematidae (04), Subulinidae (04), Xanthonichidae (03), indet. (01)	14
	Turbellaria (02)	Bipallidae (01) (<i>Bipalium kewensi</i>), Geoplanidae (07) (<i>Geoplana</i> spp., <i>Geoplana aplanatta</i>)	08
Crustacea	Copepoda (01)	Indet. (01)	01
	Ostracoda (01)	Indet. (01)	01
	Isopoda (05)	Armadillidae (05), Dubioniscidae (03), Philosciidae (08), Styloniscidae (14) (<i>Thailandoniscus</i> spp., <i>Pectenoniscus</i> spp.) Platyarthridae (09) (<i>Trichorhina</i> spp.)	39
Arachnida	Acari (27)	Argasidae (02) (<i>Ornithodoros</i> sp.), Ascidae (01), Anystidae (02) (<i>Erythracarus</i> sp.), Bdelidae (02), Camerobiidae (01), Ereynetidae (01), Erythraeidae (02), Eupodidae (01), Heterozerconidae (01), Laelapidae (06), Macrochelidae (03), Macronyssidae (01), Ologamasidae (02), Opilioacaridae (01) (<i>Opiliacarus</i> sp.), Othopheidomenidae (01), Phytoseiidae (01), Podocinidae (01) (<i>Podocinum</i> sp.) (01), Rhagidiidae (04), Trombiculidae (01), Veigaiidae (02), Indet. (47)	84
	Amblypygi (01)	Charinidae (<i>Charinus</i> spn.)	01
	Scorpiones (01)	Buthidae (<i>Tityus braziliae</i>)	01
	Palpigradi (01)	Eukoeniidae (02) <i>Eukoenia florenciae</i>	02
	Pseudoscorpiones (03)	Chernetidae (02), Chtoniidae (05), Geogaripidae (03), indet. (16)	26
Opiliones (03)	Cosmetidae (01), Gonyleptidae (04) (<i>Liops</i> sp., <i>Eusarcus hastatus</i> , <i>Mitogoniella taquara</i> , <i>Discocyrtus?</i> sp.), indet. (02)	07	

TABELA 1A, Cont.

	Táxons (n° famílias)	Famílias, Gêneros, Espécies (n° de espécies)	S
Arachnida	Araneae (37)	Amaurobiidae (03), Araneidae (14) (<i>Alpaida</i> spp., <i>Araneus</i> sp., <i>Micrathena</i> sp., <i>Eustala</i> sp.), Clubionidae (02) Coriniidae (03) (<i>Attacobius</i> sp., <i>Castianeira</i> sp., <i>Corinna</i> sp.), Ctenidae (03) (<i>Phoneutria</i> sp., <i>Isoctenus</i> sp., <i>Enoploctenus cyclothorax</i>), Deinopidae (02) (<i>Deinops</i> spp.), Dipluridae (02) (<i>Masteria?</i> sp.), Drymusidae (01), Gnaphosidae (01), Hahniidae, (01) Idiopidae (01) (<i>Idiops</i> sp.), Linyphiidae (10) (<i>Erigone</i> sp., <i>Dubiaranea</i> sp.), Lycosidae (01), Mimetidae (02), (<i>Gelanor</i> sp., <i>Ero</i> sp.), Miturgidae (01), Mysmenidae (01) (<i>Mysmena</i> sp.), Nemesiidae (01) (<i>Prorachias</i> sp.), Nephilidae (02) (<i>Nephila clavipes</i>), Nesticidae (01) (<i>Nesticus</i> sp.), Ochyroceratidae (08) (<i>Ochyrocera</i> spp., <i>Specocera</i> spp., <i>Theotima</i> sp.), Oonopidae (10) (<i>Oonops</i> sp., <i>Triaeris stenaspis</i> , <i>Opopaea deserticola</i> , <i>Gamasomorpha</i> sp.), Palpimanidae (01), Paratropididae (01), Pholcidae (04) (<i>Mesabolivar</i> sp., <i>Metagonia</i> spp., <i>Physocyclus globosus</i>), Pisauridae (01), Prodidomidae (01) (<i>Lygromma</i> sp.), Salticidae (06), Scytodidae (02) (<i>Scytodes</i> sp.), Segestridae (01), Sicariidae (02) (<i>Loxosceles anomala</i> , <i>Loxosceles similis</i>), Symphytognathidae (01) (<i>Symphytognata carstica</i>), Tetrablemidae (01) (<i>Matta</i> sp.), Tetragnathidae (02) (<i>Azilia histrio</i>), Theraphosidae (03) (<i>Acanthoscurria</i> sp., <i>Lasiadora</i> sp., <i>Magula obesa</i>), Theridiidae (27) (<i>Argiodes</i> sp., <i>Chryso</i> sp., <i>Coleosoma</i> sp., <i>Dipoena</i> sp., <i>Nesticodes rufipes</i> , <i>Platnickina mneon</i> , <i>Thymoites</i> sp.) Theridiosomatidae (08) (<i>Chtonus</i> sp., <i>Natlo</i> sp., <i>Plato</i> spp.), Tomisidae (01), Uloboridae (03) (<i>Myagrammops</i> spp., <i>Uloborus</i> sp.) Zodariidae (01) (<i>Tenedos</i> sp.)	136
Insecta	Microcoryphia (03)	Lepdotrichiidae (04), Machilidae (12) Nicolletiidae (12)	28
	Diplura (03)	Campodeidae (03), Japygidae (04), Projapygidae (04)	11

TABELA 1A, Cont.

	Táxons (n° famílias)	Famílias, Gêneros, Espécies (n° de espécies)	S
Insecta	Collembola (07)	Arrhopalitidae (01) (<i>Arrhopalites</i> sp.), Entomobryidae (34), Isotomidae (05), Paronellidae (02), Poduridae (02) (<i>Podura</i> spp.), Sminthuridae (05), Tomoceridae (02)	51
	Ephemeroptera (03)	Baetidae (01), Leuptophlebiidae (02), Oligoneuriidae (01)	4
	Trichoptera (03)	Hydropsychidae (02), Psychomiidae (04), Sericosmatidae (03)	09
	Neuroptera (02)	Hemerobiidae (02), Chrysopidae (2)	04
	Orthoptera (05)	Acrididae (02), Phalangopsidae (08) (<i>Edimanacris</i> spp., <i>Endecous</i> spp.), Trigonidiidae (05) (<i>Eunemobius</i> sp., <i>Hygronemobius</i> sp.), Gryllidae (02) (Pseudophyllinae, Oepodinae), Tettigoniidae (01)	18
	Phasmatodea (01)	Phasmatidae (05)	05
	Blattodea (03)	Blaberidae (01), Blattellidae (20) (<i>Litoblatta</i> spp., <i>Periplaneta americana</i>), Polyphagidae (07)	28
	Isoptera (02)	Termitidae (09) (<i>Diversitermes diversimiles</i> , <i>Nasutitermes</i> spp., <i>Syntermes</i> sp.) Kalotermitidae (02) (<i>Neotermes</i> spp.)	11
	Dermaptera (01)	Forficulidae (02)	02
	Psocoptera (10)	Dolabellopsocidae (01) (<i>Dolabellopsocus</i> sp.), Lachesillidae (03) (<i>Eolachisiella</i> spp.), Lepdopsocidae (12) (<i>Nepiticolomima</i> spp., <i>Lepium</i> spp., <i>Perientomum</i> sp., <i>Scolopoma</i> sp., <i>Lichenomima</i> sp.), Liposcelidae (1) (<i>Liposceles</i> sp.) Pachytractidae (02) (<i>Tapinella</i> spp.), Myopsocidae (01) (<i>Mesocaecilius</i> sp.), Psocidae (02), (<i>Pearmania</i> spp.), Psyllipsocidae (12) (<i>Psyllipsocus</i> spp., <i>Psyllipsocus ramburii</i>), Ptiloneuridae (12) (<i>Triplocania</i> spp., <i>Euplocania</i> spp., <i>Ptiloneura</i> spp.), Indet. (02)	49

TABELA 1A, Cont.

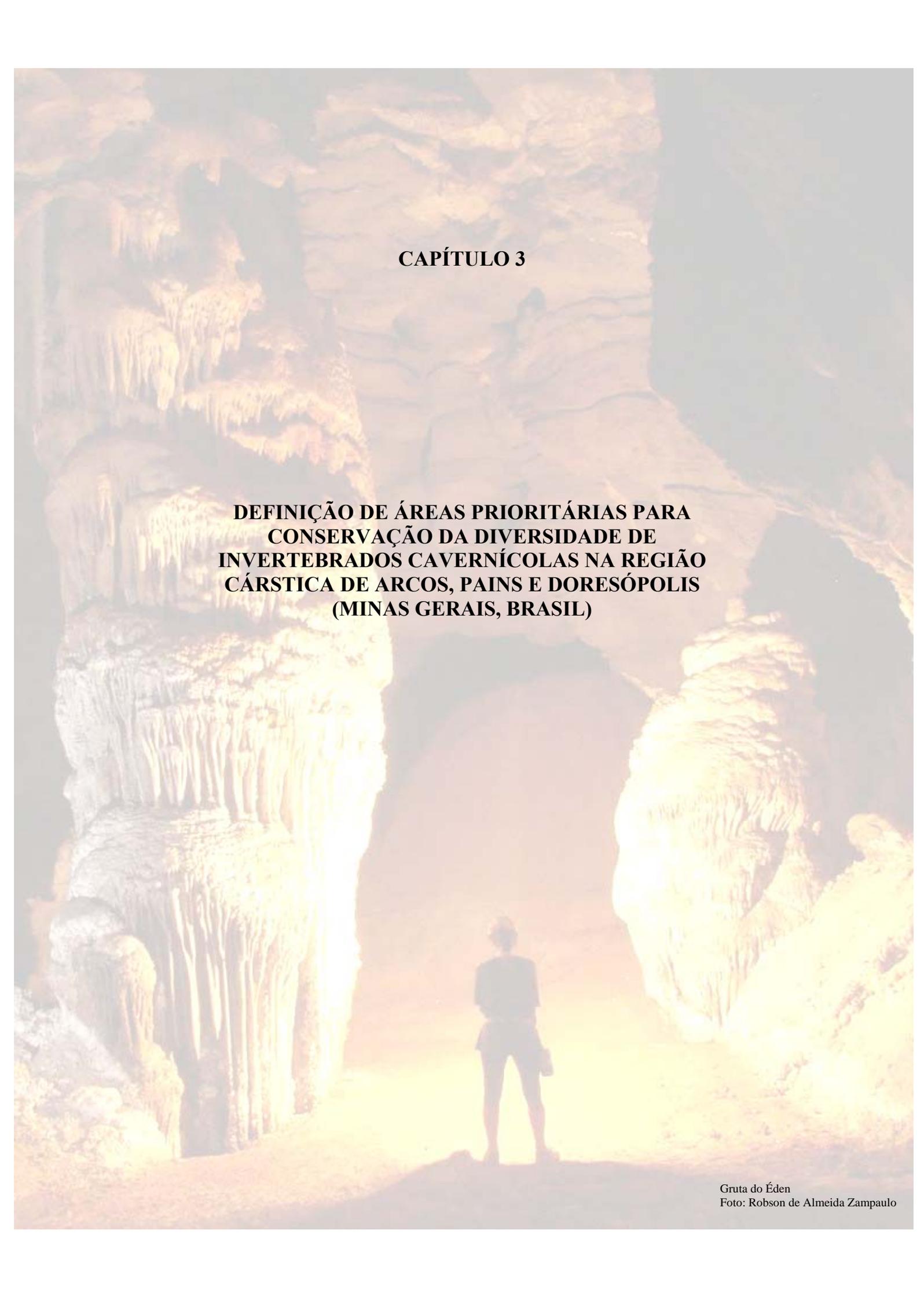
Táxons (nº famílias)		Famílias, Gêneros, Espécies (nº de espécies)	S
Insecta	Odonata (01)	Libellulidae	01
	Hemiptera (16)	Cicadellidae (17), Cixiidae (18), Knnaridae (04), Ploriaridae (17), Polycetenidae (01), Reduviidae (08) (<i>Zelurus</i> sp.), Dyspscoridae (10), Mesoveliidae (03), Veliidae (03), Tingidae (01), Lygaeidae (05), Pyrrhchoridae (04), Cydnidae (05), Pentatomidae (01), Coccoidea (02), Orthezeiidae (01), Indet. (02).	102
	Lepidoptera (06)	Arctiidae (02), Geometridae (05), Hesperidae (02), Noctuidae (34) (<i>Ipoena</i> sp.), Sphingidae (01) Tineidae (40)	84
	Diptera (26)	Agromyzidae (02), Bibionidae (03), Calliphoridae (02), Cecydomiidae (44), Ceratopogonidae (19), Chaoboridae (01), Chironomidae (14), Culicidae (35) (<i>Aedes</i> spp., <i>Anopheles</i> spp., <i>Culex</i> spp., <i>Wyeomyia</i> spp., <i>Mansonia</i> spp.), Dixiidae (01), Dolychopodidae (16), Drosophilidae (16) (<i>Drosophila</i> sp.), Empididae (03), Heleomyzidae (02), Keroplatidae (01), Lauxaniidae (05), Psychodidae (15) (<i>Lutzomyia</i> spp.), Milichiidae (14), Muscidae (05), Mycetophilidae (17), Phoridae (35) (<i>Conicera</i> spp.), Sciaridae (16), Sphaeroceridae (01), Stratyomidae (01), Tachinidae (03), Therevidae (01), Tipulidae (17), indet. (12).	301
	Hymenoptera (13)	Ceraphronidae (03), Figitidae (03), Braconidae (09), Ichneumonidae (07), Diapriidae (07), Driinidae (02), Bethyidae (02), Apidae (04) (<i>Oxirigona</i> sp., <i>Euglossa</i> sp.), Vespidae (04), Sphecidae (01), Chrysididae (01), Pteromalidae (02), indet. (09), Formicidae (<i>Acromyrmex</i> spp. (07), <i>Atta</i> sp. (01), <i>Azteca</i> spp. (08), <i>Tapinoma</i> spp. (05), <i>Camponotus</i> spp. (13), <i>Labidus</i> spp. (02), <i>Neivamyrmex</i> spp. (02), <i>Crematogaster</i> spp. (06), <i>Hilomyrma</i> spp. (03), <i>Octostruma</i> sp. (1), <i>Pheidole</i> spp. (09), <i>Solenopsis</i> spp. (08), <i>Ectatommini</i> (03), <i>Hyponera</i> spp. (09), <i>Odontomachus</i> spp. (09), <i>Phachycondyla</i> spp. (09), <i>Pseudomyrmex</i> sp. (01)).	150

TABELA 1A, Cont.

	Táxons (n° famílias)	Famílias, Gêneros, Espécies (n° de espécies)	S
Insecta	Syphonaptera (02)	Pulicidae (01) Tungidae (01)	2
	Thysanoptera	Indet. (02)	2
	Coleoptera (27)	Alleculidae (03), Bostrichidae (01), Byturidae (01), Carabidae (26) (<i>Coarazuphium</i> sp., <i>Coarazuphium pains</i>), Cerambycidae (04), Cholevidae (04), Chrysomelidae (12) (Cassidini, Elmolpinae, Galerocinae), Corylophidae (01), Curculionidae (10), Dryopidae (01), Elateridae (04), Erotylidae (02), Euglenidae (01), Histeridae (03), Hydraenidae (03), Hydrophilidae (04), Melyridae (01), Monotomidae (01), Nilionidae (01), Phalacridae (01), Pselaphidae (15), Ptiliidae (03), Ptilodactylidae (03), Scarabaeidae (07) (Aphodiinae, Scarabaeinae), Scydmaenidae (04), Staphylinidae (58) (Tachyporinae, Staphylininae, Aleocharinae, Oxytelinae, Osorinae), Tenebrionidae (04)	178
Myriapoda	Polydesmida (03)	Chelodesmidae (09), Cryptodesmidae (03), Paradoxosomatidae (01), Pyrgodesmidae (14), indet. (06)	33
	Polyxenida (01)	Polyxenidae (02)	02
	Spirobolida (01)	Rhinocricidae (1), Indet. (06)	07
	Spirostreptida (02)	Spirostreptidae (03), Psedonannolenidae (02) (<i>Pseudonannolene</i> spp.)	05
	Glomeridesmida (01)	Indet. (01)	01
	Geophilomorpha (02)	Schendylidae (01), Geophilidae (04)	05
	Symphyla (01)	Scutigereidae (05) (<i>Scutigereia</i> spp., <i>Hanseniella</i> spp.)	05
	Lithobiomorpha (02)	Anopsobiidae (02), Henicopiidae (06)	08
	Scolopendromorpha (01)	Scolopendridae	08

TABELA 1A, Cont.

Táxons (n° famílias)		Famílias, Gêneros, Espécies (n° de espécies)	S
Imaturos	Neuroptera (01)	Chrysopidae (01), Myrmeleontidae (06)	07
	Megaloptera (01)	Corydalidae (02)	02
	Odonata (01)	Megapodagrionidae (01), Libellulidae (01)	02
	Lepidoptera	Spp. (Arctiidae, Geometridae, Tineidae, Noctuidae)	28
	Coleoptera (04)	Carabidae (10) (Harpalinae), Dermestidae (02), Dysticidae (05) (Colymbetinae), Elateridae (07) (Cardiophorinae), Elmidae (01) (<i>Heterelmis</i> sp.), Lampyridae (02), Ptylodactilidae (04), Scarabaeidae (06), Staphylinidae (03), Tenebrionidae (11) (Coelometopinae), Indet. (03).	55
	Diptera (01)	Chironomidae (02), Stratiomyidae (09), Psychodidae (02), Tipulidae (01), Keroplatidae (01), Simuliidae (01), Culicidae (02) (<i>Culex</i> sp., <i>Aedes</i> sp.), indet. (20)	39
Número total de espécies			1.574

A photograph of a cave interior. The scene is dominated by large, illuminated stalactites that hang from the ceiling. The lighting is warm and yellowish, highlighting the textures of the rock formations. In the center of the frame, a person stands with their back to the camera, providing a sense of scale to the massive cave structures. The overall atmosphere is mysterious and ancient.

CAPÍTULO 3

DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO DA DIVERSIDADE DE INVERTEBRADOS CAVERNÍCOLAS NA REGIÃO CÁRSTICA DE ARCOS, PAINS E DORESÓPOLIS (MINAS GERAIS, BRASIL)

1 RESUMO

Em diversas regiões do planeta a criação de unidades de conservação tem sido o principal instrumento para a manutenção da biodiversidade. Minas Gerais é o estado brasileiro que possui o maior número de cavernas, sendo que a região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis, no centro-oeste do estado, representa atualmente a maior concentração de cavernas do país e um dos principais exemplos de conflito entre a preservação do patrimônio espeleológico e os impactos ambientais decorrentes da atividade minerária. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo principal determinar áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade de invertebrados cavernícolas na região. Para a definição destas áreas foram propostos 77 polígonos hexagonais, cada qual com área correspondente a 6,75 Km², perfazendo uma área total de 519,75 Km² cobrindo toda a área onde existem cavernas conhecidas na região. Nesta, 282 cavernas foram inventariadas e quatro ferramentas para valoração do patrimônio espeleológico foram utilizadas: i) riqueza total; ii) complexidade ecológica de cada caverna; iii) presença de espécies troglóbias; iv) status de conservação da caverna e entorno. Desta forma, a definição de áreas prioritárias foi baseada na sobreposição destes quatro itens considerados de alta relevância para a conservação. Para obter-se uma visão geral da similaridade da fauna de invertebrados cavernícolas entre os polígonos estudados, o modelo de escalonamento multidimensional não-métrico (nMDS) foi utilizado. Como resultado, seis áreas da região foram consideradas como prioritárias para a conservação. Tais áreas compreendem dois polígonos que abrangem a porção oeste periférica à área urbana de Pains; a porção sul da área urbana de Doresópolis; a região da Gruta do Zizinho Beraldo; a região da Gruta da Fazenda Amargoso e a área das Grutas do Brega e Santuário. Tais polígonos representam menos de 7% da área com cavernas conhecidas para a região, sendo que algumas estão associadas a áreas de mananciais. Destas áreas, considera-se emergencial quanto à definição de estratégias de conservação a região localizada nas imediações da cidade de Pains, tendo em vista a contigüidade de dois polígonos e as inúmeras pressões antrópicas ali existentes. Através da análise nMDS não foi possível verificar agrupamentos que pudessem relacionar a similaridade biológica com a distribuição geográfica das áreas estudadas. Assim, pode-se considerar esta área cárstica como homogênea em termos de composição faunística. Vale ressaltar que embora uma unidade de conservação (UC) tenha sido recentemente criada na área correspondente ao entorno do município de Pains, ela não assegura a preservação de grande parte do patrimônio bioespeleológico da região. Desta forma, é de fundamental importância a criação de outras UC's nas demais áreas apontadas aqui como prioritárias. Além disso, recomenda-se o encorajamento de criações de RPPNs

na região para que outras áreas venham a ser preservadas. As cinco áreas aqui indicadas representam 30% da diversidade de invertebrados cavernícolas da região. Desta forma, a criação de outras áreas de proteção baseadas no conceito de complementaridade pode resultar em uma estratégia eficiente de conservação da biodiversidade cavernícola da região.

Palavras-chave: Carste; Arcos, Pains, Doresópolis; Invertebrados cavernícolas; Áreas prioritárias; Conservação.

2 ABSTRACT

The creation of conservation units has been the main instrument for the maintenance of biodiversity in several regions of the planet. Minas Gerais is the state with the highest number of caves in Brazil, and the karstic region of Arcos, Pains e Doresópolis, in the central-western portion of the state, currently represents the largest concentration of caves in the country and one of the main examples of the conflict between the preservation of the speleological patrimony and the environmental impacts derived from mining activity. The objective of the present study is determining areas having priority for the conservation of cave invertebrate biodiversity in the region. For the definition of these areas, 77 hexagonal polygons have been proposed, each one with an area of 6.75 Km², totalizing an area of 519.75 Km², covering the entire area with known caves in the region. In that area, 282 caves have been catalogued and four tools for the valuation of the speleological patrimony have been used: i) total richness; ii) ecological complexity of each cave; iii) presence of troglobite species; iv) the status of the conservation of the cave and its surroundings. The definition of prior areas has been based on the superposing of these four items considered to be highly relevant for the conservation. For a general view of the similarity of the cave invertebrate fauna among the studied polygons, the non-metric multidimensional scaling (nMDS) method has been used. Six areas have been considered prior for the conservation. Those areas comprise two polygons which embrace the western peripheral portion of the urban area of Pains; the southern portion of the urban area of Doresópolis; the region of Gruta do Zizinho Beraldo; the region of Gruta da Fazenda Amargoso and the area of Gruta do Brega and Gruta do Santuário. Those polygons represent less than 7% of the area with known caves in the region, and some of those caves are associated to fountainhead areas. The region located in the neighborhood of the city of Pains is considered to have an emergency character regarding the definition of strategies of conservation, due to the contiguity of two polygons and the strong anthropic pressure existent there. Using the nMDS analysis, it has not been possible to verify groupings that could relate the biological similarity to the geographical distribution of the studied areas. Thus, this karstic area can be considered homogeneous in terms of faunistic composition. It should be noted that despite the recent creation of a conservation unity in the surroundings of the city of Pains, it does not ensure the preservation of a big part of the biospeleological patrimony of the region. Hence, the creation of other conservation unities is of fundamental importance in the other areas pointed out as prior. The encouragement of the creation of Particular Reserves of the Natural Patrimony is also recommended, for other areas to start being preserved. The five areas indicated in this study represent 30% of the cave invertebrate diversity

of the region. Thus, the creation of other areas based on the concept of complementarity can result in an efficient strategy of conservation of the cave biodiversity of the region.

Key-words: Karst; Arcos, Pains, Doresópolis; Cave invertebrate; Prior areas, Conservation.

3 INTRODUÇÃO

Em diversas regiões do planeta a criação de unidades de conservação tem sido o principal instrumento para a manutenção da biodiversidade. Esta estratégia tem se mostrado eficiente e necessária até que a sociedade seja capaz de gerenciar os recursos naturais de maneira sustentável. Tais áreas existem em aproximadamente 80% dos países do mundo e cobrem aproximadamente 11,5 % da superfície terrestre (Mulongoy & Chapes, 2004).

As primeiras unidades de conservação foram criadas durante o século XIX com o objetivo de preservar paisagens de relevante beleza cênica para as futuras gerações, mas foi durante o século XX que este instrumento se popularizou em virtude do conhecimento sobre altas taxas de extinção de espécies, resultando na criação da maioria das áreas protegidas atualmente existentes (Lawton & May, 1994; Wilson, 1992). No entanto, até recentemente, as áreas protegidas eram estabelecidas por critérios subjetivos para a efetiva conservação da biodiversidade, dentre eles, vale destacar fatores como beleza cênica, ambientes preservados, potencial turístico ou áreas de menor interesse econômico (Pressey et al., 1996; Pressey & Tully, 1994; Scott et al., 2001).

Esta seleção “*ad hoc*” deixou muito a desejar quanto à capacidade destas áreas realmente representarem e protegerem amostras significativas da diversidade de espécies e ecossistemas naturais resultando numa distribuição tendenciosa em regiões remotas (altitudes mais elevadas, relevos acidentados e solos pobres) onde a exploração econômica do território era menos viável (Margules & Pressey, 2000; Rodrigues et al., 1999; Scott et al., 2001).

As florestas tropicais e subtropicais são consideradas como áreas prioritárias para conservação da biodiversidade mundial (Rodrigues et al., 2004). No entanto, áreas protegidas já implantadas em muitos locais do planeta não têm correspondido adequadamente aos objetivos de conservação. Rodrigues &

Young (2000), ao compararem a distribuição das áreas naturais protegidas por unidades de conservação no Peru (país considerado megadiverso) e as áreas de maior representatividade biológica, concluíram que aproximadamente 50% destas áreas estão completamente desprotegidas.

Desta forma, critérios anteriormente utilizados para o estabelecimento de reservas naturais têm sido revistos e substituídos por outros que contêm informações mais significativas do ponto de vista biológico. Dentre eles, os padrões de distribuição da biodiversidade (representatividade taxonômica e ambiental, diversidade de espécies, presença de organismos raros ou endêmicos), lacunas de conhecimento (principalmente em países megadiversos onde uma parte significativa da diversidade biológica ainda é desconhecida) e a vulnerabilidade das áreas naturais têm norteado as estratégias de conservação de espécies e ecossistemas em todo o mundo (Ando et al., 1998; Bibby et al., 1992; Langhammer et al., 2007; Prendergast & Eversham, 1997; Rodriguez & Young, 2000).

Ao longo das últimas duas décadas, um considerável progresso tem sido obtido na designação de redes de unidades de conservação. Um consenso atual sobre a eficiência de tais áreas é que estas devem apresentar tamanho suficiente para assegurar a persistência dos componentes da biodiversidade (variabilidade genética, espécies, ecossistemas e processos ecológicos) representando-a de maneira significativa. Tais áreas devem, ter ainda, capacidade de resistir às crescentes pressões antrópicas e ao serem estabelecidas, deve-se considerar o contexto local e suas relações sociais e econômicas diante dos objetivos de conservação dos recursos naturais (Bedward et al., 1992; Maiorano, 2006; Pinto & Brito, 2003; Redford & Richter, 1999; Rodrigues et al., 2004).

Diversos trabalhos realizados em escalas locais e globais tiveram como foco a identificação de áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade (Andriamampianina et al., 2000; Bibby et al., 1992; Rodrigues et al., 2004;

Seymour et al., 2001). Os vertebrados e as plantas, em geral grupos taxonomicamente bem resolvidos e com nível aceitável de informações sobre os padrões de distribuição das espécies, representam os grupos mais utilizados como indicadores de *hotspots*¹ de biodiversidade (Myers et al., 2000). Exceções são alguns poucos trabalhos que utilizam grupos de invertebrados (Andriamampianina et al., 2000).

Em relação aos métodos para a seleção de unidades de conservação (*reserve selection*), as mais recentes pesquisas estão voltadas à criação simultânea de uma rede de áreas protegidas através de métodos interativos e análise de lacunas espaciais (*gap analysis*) (Bedward et al., 1992; Burley, 1988; Caicco et al., 1995; Haight et al., 2000; Kirkpatrick, 1983; Margules & Austin, 1994; Margules et al., 1988; Margules & Pressey, 2000; Mckendry & Machliss, 1991; Nalle et al., 2002; Pressey et al., 1997; Pressey & Tully, 1994; Scott et al., 1993). Entretanto, tais métodos apresentam diferentes limitações, como ausência de mapas de distribuição e informações suficientes sobre a biodiversidade e, muitas vezes, não consideram questões importantes como a conectividade entre as áreas ou previsões de mudanças climáticas e suas possíveis consequências sobre a extinção de espécies (Araujo et al., 2004).

Cerca de 10 a 15% da superfície terrestre do planeta compreendem áreas cársticas. Destas, 45 regiões são consideradas como patrimônios da humanidade (World Heritage) pela International Union for Conservation of Nature (IUCN) e destacadas como extremamente relevantes para conservação da biodiversidade e da geodiversidade mundial (International Union for Conservation of Nature - IUCN, 2008). Embora a IUCN considere que as paisagens cársticas estejam bem representadas neste grupo de patrimônios mundiais, apenas duas áreas na América Latina foram contempladas até o momento (Parque Nacional Canaima

¹ Ambientes que se encontram extremamente ameaçados pelas pressões antrópicas, mas que ainda retém uma alta taxa de diversidade e endemismos e onde as ações de conservação devem ser consideradas urgentes (Myers et al., 2000).

na Venezuela e Parque Nacional Desembarco del Granma em Cuba) e inúmeras outras importantes regiões cársticas do planeta ainda não foram consideradas.

Regiões cársticas são caracterizadas como complexos geológicos dinâmicos em constante modificação principalmente pela ação da água que atua na formação, moldagem e deposição de inúmeras feições. Dentre estas, as cavernas são consideradas um importante elemento da paisagem e a principal “janela” para a realização de estudos sobre a biodiversidade subterrânea (Gibert et al., 1994b; Howarth, 1981).

Cavernas são definidas como cavidades naturais subterrâneas e que, em geral, possuem continuidade com ambientes epígeos estando suscetíveis à colonização por espécies pré-adaptadas (Gibert et al., 1994a). Tais ecossistemas possuem características singulares que os diferenciam dos ambientes epígeos, como por exemplo a elevada estabilidade ambiental e a ausência permanente de luz, sendo estas determinantes da composição e estrutura das comunidades de invertebrados (Culver, 1982; Holsinger & Culver, 1988; Poulson & White, 1969). Mesmo diante de tamanha singularidade biológica associada a uma extrema vulnerabilidade ambiental, as áreas cársticas, normalmente ricas em recursos hídricos, são utilizadas desde os primórdios da humanidade como áreas de interesse para o uso e ocupação (Daoxian, 1993).

Os ambientes cársticos sofrem grandes ameaças decorrentes de atividades antrópicas. Alguns dos principais impactos e provavelmente mais significativos são causados pelo desflorestamento e posterior uso agrícola, exploração de água subterrânea, mineração, urbanização e turismo (Williams, 1993). Gillieson (1996), discutindo os problemas ambientais associados ao uso da terra em áreas cársticas, atenta para a importância da cobertura vegetal na manutenção do solo nos processos de carstificação, e Smith (1993), discorrendo sobre a natureza dos aquíferos cársticos, ressalta a suscetibilidade destes à poluição.

Estas áreas apresentam severas dificuldades quanto à definição de estratégias de conservação em virtude da fragilidade intrínseca dos sistemas, que dependem da permeabilidade hídrica, e das distintas características da biodiversidade associada. A presença de espécies com alto grau de endemismo, que apresentam especializações evolutivas ao sistema subterrâneo, em geral dependentes da importação de recursos do ambiente epígeo e que apresentam uma elevada sensibilidade a flutuações climáticas ambientais, são alguns dos fatores que indicam a enorme fragilidade destas comunidades (Culver, 1986). Alterações antrópicas como o desmatamento no ambiente epígeo, poluição de rios, minerações ou exploração turística, podem causar sérios danos à fauna subterrânea (Ferreira, 2004; Ferreira & Horta, 2001; Souza-Silva, 2008).

Desta forma, esforços para a compreensão da distribuição da biodiversidade, bem como para a definição de áreas prioritárias para conservação da diversidade subterrânea (principalmente para organismos aquáticos) têm sido realizados em diferentes partes do mundo (Achurra & Rodriguez, 2008; Christman et al., 2005; Culver et al., 2004; Culver & Sket, 2000; Dole-Olivier et al., 2009; Ferreira et al., 2007; Michel et al., 2009; Sharratt et al., 2000).

No Brasil, estima-se que as áreas cársticas carbonáticas perfaçam cerca de 200 mil km². Considerando o pouco conhecimento disponível sobre rochas suscetíveis a gênese de cavidades naturais, acredita-se que cerca de 5% da superfície do país (450.000 km²) apresente condições favoráveis para a ocorrência destes ecossistemas (Auler et al., 2001). As extensões dos afloramentos de rochas carbonáticas, associadas às amplas áreas de rochas siliciclásticas e aos singulares e cada vez mais frequentes registros de cavidades em outras litologias (e.g. minério de ferro), indicam uma enorme demanda de trabalhos a serem realizados no país. Desta forma, espera-se que o potencial espeleológico brasileiro seja superior a 100.000 cavernas, sendo considerado o

país com maior potencial na América do Sul (Auler et al., 2001). Entretanto, até o momento, apenas pouco mais de 7.000 cavernas encontram-se cadastradas junto aos órgãos ambientais e a sociedade civil (CECAV, 2009; SBE, 2009). Destas, 48% estão em municípios com atividade minerária e apenas 27% localizam-se em algum tipo de unidade de conservação (Marra, 2008).

Minas Gerais é o estado brasileiro que possui o maior número de cavernas, sendo que a região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis, no centro-oeste do estado, representa atualmente a maior concentração de cavernas do país com 1.200 cavidades cadastradas (CECAV, 2009; SBE, 2009). Apesar desta grande concentração, as cavernas não ultrapassam 100 metros de desenvolvimento, sendo consideradas de pequeno porte quando comparadas às demais cavidades formadas em rochas carbonáticas. No entanto, em hipótese alguma cavernas de pequenas dimensões podem ser consideradas como ecossistemas de baixa relevância bioespeleológica. Um exemplo claro desta afirmação pode ser observado nas pequenas cavernas ferruginosas encontradas no quadrilátero ferrífero de Minas Gerais, nas quais existem comunidades de elevada diversidade e complexidade com inúmeras espécies endêmicas (Ferreira, 2004; Ferreira, 2005b; Ferreira et al., 2009; Souza-Silva, 2008).

Recentemente, duas importantes áreas do estado com ocorrência de cavidades naturais foram consideradas como áreas de Importância Biológica Especial²: a região da Lapa Nova de Maquiné e a região de Arcos, Pains e Doresópolis. Tal indicação foi publicada no atlas de áreas prioritárias para conservação da biodiversidade no estado, que possui o objetivo de informar e orientar projetos e programas relacionados à proteção e manutenção da biodiversidade das espécies de fauna e flora nativas (Drummond et al., 2005). Isto só foi possível devido à realização de levantamentos bioespeleológicos e

² Áreas com ocorrência de espécie(s) restrita(s) à área e/ou ambiente(s) único(s) no Estado de Minas Gerais.

informações sobre a ocorrência de diversas espécies troglomórficas na região (Ferreira, 2004; Ferreira et al., 2009).

No entanto, infelizmente a região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis representa um dos principais exemplos brasileiros de conflito entre a preservação do patrimônio espeleológico e os impactos ambientais decorrentes da atividade minerária. Nesta localidade, diversas áreas calcárias têm sido foco da exploração por parte de grandes empresas nacionais e multinacionais, muitas delas atuando de maneira ilegal e insustentável (Cherem & Magalhães Júnior, 2007). Este tipo de atividade tem alterado as áreas com ocorrência de rochas carbonáticas, transformando a paisagem e provocando inúmeros impactos ambientais e resultando, inclusive, na supressão de cavidades naturais.

Apesar de sua relevância no contexto nacional e diante das iminentes pressões antrópicas, apenas recentemente foram criadas as duas primeiras unidades de conservação na região, sendo um parque municipal e um monumento natural (Pains, 2006; Pains, 2009). O Parque Natural Municipal Dona Ziza foi criado com o objetivo principal de incentivar atividades de pesquisa científica, bem como a educação ambiental e a recreação em contato com a natureza. Já o monumento Natural Jardim do Éden foi decretado em virtude de atributos geológicos da Gruta com mesmo nome e frente à importância dos sistemas hídricos para o abastecimento da cidade. Em ambos os casos, nenhum atributo biológico com base em informações científicas foi levado em consideração. Nesta perspectiva, a definição de áreas prioritárias para a conservação fundamentadas no conhecimento sobre a biodiversidade subterrânea é emergencial.

4 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo principal determinar áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade de invertebrados cavernícolas na região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG). Para tanto, buscou-se responder as seguintes questões:

- a) Qual é a riqueza, a complexidade ecológica, a diversidade de espécies troglóbias e o grau de vulnerabilidade das cavernas estudadas?
- b) Quais áreas da região representam áreas de maior relevância biológica frente aos diferentes impactos ambientais?
- c) Qual a similaridade entre as áreas amostradas?

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Área de Estudo

A região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis situa-se no centro-oeste de Minas Gerais, na porção sul do grupo carbonático Bambuí, distante 230 km de Belo Horizonte. Esta região insere-se na porção meridional do cráton São Francisco, onde afloram rochas carbonáticas, pelíticas e raros conglomerados (Magalhães, 1989). O exocarste apresenta-se com aspecto ruiforme e bastante erodido, com afloramentos calcários escarpados, estruturas com dobramentos, fraturas e falhas regionais. Destas condições resultaram maciços isolados recortados por inúmeros corredores de diáclases, separados por um relevo aplainado com presença de dolinas, uvalas, sumidouros, surgências e vales cegos. Estas feições fazem parte de um sistema complexo que contempla a existência de um grande número de cavidades naturais.

Até o momento foram identificadas aproximadamente 1.200 cavernas o que representa aproximadamente 17% do total de cavidades conhecidas para o Brasil. Outro aspecto importante a ser ressaltado é que as cavernas utilizadas neste estudo estão inseridas em áreas remanescentes do bioma do Cerrado. Este bioma, considerado como um dos mais importantes *hotspots* para conservação da biodiversidade mundial e que deve receber atenção prioritária à conservação (Myers et al., 2000), compreende 62% do patrimônio espeleológico do país e é apontado como a maior lacuna de proteção no sistema brasileiro de unidades de conservação (Marra, 2008).

5.2 Procedimentos

5.2.1 Sistematização dos dados pré-existent

Trabalhos relativos ao inventariamento de fauna cavernícola têm sido realizados na região espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis desde o ano de 1999 pela equipe do Laboratório de Ecologia Subterrânea da Universidade Federal de Lavras - UFLA, anteriormente sediado na Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, através de diferentes projetos de pesquisa. Neste período, 162 cavernas foram amostradas e os dados de riqueza e ocorrência de espécies troglóbias foram utilizados no presente estudo. Deste material, parte encontra-se depositado na Coleção de Invertebrados Cavernícolas do Setor de Zoologia do Departamento de Biologia da UFLA e o restante encontra-se em poder de taxonomistas ou depositados em coleções de outras instituições de pesquisa, o que limitou sua utilização em todas as análises. Nesta etapa do estudo, todos os morfotipos depositados na coleção foram comparados. Assim, foi possível organizar um banco de dados com as ocorrências e distribuição das espécies, através do georreferenciamento de todas as cavidades.

5.2.2 Definição de lacunas amostrais na região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis

A fim de possibilitar uma análise espacial, as coordenadas das cavernas conhecidas na região foram plotadas sobre um mosaico de imagens de satélite obtidas através do software Google Earth Pro versão 4.2 (Figura 1). Tal procedimento foi baseado nas coordenadas das cavernas retiradas das bases de dados espeleológicos da SBE e do CECAV. Em seguida, uma rede de polígonos hexagonais foi traçada sobre a área correspondente. Optou-se por um padrão de reticulação baseado em hexágonos para que o contorno da área onde existem cavernas pudesse ser mais bem ajustado.

Região Cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG)

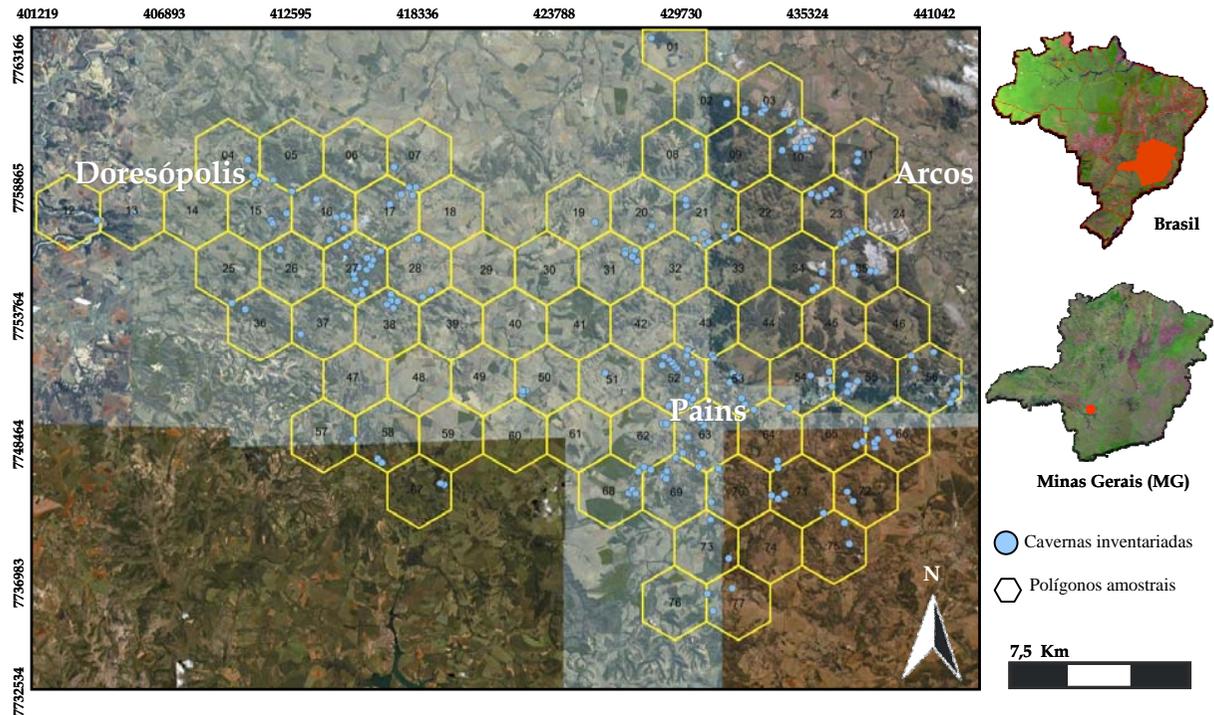


FIGURA 1 Imagem de satélite da região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis com a delimitação da área de estudo. Os polígonos amarelos representam a abrangência total de cavernas conhecidas para a região e os pontos azuis a localização das cavernas inventariadas. Fonte da imagem: (Google, 2009).

Cada um dos polígonos recebeu uma identificação numérica. Foram propostos 77 polígonos hexagonais regulares, cada qual com área correspondente a 6,75 Km², perfazendo uma área total de 519,75 Km² cobrindo toda a área onde existem cavernas conhecidas na região. Apesar de alguns polígonos apresentarem uma grande concentração de cavernas, estes já possuíam uma área espacial muito limitada. Desta forma, a subdivisão dos mesmos em áreas menores acabaria resultando em uma análise muito pontual, perdendo sua relevância como sistema.

Em seguida, foram identificados os polígonos onde não existiam informações biológicas disponíveis provenientes de inventários anteriormente realizados. Estes foram identificadas como lacunas de conhecimento e foram consideradas como áreas prioritárias para serem amostradas, bem como os polígonos que possuíam poucas cavernas inventariadas em relação ao número de cavernas conhecidas. Dentro de cada polígono, a determinação das cavernas a serem inventariadas foi baseada na distribuição espacial, mas também foram considerados fatores como dimensão, condições de entorno e acessibilidade. Vale ressaltar que o número de cavernas amostradas em cada polígono foi desigual, uma vez que a distribuição das cavernas conhecidas não se apresenta de maneira homogênea. Desta forma, buscou-se uma melhor representatividade de cada polígono a partir da concentração de cavernas conhecidas em cada área.

5.2.3 Coleta de invertebrados

A partir da definição das lacunas amostrais, mais 104 cavernas foram amostradas no período de janeiro a setembro de 2009, totalizando 266 cavernas inventariadas pela equipe do Laboratório de Ecologia Subterrânea (UFLA). A estes, foram incorporados dados de 16 cavernas estudadas pela Profa. Maria Elina Bichuette da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), gentilmente cedidos para a complementação do presente estudo. Desta forma, o presente

trabalho utilizou dados de 282 cavernas, que correspondem a aproximadamente ¼ das cavernas conhecidas para a região. Vale ressaltar que estes dados podem ser considerados homogêneos, pois todos foram obtidos a partir de uma metodologia padronizada, a mesma utilizada no presente estudo.

Os invertebrados terrestres foram coletados manualmente em todos os biótopos potenciais existentes em cada cavidade, conforme metodologia proposta por Ferreira (2004). Em cada biótopo foi realizada uma procura visual detalhada, priorizando microhabitats como troncos, depósitos de guano, espaços sob-rochas e locais úmidos para a coleta dos invertebrados com o auxílio de pinças, pincéis e redes entomológicas. Cada organismo observado teve seu local de coleta registrada em um mapa da cavidade de forma a gerar, ao final do inventário, informações concernentes sobre a riqueza de espécies, diversidade e abundância relativa de cada população. Todos os organismos coletados foram conservados em álcool 70%, posteriormente identificados até o menor nível taxonômico possível e separados em morfoespécies, sendo parte do material encaminhado a especialistas.

As coordenadas geográficas de cada caverna foram obtidas através de aparelho de GPS (datum WGS 89) e os pontos foram plotados sobre um mosaico de imagens de satélite da região (Google, 2009) georreferenciadas através do programa computacional Arcview 9.0.

5.3 Análises dos dados

5.3.1 Ferramentas de valoração das cavernas

No intuito de tornar a abordagem conservacionista mais operacional durante a definição de áreas prioritárias para conservação, deve-se tomar como base duas características: a insubstituibilidade (*e.g.* espécies raras, endêmicas e/ou ameaçadas de extinção, ecossistemas diversos, unidades de paisagens

singulares, entre outros) e a alta vulnerabilidade ambiental. Estas áreas devem ser consideradas como as maiores prioridades de conservação em uma região (Pressey, 1999; Wilson et al., 2005). Sendo assim, a valoração das cavernas foi realizada através da avaliação dos impactos e da estrutura das comunidades cavernícolas utilizando quatro ferramentas distintas: i) Riqueza total de espécies de invertebrados; ii) Complexidade ecológica de cada sistema; iii) Presença de populações troglóbias de ampla distribuição ou endêmicas; iv) Status de conservação de cada caverna e entorno (vulnerabilidade). Assim, a definição de áreas prioritárias para a conservação foi baseada na sobreposição destes quatro itens considerados de alta relevância.

5.3.1.1 Riqueza total de espécies de invertebrados

A riqueza total de invertebrados foi obtida através do somatório do total de morfoespécies encontradas em cada caverna. A riqueza total é um fator relevante, já que em cavernas mais ricas podem ocorrer interações ecológicas mais complexas (Ferreira, 2004). Apesar de a riqueza total estar correlacionada ao desenvolvimento linear das cavidades (Schneider & Culver, 2004b) e à extensão total das entradas, no presente trabalho optou-se por não relativizá-la, dividindo seus valores por estas variáveis em cada caverna. Em virtude do grande número de cavidades de pequenas dimensões, a riqueza relativa supervalorizaria áreas com um grande número de pequenas cavernas com baixa riqueza e baixa complexidade ecológica, diminuindo a representatividade da biodiversidade de invertebrados cavernícolas nas áreas escolhidas. Para análise de riqueza total foram utilizados dados de 282 cavernas.

5.3.1.2 Índice de Complexidade Ecológica das Cavernas (ICE)

A análise da complexidade biológica das cavidades foi realizada utilizando-se o Índice de Complexidade Ecológica em Cavernas (ICE) modificado de Ferreira (2004). Para estas análises foram utilizados dados de 167 cavidades que possuíam informações referentes à abundância e distribuição dos organismos no sistema cavernícola.

5.3.1.3 Riqueza e determinação de espécies troglóbias

Troglóbios são organismos que apresentam populações restritas ao ambiente cavernícola. A determinação de uma espécie como troglóbia depende da compreensão do ciclo de vida de cada uma ou do conhecimento prévio sobre toda a biodiversidade existente no ambiente epígeo. No entanto, a primeira condição foge do escopo do presente trabalho, já que muitas espécies consideradas troglóbias encontradas neste estudo compreendem espécies ainda não descritas e sobre as quais o conhecimento é virtualmente nulo, e a segunda é inviável em se tratando de países considerados megadiversos como o Brasil.

Desta forma, a determinação de espécies potencialmente troglóbias foi realizada através da identificação, nos organismos, de características morfológicas denominadas “troglomorfismos” e a riqueza de troglóbios de cada caverna foi obtida através do somatório do total de morfoespécies troglóbias encontradas. Tais características, como redução da pigmentação melânica, redução das estruturas oculares, alongamento de apêndices, dentre outras, são utilizadas frequentemente em diferentes partes do mundo para a maioria dos grupos, uma vez que resultam de processos evolutivos ocorrentes após o isolamento de populações no ambiente subterrâneo. Assim, as espécies consideradas como troglóbias no presente estudo foram considerados como troglóbios efetivos e compreendem os chamados “troglóbios avançados”, que já

colecionam modificações morfológicas obtidas ao longo da evolução em isolamento em habitats subterrâneos (Ferreira et al., 2009).

Durante o trabalho foram encontradas espécies troglóbias com ampla distribuição e espécies troglóbias endêmicas a uma única cavidade. Desta forma, optou-se por atribuir uma valoração diferenciada para ocorrência de espécies troglóbias endêmicas, sendo que para cada espécie encontrada, foi computado um ponto a mais na classificação final do polígono neste atributo. Tal método foi adotado em virtude das características ecológicas destes organismos que podem apresentar uma maior susceptibilidade a processos de extinção e, suas localidades-tipo, serem consideradas primariamente como cavernas insubstituíveis. Para análise de riqueza de espécies troglóbias foram utilizados dados de 282 cavernas.

5.3.1.4 Grau de vulnerabilidade das cavernas

A vulnerabilidade das cavernas e posteriormente dos polígonos foi obtida através da avaliação do grau de impactos no interior e nas adjacências de cada caverna inventariada sendo esta, adaptada da proposta elaborada por Souza-Silva (2008) (Apêndice 2 - Tabela 2B). Apesar desta análise originalmente considerar a junção de dois atributos (relevância biológica e grau de impactos), no presente estudo optou-se por realizar a análise de vulnerabilidade apenas através da avaliação dos impactos ambientais existentes em cada área estudada uma vez que a riqueza total e de troglóbios foram atributos avaliadas separadamente.

Segundo Souza-Silva (2008) o impacto refere-se ao nível em que determinada pressão antrópica poder afetar, direta ou indiretamente, a estrutura das comunidades de invertebrados presentes em cada caverna. Desta forma, as alterações observadas em cada área estudada foram categorizadas em relação a *usos e impactos*, sendo considerados *usos* as atividades turísticas e religiosas e

impactos, o pisoteio, a iluminação artificial, a mineração e as alterações conseqüentes destas atividades. A partir da identificação dos *usos e impactos* nas cavernas procedeu-se a uma subcategorização concernente à magnitude visual ou biológica destes *impactos*. Na categoria de *impactos visuais* foram consideradas as alterações pontuais que afetam mais a parte física da caverna do que as comunidades biológicas (*e.g.* depredação de espeleotemas ou pichações). Estes impactos visuais podem trazer alterações mínimas para a fauna de invertebrados cavernícolas quando comparados a *impactos biológicos* como as alterações tróficas devendo, desta forma, receber uma classificação distinta.

Na definição dos *impactos biológicos* foram consideradas modificações que podem levar à *depleção*, *enriquecimento* ou *alteração* dos recursos orgânicos e/ou da fauna da cavernícola. Entende-se por *impacto de depleção* a redução de recursos tróficos ou da fauna em função das atividades antrópicas. *Impactos de enriquecimento* são atividades antrópicas que promovem o aumento na disponibilidade de recursos orgânicos para a fauna. Este tipo de alteração pode ser positivo se realizado de forma tênue (*e.g.* os recursos tróficos adicionais podem manter as comunidades de invertebrados cavernícolas mais ricas e abundantes). *Impactos de alteração* são aqueles que modificam, no espaço e no tempo, a estrutura física de habitats ou microhabitats nas cavernas. Cada um destes três tipos de *impactos biológicos* foi classificado em intenso (potencialmente causador de alterações intensas sobre a fauna, recebendo peso 2) ou tênue (potencialmente causador de alterações reduzidas sobre a fauna, recebendo peso 1).

Uma segunda classificação adicionada à análise dos *impactos biológicos* diz respeito à permanência dos mesmos. A permanência refere-se ao período de tempo de persistência do impacto na caverna. Desta forma, os impactos foram considerados de curta duração (peso 1) ou contínuos (peso 3). Alterações

antrópicas tênues de curta duração e baixa frequência podem permitir a recuperação rápida da fauna depois de cessada a intervenção.

A terceira e última classificação de *impactos* refere-se à sua abrangência na caverna. *Impactos* pontuais ou restritos à entrada receberam peso 1, enquanto aqueles que ocorrem em uma grande extensão da caverna receberam peso 2. Um resumo exemplificando o sistema de pontuação dos impactos observados nas cavernas pode ser observado na Tabela 1:

TABELA 1 Exemplo do método de avaliação dos impactos observados no interior e nas adjacências das cavernas pesquisadas.

Impacto	Tipo	Grau (Peso)	Permanência	Abrangência
Pisoteamento	Alteração	Intenso (2)	Contínua (3)	Ampla (2)
Equipamento	Alteração	Tênue (1)	Contínua (3)	Pontual (1)
Desmatamento	Alteração + Depleção	Intenso (2+2)	Contínua (3)	Ampla (2)
Lixo	Enriquecimento + Alteração	Tênue (1+1)	Curta (1)	Pontual (1)

Por fim, a categorização das cavernas quanto ao grau de impactos foi realizada a partir do somatório dos pontos obtidos em cada item. O maior valor obtido no somatório dos *impactos* serviu de base para a determinação das quatro classes de vulnerabilidade: extrema, alta, média e baixa. Para esta classificação foram utilizados dados de 96 cavidades, todas amostradas durante o ano de 2009. Optou-se por não utilizar dados de impactos observados em períodos anteriores, uma vez que as condições ambientais de tais cavidades e de suas respectivas áreas de entorno poderiam ter se alterado ao longo do tempo.

5.3.2 Análises espaciais, valoração final e determinação de áreas prioritárias para a conservação

A valoração final de cada polígono para cada atributo foi resultado do somatório dos valores obtidos para cada cavidade (riqueza, complexidade ecológica, presença de espécies troglóbias e vulnerabilidade) e divididos pelo número de cavernas estudadas em cada polígono, gerando, assim, os valores médios por polígono. No caso de polígonos com apenas uma caverna amostrada, o valor obtido para esta caverna foi somado ao valor médio encontrado para a região em cada atributo e dividido por dois. Este procedimento foi adotado para evitar uma supervalorização de áreas das quais se tem pouco conhecimento.

Para obter-se a classificação de cada polígono em cada atributo, do maior valor obtido (*e.g.* Riqueza = máx. 65) foi subtraído o menor valor encontrado (*e.g.* Riqueza = mín. 15), e o valor resultante foi dividido por quatro (nº de categorias) para se conhecer o intervalo de cada categoria (*e.g.* intervalo da classe de riqueza: $65-15 = 50$; $50/4 = 12,5$). Este intervalo serviu como base para o cálculo de cada categoria (extrema, alta, média e baixa) e posterior classificação dos polígonos. Por exemplo: Se a menor riqueza (S) foi 15. A este valor foi adicionado o intervalo (12,5) resultando na primeira categoria (Baixa). Portanto, polígonos que apresentaram riqueza média entre 15 e 27,5 foram classificados como áreas de riqueza baixa. Ao novo valor base (27,5) foi adicionado um novo intervalo (12,5) cujo resultado obtido (40) representa o valor máximo da nova categoria (Média), e assim sucessivamente.

Estes valores foram utilizados para a construção dos quatro mapas com os padrões dos atributos biológicos estudados. Estes foram confeccionados com o auxílio do programa BoundarySeer versão 1.2.0. Tal programa atribui uma escala de cores às diferentes unidades amostrais representadas por hexágonos. As cores em cada um dos polígonos simbolizam o valor da variável mapeada. Tons claros correspondem a baixos valores e escuros a altos valores. Entretanto,

para uma melhor interpretação dos resultados optou-se pela utilização de apenas quatro padrões de cores (vermelho, laranja, amarelo escuro e amarelo claro) que correspondem às quatro categorias dos atributos avaliados.

Finalmente, foram sobrepostos os mapas de riqueza, complexidade, presença de espécies troglóbias e vulnerabilidade das cavernas em toda a área amostrada. Esta sobreposição foi realizada através do somatório da classificação dos quatro quesitos biológicos avaliados, sendo realizada da seguinte maneira: a classificação de cada atributo para cada polígono recebeu um peso diferenciado em função de seu resultado: extrema (4), alta (3), média (2) e baixa (1). Em seguida, os valores obtidos foram somados resultando em uma pontuação final para cada polígono. Por fim, novamente o maior o valor encontrado serviu como base para calcular o intervalo entre as categorias, e a classificação seguiu o mesmo princípio da categorização realizada em cada atributo. Assim, as áreas foram classificadas quanto à prioridade de conservação como extrema, alta, média e baixa, conforme indicado abaixo (Tabela 2).

TABELA 2 Exemplo do método de sobreposição dos quatro atributos biológicos avaliados em cada unidade amostral

Polígono	S	P	ICE	P	S Trog	P	Vuln.	P	Σ	Prioridade
Polígono A	Extrema	4	Extrema	4	Média	2	Extrema	4	14	Extrema
Polígono B	Média	2	Média	2	Extrema	4	Extrema	4	12	Alta
Polígono C	Baixa	1	Alta	3	Baixa	1	Média	2	07	Baixa
Polígono D	Baixa	1	Alta	3	Baixa	1	Extrema	4	09	Média

Legenda: S (Riqueza); P (Pontuação); ICE (Índice de Complexidade Ecológica); S Trog. (Riq. de Troglóbios); Vuln. (Vulnerabilidade); Prioridade (Prioridade de conservação)

Como no presente estudo foi realizada apenas uma amostragem em cada caverna, para testar o efeito da influência dos períodos de seca e chuva sobre as

comunidades cavernícolas, os valores de riqueza, complexidade ecológica e presença de espécies troglóbias obtidos para as cavernas amostradas durante o ano de 2009 foram comparados através do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. Estes períodos foram definidos com base nos valores de pluviosidade e disponibilidade de água no solo, sendo os mesmos, obtidos na estação meteorológica mais próxima da área de estudo (município de Bambuí).

5.3.3 Análise de similaridade entre as áreas prioritárias

No intuito de se obter uma visão geral da similaridade da fauna de invertebrados cavernícolas entre os polígonos estudados, foi utilizado o modelo de escalonamento multidimensional não-métrico (nMDS). O nMDS foi construído com base na composição quantitativa da fauna de invertebrados de todas as cavernas presentes em um mesmo polígono utilizando o índice de Bray-Curtys (Magurran, 2004). Para esta análise foi utilizado o software PAST versão 1.97 (Hammer et al., 2003) com dados de 167 cavernas que continham informações sobre presença e abundâncias das espécies.

6 RESULTADOS

A riqueza média observada para a região foi de 35 ($\pm 19,1$) espécies por cavidade. As Grutas da Loca D'água (93 espécies - município de Pains) e Marinheiros (91 espécies - município de Pimenta) foram as cavernas com maior riqueza observada. Dos 77 polígonos propostos cobrindo toda a área de estudo, para 21 não existem registros de cavernas e 56 apresentaram dados de riqueza para pelo menos uma das cavernas inventariadas.

6.1 Riqueza de Espécies (S)

A riqueza média por polígono foi de 43 ($\pm 13,8$) espécies e o número médio de cavernas inventariadas foi igual a cinco. O polígono 52 foi a área com maior esforço amostral ($n = 28$). Este compreende a porção sudoeste do entorno da área urbana de Pains, onde existem várias empresas de mineração instaladas e um dos locais onde se conhece um grande número de cavidades.

A análise espacial dos valores de riqueza média para cada polígono resultou na indicação de 2 polígonos (4%) de riqueza extrema. Estes correspondem aos polígonos 67 ($S_{\text{méd.}} = 79,0$ - região sudoeste da área de estudo no limite entre os municípios de Pains e Pimenta próximo ao ribeirão dos Patos, onde estão localizadas as Grutas do Brega e Santuário, e polígono 43 ($S_{\text{méd.}} = 75,0$ - região leste, ao norte da área urbana de Pains), onde estão presentes as Grutas Paranoá e Isaias. Também foram definidos outros 13 polígonos (23%) de riqueza alta, 25 polígonos (44%) de riqueza média e 16 polígonos (29%) de riqueza baixa (Figura 2).

Análise Espacial - Riqueza média

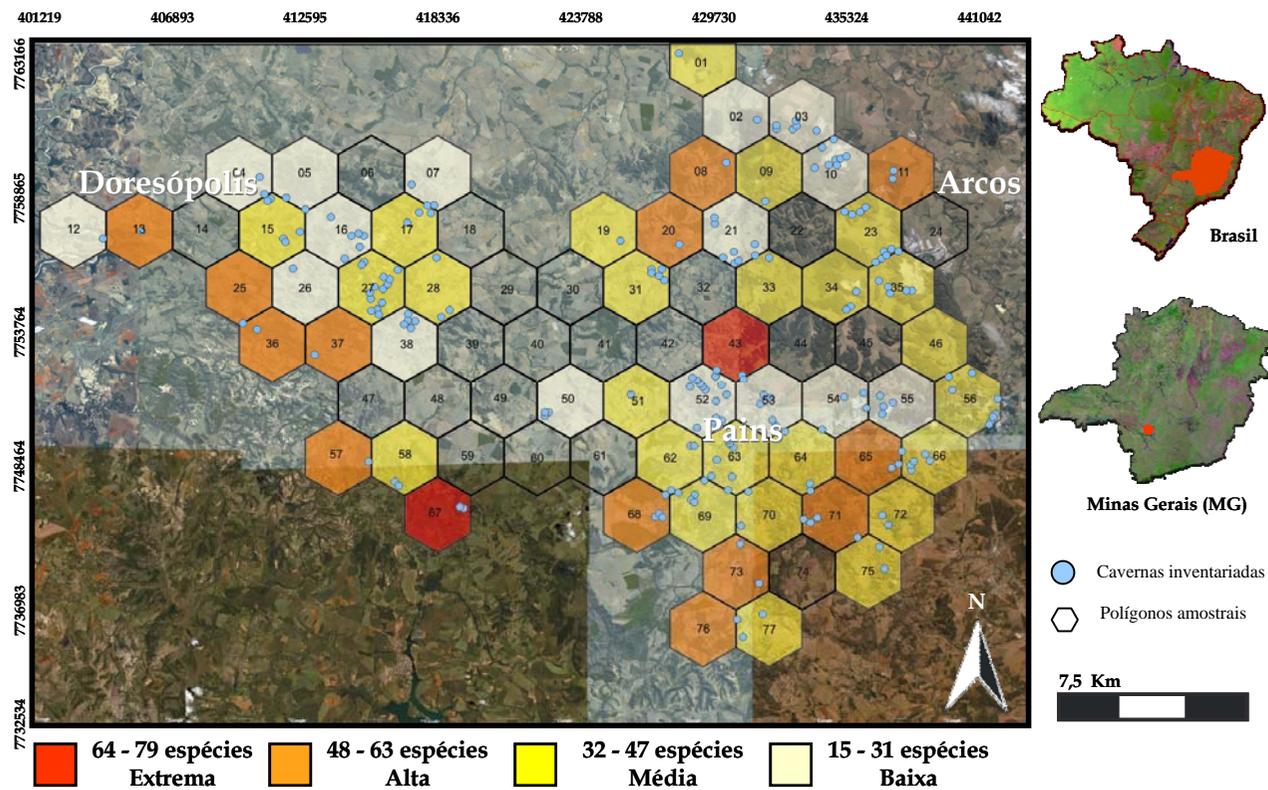


FIGURA 2 Riqueza média de invertebrados por polígono na região de Arcos, Pains e Doresópolis (MG).

6.2 Índice de Complexidade Ecológica das Cavernas (ICE)

Em relação à complexidade ecológica das cavernas estudadas, a Gruta dos Marinheiros apresentou o maior valor de complexidade observado (ICE = 21,80) seguida pela Gruta Paranoá (ICE = 21,02). A complexidade média observada para as cavernas da região foi de 3,67 (\pm 3,87). Para esta análise, 49 polígonos (88%) puderam ser analisados. A complexidade média observada para os polígonos foi de 4,22 (\pm 3,00). O polígono 52 corresponde à área com o maior número de cavernas para as quais a complexidade foi calculada ($n = 16$). Desta forma, foram determinadas três áreas de complexidade extrema (6%), que correspondem principalmente às cavernas Paranoá e Isaias (polígono 43 – ICE_{méd.} = 13,60), Gruta dos Marinheiros (polígono 57 – ICE_{méd.} = 12,73) e as grutas do Zé da Fazenda I e Gruta do Éden (polígono 52 – ICE_{méd.} = 10,81). Quatro áreas (8%) apresentaram alta complexidade (polígonos 20, 37, 65 e 67). O polígono 20 está representado unicamente pela gruta Olhos D'água, enquanto que os polígonos 37, 65 e 67 correspondem às Grutas do Zizinho Beraldo, Gruta das Cerâmicas e em um mesmo polígono, grutas Brega e Santuário. Outras 13 áreas (27%) apresentaram complexidade ecológica média e 28 áreas (59%) apresentaram complexidade ecológica baixa (Figura 3).

Análise Espacial - Índice de Complexidade Ecológica Média (ICE)

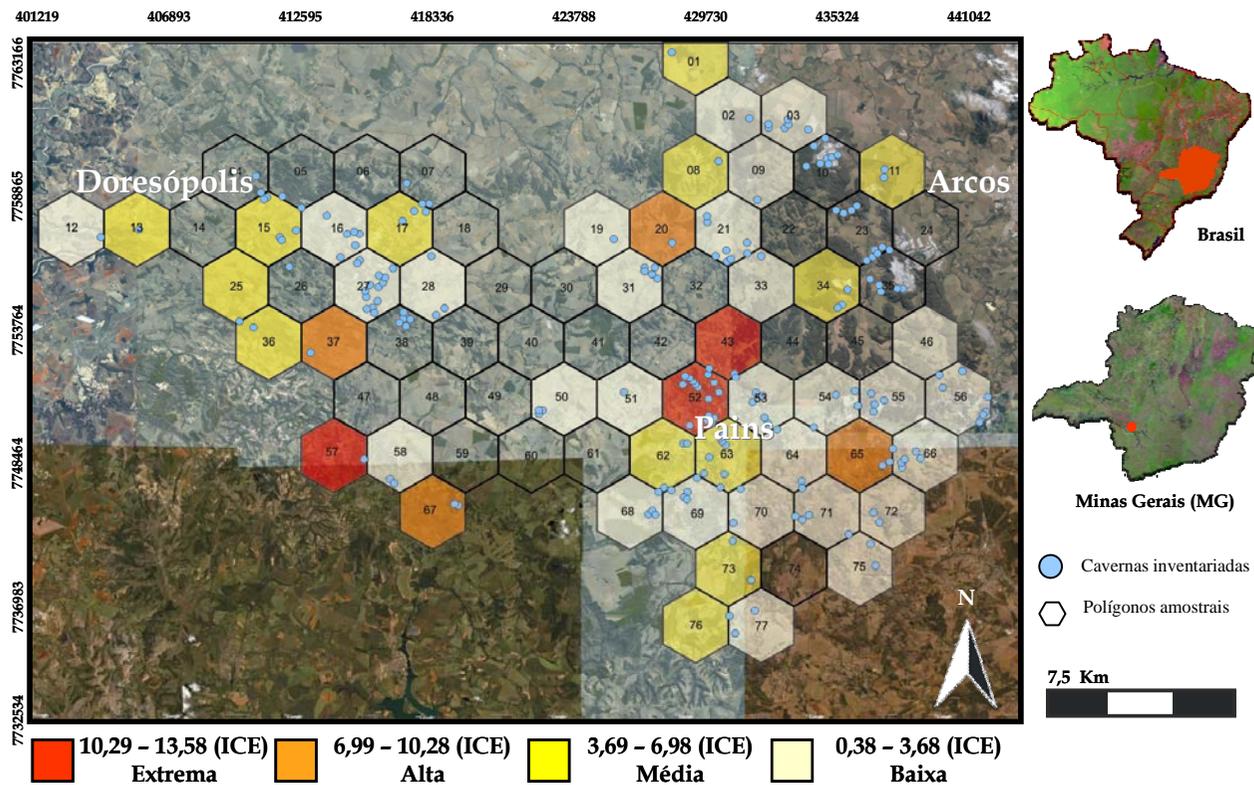


FIGURA 3 Complexidade ecológica média (ICE) por polígono na região de Arcos, Pains e Doresópolis (MG).

6.3 Riqueza de Espécies Troglóbias (ST)

Para as análises de ocorrências de espécies troglóbias foram considerados os dados provenientes de 282 cavernas. Destas, 104 (37%) apresentaram espécies troglomórficas. A Gruta do Éden (8 spp.) e a Gruta Serra Azul (7 spp.) apresentaram as maiores concentrações de espécies troglóbias na região e representam atualmente uma das maiores concentrações de espécies troglóbias conhecidas no país. Outras cavernas a serem consideradas de extrema relevância são as Grutas do Zizinho Beraldo, o Buraco dos Curiós e a Loca dos Negros II com seis espécies cada, e a Gruta Zé da Fazenda I onde foram encontradas cinco espécies troglomórficas.

No total foram encontradas 79 espécies troglóbias. Assim como para a análise de riqueza, 56 polígonos possuíam dados sobre presença ou ausência de espécies troglóbias. A média foi de 1,9 espécies por polígono. Dentre os polígonos estudados, 45 (80%) apresentaram pelo menos uma espécie troglomórfica e apenas onze (20%) não apresentaram nenhuma espécie. Nos polígonos onde não foram encontradas espécies troglomórficas a amostragem variou entre uma a doze cavernas.

Desta forma, foram definidas quatro áreas (7%) como de importância extrema para a conservação de espécies troglóbias que correspondem aos polígonos 13 ($ST_{méd.} = 3,9$ - localizado próximo a área urbana de Doresópolis onde se encontra a Gruta Buraco dos Curiós), 37 ($ST_{méd.} = 3,9$ - Gruta do Zizinho Beraldo), 52 ($ST_{méd.} = 3,6$) e 53 ($ST_{méd.} = 4,0$). No polígono 53 (porção sudeste da área urbana de Pains), das nove cavidades inventariadas, apenas a Gruta Serra Azul apresentou espécies troglóbias. Além das áreas de relevância extrema, foram definidas 14 áreas (25%) de alta relevância, 21 áreas (38%) de relevância média e 17 áreas (30%) de baixa relevância para ocorrência de espécies troglóbias (Figura 4).

Análise Espacial - Riqueza média de Troglóbios

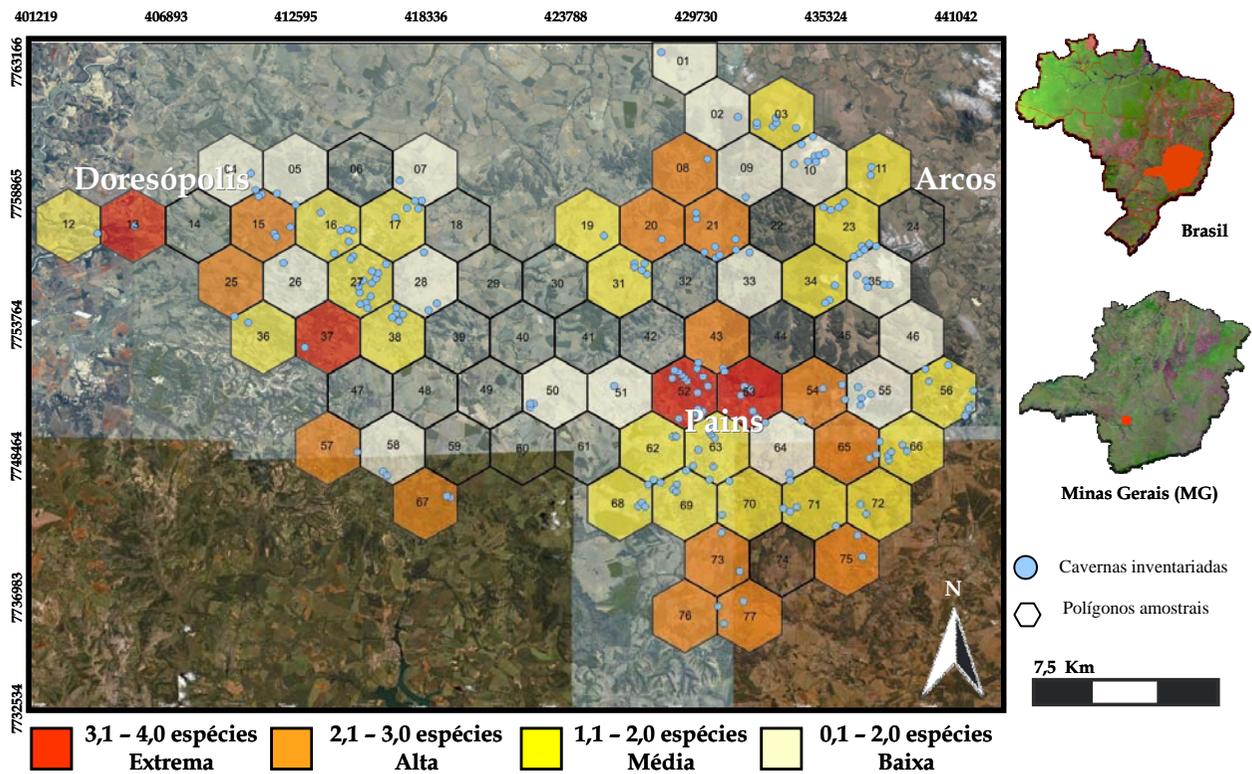


FIGURA 4 Riqueza média de espécies troglóbias por polígono na região de Arcos, Pains e Doresópolis (MG).

6.4 Vulnerabilidade

Para análise de vulnerabilidade, foram avaliados 36 polígonos (64%) que apresentavam informações atualizadas sobre impactos ambientais no interior das cavidades, bem como em suas áreas de entorno. A vulnerabilidade média obtida para cada polígono foi igual 17,1 ($\pm 7,69$) sendo os polígonos 43, 52 e 67 (8%) avaliados como de vulnerabilidade extrema por encontrarem-se suscetíveis a onerosas condições de impactos ambientais. Além destas três áreas de extrema vulnerabilidade, um polígono (3%) foi definido como de alta vulnerabilidade, 15 polígonos (42%) de média vulnerabilidade e 17 polígonos de vulnerabilidade baixa (47%). Das duas áreas de extrema vulnerabilidade, uma está localizada dentro dos limites urbanos do município de Pains, e uma na região das Grutas Brega e Santuário neste mesmo município (Figura 5). Estas áreas de vulnerabilidade alta ou extrema, em geral, encontram-se sob a influência de empreendimentos de mineração, ocupação urbana e/ou rural, atividades agropecuárias, malhas viárias, dentre outros.

Análise Espacial - Vulnerabilidade média

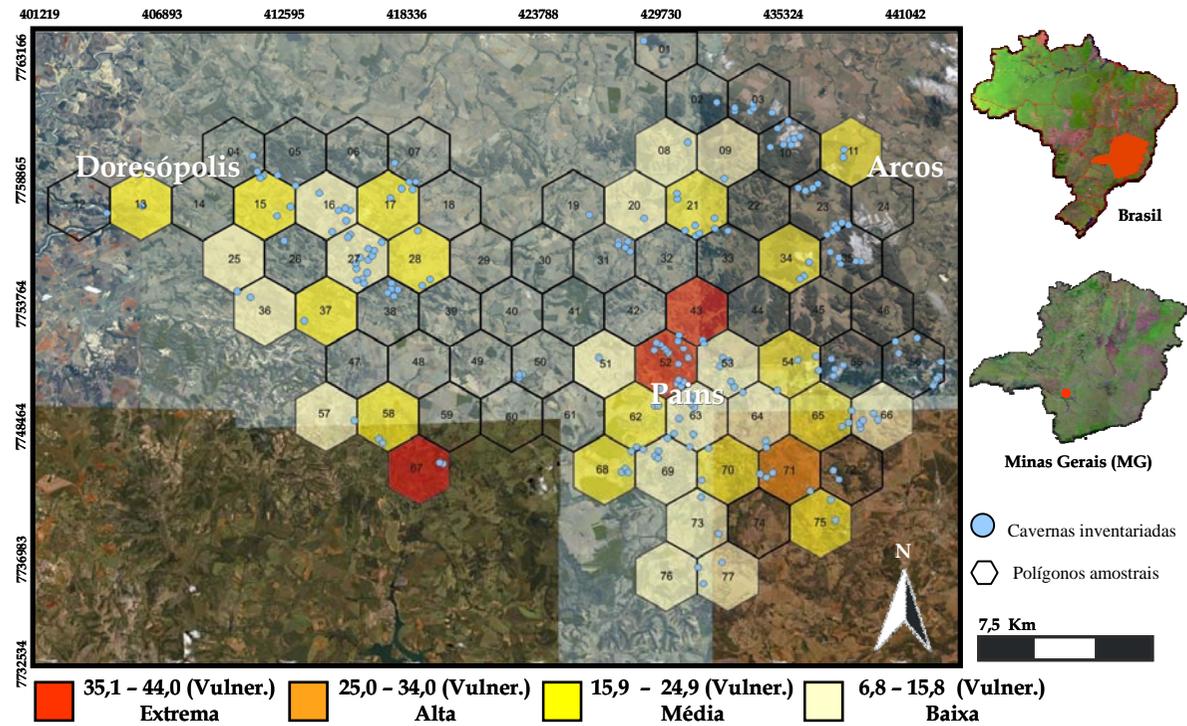


FIGURA 5 Vulnerabilidade média por polígono na região cárstica de Arcos, Pains e Dorésópolis (MG).

6.5 Áreas prioritárias para conservação

Finalmente, a sobreposição dos quatro atributos (riqueza, complexidade, espécies troglóbias e vulnerabilidade) resultou na determinação das áreas prioritárias para conservação da biodiversidade de invertebrados cavernícolas na região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis. Desta forma, foram definidas cinco (14%) áreas consideradas como prioritárias para a conservação da biota subterrânea da região. Tais áreas compreendem dois polígonos que abrangem a porção oeste periférica à área urbana de Pains e encontram-se sobre influência direta de áreas de mineração (polígonos 43 e 52), além dos polígonos 13 (porção sul da área urbana de Doresópolis), 37 (microbacia do córrego do Cavalo, no entorno da Gruta do Zizinho Beraldo) e 67 (região das Grutas Brega e Santuário) (Figura 6). Dentre os polígonos de prioridade alta, foram classificadas seis áreas (17%). Outras 18 áreas classificadas como de prioridade média (50%) e sete áreas foram consideradas como de prioridade baixa (19%).

Análise Espacial - Áreas prioritárias para conservação

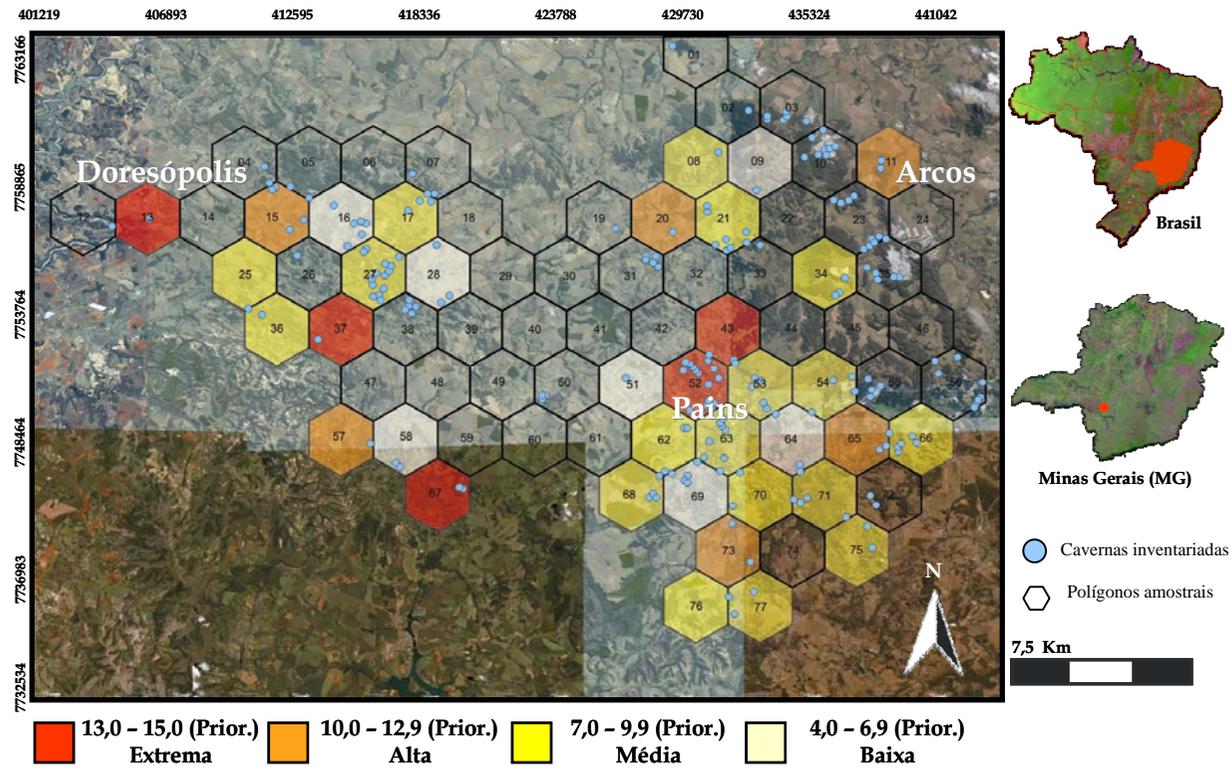


FIGURA 6 Indicação de áreas prioritárias para conservação de invertebrados cavernícolas na região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG).

Os polígonos de prioridade extrema para conservação representam menos de 7% da área com cavernas conhecidas para a região, sendo que alguns estão associados a áreas de mananciais que legalmente são consideradas como áreas de preservação permanente. Das cinco áreas definidas como prioritárias, considera-se emergencial quanto à definição de estratégias de conservação a região localizada nas imediações da cidade de Pains, tendo em vista a contigüidade de dois polígonos (polígonos 43 e 52) e as inúmeras pressões ambientais derivadas da mineração, ocupação e expansão urbana e atividades agropecuárias.

Em relação ao efeito da influência dos períodos de seca e chuva sobre as comunidades cavernícolas, os valores de riqueza, complexidade ecológica e riqueza de espécies troglóbias de cada cavidade não apresentaram diferenças significativas nas diferentes épocas do ano (Apêndice B – Figura 1B). A seguir segue a descrição dos polígonos considerados como prioritários para conservação.

Polígono 13 (405567 - 7754690): Localizado próximo à área urbana do município de Doresópolis, o polígono engloba apenas a Gruta Buraco dos Curiós. Esta possui 280m de desenvolvimento e é composta por dois níveis principais, sendo que o nível inferior encontra-se hidrologicamente ativo. A riqueza média observada para o polígono foi de 55,5 espécies, sendo, desta forma, considerado um polígono de alta riqueza biológica (riqueza da caverna = 76 spp.). Esta elevada riqueza em conjunto com a complexidade média observada ($ICE_{méd.} = 4,51$), o elevado valor obtido para ocorrência de espécies troglóbias ($ST_{méd.} = 3,9$) e a vulnerabilidade da área ($V_{méd.} = 20,8$) resultaram na classificação da área como prioritária para a conservação. Ao todo foram encontradas seis espécies troglóbias (Araneae – 2spp.; Coleoptera – 2spp.; Opiliones – 1sp; Diplopoda – 1sp.), sendo duas espécies endêmicas e quatro de

ampla distribuição. Quanto aos impactos, a região de entorno da gruta é composta por uma matriz formada por pastagens com atividade agropecuária. A rodovia de acesso à área urbana de Doresópolis localiza-se a apenas algumas dezenas de metros da sua entrada principal e, em virtude de sua localização próxima à cidade, sinais de visitação podem ser observados no interior da cavidade.

Polígono 37 (414125 - 7749315): Localizado próximo ao Córrego do Cavalo nas imediações da Vila Costina (limite entre os municípios de Pains e Doresópolis) o polígono é representado apenas pela Gruta do Zizinho Beraldo. Trata-se de uma das maiores (280 m) e mais ornamentadas grutas da região. A gruta recebe visitação de maneira desordenada há algumas décadas, podendo ser observadas inúmeras pichações em seu interior bem como vestígios de depredação de espeleotemas. Sua área de entorno é formada por pastagens destinadas à criação de gado e não se encontra sob a influência de áreas de mineração (vulnerabilidade média = 19,8). Assim como o Buraco dos Curiós, a Gruta do Zizinho apresentou uma elevada riqueza (74 spp.) que resultou em uma riqueza alta também para o polígono ($S_{méd.} = 54,5$). A complexidade média do polígono foi considerada alta (ICE = 8,51) e a ocorrência de seis espécies troglomórficas ($ST_{méd.} = 3,9$ - extrema) (Coleoptera – 2spp.; Isopoda – 2spp.; Collembola – 1sp.; Opiliones – 1sp.), sendo quatro espécies de ampla distribuição e duas espécies endêmicas, elevou o polígono como de importância extrema.

Polígono 43 (431061 - 7749243): Localizado ao norte da área urbana de Pains este polígono está representado pelas grutas Paranoá (249 m) e Isaias (200 m). Em virtude de sua localização, há décadas tais grutas recebem visitação o que tem resultado em inúmeros impactos em seu interior: pisoteamento, pichações,

quebra de espeleotemas, abandono de resíduos sólidos, dentre outros. A mata nativa presente no entorno, encontra-se substituída por pastagens, restando apenas resquícios de vegetação associados aos afloramentos rochosos. Ambas estão localizadas próximas a estradas e a gruta Paranoá ainda absorve os impactos da extração de calcário no seu entorno. Em seu interior, a maioria dos salões (piso, paredes, tetos e recursos orgânicos associados) encontra-se recobertos por poeira provenientes da atividade minerária, e uma de suas entradas naturais foi assolada durante os processos de desmonte da rocha calcária. Em virtude de tais pressões antrópicas, a região foi considerada de extrema vulnerabilidade ($V_{méd} = 35,5$) e a riqueza média observada para o polígono foi de 75 espécies (extrema). A complexidade da área foi considerada extrema ($V_{méd} = 13,6$) em virtude, principalmente, do resultado obtido para a gruta Paranoá ($ICE = 21,0$). Este valor observado foi considerado extremamente alto tendo em vista as inúmeras pressões ambientais encontradas na área do polígono. Em relação à ocorrência de espécies troglóbias o polígono foi considerado de alta relevância ($ST_{méd} = 3,0$) em virtude do registro de seis táxons distintos (Isopoda – 2spp.; Araneae – 1sp.; Coleoptera – 1sp.; Collembola - 1sp.; Diplopoda – 1sp.) sendo cinco de ampla distribuição e apenas um de ocorrência restrita.

Polígono 52 (429765 - 7746662): Este polígono está representado por 28 cavernas distribuídas em praticamente todo o entorno da área urbana do município de Pains e algumas cavernas localizadas junto ao bairro Alvorada. Tal região apresentou uma vulnerabilidade extrema ($V_{méd} = 43,0$) em virtude das pressões antrópicas exercidas dentro dos limites do polígono, sendo que as atividades de mineração (Mineração Saldanha Ltda. – há aproximadamente 500 metros no extremo sul da área urbana; e Calcinação Pains Ltda. – há aproximadamente 1.200 metros a oeste da área urbana) compreendem as

principais pressões e devem ser consideradas atividades preocupantes quanto à alteração da paisagem cárstica e conseqüente comprometimento dos sistemas, especialmente os subterrâneos. Outros impactos também puderam ser observados, como desmatamentos, exploração de recursos hídricos, ocupação urbana e rural, presença de resíduos sólidos, despejo de efluentes nos rios e alterações decorrentes de visitação turística. Quanto aos aspectos biológicos, neste polígono devem ser ressaltadas as grutas do Éden (1.900m – área terrestre) e a do Zé da Fazenda (76 m). A Gruta do Éden é a maior caverna conhecida da área Cárstica de Pains, constituída essencialmente de uma ampla galeria de dissolução, condicionada por lineamentos N-S, com morfologia linear e com pelo menos 50% de sua área hidrologicamente ativa. A gruta apresenta duas entradas, uma natural, em forma de clarabóia, e outra artificial, aberta na galeria norte-sul por uma das frentes de lavra da Mineração Saldanha. O desmonte da rocha carbonática aflorante tem resultado na alteração irreversível da paisagem exocárstica no polígono, inclusive na supressão de cavernas já catalogadas. A riqueza média observada para o polígono foi considerada baixa ($S_{\text{méd.}} = 26,3$). Tal fato pode ter resultado do elevado número de cavidades de pequenas dimensões inventariadas dentro desta área. No entanto, os valores de complexidade ($ICE_{\text{méd}} = 10,81$ - extrema), elevada riqueza de espécies troglóbias ($ST_{\text{méd}} = 3,6$ - extrema) (Isopoda – 4spp.; Coleoptera – 3spp.; Araneae – 1sp.; Blattodea – 1sp.; Collembola – 1sp.; Diplopoda – 1sp.; Diplura - 1sp.; Opiliones – 1sp.), sendo 13 espécies com mais de uma ocorrência e cinco espécies endêmicas, e a extrema vulnerabilidade da região resultou na classificação do polígono como de prioridade extrema.

Polígono 67 (418324 - 7741485): Este polígono está representado pelas Grutas do Brega (1.800 m) e Santuário (800 m). Estas cavernas fazem parte do seletor grupo de cavernas da região cárstica que atingem algumas centenas de metros e

são consideradas como grutas de potencial turístico para a região. Apesar do grande porte destas cavidades, nesta área o carste praticamente não se encontra aflorado. Este polígono localiza-se na divisa entre os municípios de Pains e Pimenta, na bacia hidrográfica do Ribeirão dos Patos (afluente do Rio São Francisco). A região encontra-se fora de áreas de mineração, sendo que os principais impactos são decorrentes da substituição da vegetação nativa por pastagens destinadas à criação de gado. O turismo desordenado também representa uma parcela significativa dos impactos observados no interior das grutas, assim como a presença de uma via de acesso local, utilizada para deslocamento entre as fazendas, que se encontra a poucos metros de distância das entradas das cavidades. A vulnerabilidade ($V_{\text{méd.}} = 43,0$) e a riqueza para o polígono foram consideradas extremas ($S_{\text{méd.}} = 79,0$) enquanto que a complexidade ($ICE_{\text{méd.}} = 10,0$) e riqueza de espécies troglóbias (Coleoptera – 2 spp.; Isopoda – 1 sp.; Opiliones – 1 sp.) foram classificadas como altas ($ST_{\text{méd.}} = 2,5$).

6.6 Análise de similaridade entre as áreas prioritárias

Através da análise do modelo de escalonamento multidimensional não foi possível verificar agrupamentos que pudessem relacionar a similaridade biológica com a distribuição geográfica das áreas estudadas. Em geral, os valores de similaridade obtidos através da análise de Bray-Curtis entre os polígonos foram inferiores a 30%. Apesar do valor de stress obtido, o gráfico de nMDS também mostra claramente que não existem grupos taxonômicos que se distribuem preferencialmente por determinadas regiões da área de estudo. Assim, pode-se considerar a área de estudo como “homogênea” em termos de composição faunística. Esta análise está corroborada pelos resultados obtidos através dos mapas biológicos que não demonstram regiões onde se concentram

áreas de maior biodiversidade subterrânea, sendo que os polígonos “*hotspots*” encontram-se distribuídos de maneira aleatória.

No entanto, constata-se que as áreas definidas como prioritárias encontram-se distribuídas de forma dispersa na região periférica do modelo, com exceção do polígono 43 (Figura 7). Tal situação indica que estas áreas representam regiões de maior singularidade taxonômica e provavelmente de ambientes, podendo representar uma parcela significativa da biodiversidade cavernícola.

Os polígonos localizados na região mais central do gráfico possuem a composição faunística mais “típica” da região, enquanto que aqueles que se distanciam desta área (posicionando-se nas porções periféricas do gráfico) possuem muitas espécies exclusivas, não encontradas em nenhuma outra área. São estas espécies que tornam estes polígonos suficientemente distintos da composição “típica”, fazendo com que eles se distanciem do centro do gráfico. Assim, tais polígonos podem ser considerados como insubstituíveis dentro da área cárstica de Pains, fato de extrema importância na definição de estratégias de conservação. Esta situação é corroborada pelos valores encontrados sobre a representatividade da biota cavernícola nas áreas indicadas como prioritárias. As cinco áreas indicadas como prioritárias (7% da área com cavernas) representam 466 táxons distintos (30%), sendo 22 espécies troglóbias (28%).

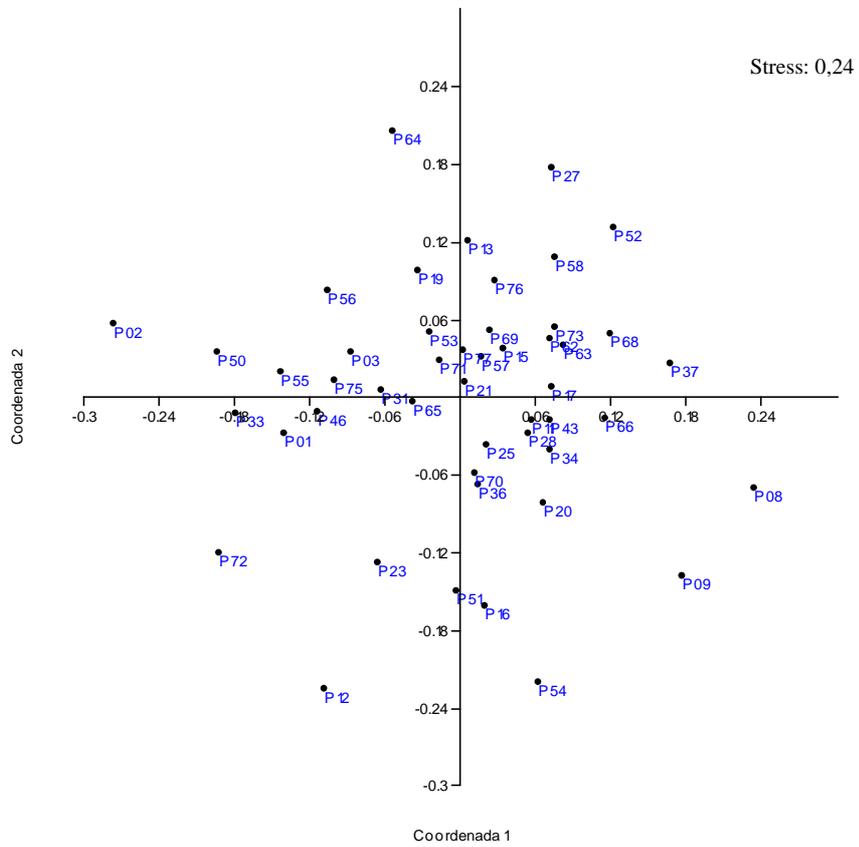


FIGURA 7 Análise de nMDS das áreas amostradas (polígonos) da região cárstica de Arcos, Pains e Dorésópolis (MG).

7 DISCUSSÃO

7.1 Contextualização da biodiversidade e pressões antrópicas na região

Do ponto de vista biológico, a fauna cavernícola brasileira começou a ser relativamente bem pesquisada apenas nas últimas três décadas, mas tais estudos só foram intensos em poucas cavernas, a grande maioria calcária. Das 7 mil cavernas cadastradas no país, cerca de 800 foram pelo menos inventariadas (Ferreira et al., 2009). Nos últimos anos, importantes e abrangentes trabalhos foram realizados em diferentes regiões do Brasil, alguns incluindo centenas de cavernas (Ferreira, 2004; Souza-Silva, 2008; Trajano, 2000). No entanto, mesmo com todo o esforço bioespeleológico realizado até o momento e o grande número de informações obtidas, o conhecimento sobre a biodiversidade de invertebrados cavernícolas ainda é incipiente, pois existem numerosas áreas pouco estudadas e outras ainda sequer exploradas.

A carência de taxonomistas no Brasil para vários grupos de invertebrados, tem se tornado uma grande barreira para a evolução do conhecimento sobre a biodiversidade cavernícola no país. Muitos táxons já coletados permanecem não-descritos (incluindo grande parte dos troglóbios brasileiros) ou não identificados, desconhecendo-se seu ineditismo. Sem mencionar os poucos estudos sobre a biodiversidade de invertebrados epígeos, condição que muitas vezes pode inviabilizar o reconhecimento de espécies como troglóbias.

Outro aspecto importante é que muitos dos estudos bioespeleológicos foram realizados dentro de unidades de conservação, que são áreas de paisagens naturais protegidas por mecanismos legais, como é caso do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira e Parque Estadual de Intervales, ambos no sul do estado de São Paulo (Trajano, 2000), Parque Nacional Cavernas do Peruaçu localizado no norte do estado de Minas Gerais (Ferreira, 2003) e Parque

Estadual de Terra Ronca localizado no nordeste de Goiás (Trajano & Bichuette, 2003). Tais unidades de conservação atualmente representam importantes *hotspots* de biodiversidade subterrânea. No entanto, a criação destas áreas de proteção antecede a realização da maioria dos estudos bioespeleológicos. Sendo assim, tais UCs foram criadas principalmente através de atributos geológicos ou em virtude de serem áreas de indiscutível beleza cênica.

Até o momento, a Província Cárstica do Vale do Ribeira, localizada no extremo Sul do estado de São Paulo e nordeste do Paraná (grupo carbonático Açungui), era a região do país com o maior número de levantamentos bioespeleológicos. Em aproximadamente 30 anos de estudos sistemáticos aproximadamente 110 cavernas foram inventariadas, dentre as mais de 300 cavidades catalogadas para a região (Dessen et al., 1980; Gnaspini, 1989; Gnaspini & Trajano, 1994; Rocha, 1994; Rocha, 1995; Trajano, 1987; Trajano, 2000; Trajano, 2007; Trajano & Gnaspini, 1991). Desta forma, o presente trabalho representa o maior levantamento bioespeleológico realizado em uma única área cárstica no país.

Historicamente, a região espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis sofre com os impactos decorrentes do uso dos recursos naturais de maneira desordenada. Durante mais de três séculos a atividade agropecuária foi predominante na região, período no qual basicamente toda a mata nativa, composta principalmente por áreas do bioma do Cerrado, foi substituída por pastagens. Este bioma é reconhecido como uma das maiores, mais rica e possivelmente a mais ameaçada das savanas do mundo, restando apenas aproximadamente 34% de sua extensão original (Silva & Bates, 2002). Sua rápida destruição e singular biodiversidade colocaram-no como um dos biomas prioritários para a conservação da biodiversidade em nível global (Myers et al., 2000). Da vegetação nativa da região, restam poucos fragmentos florestais de pequeno porte compostos principalmente pela chamada “Mata Seca”

característica de afloramentos calcários que não foram destruídas pelas atividades agropecuárias.

Iniciada no século XIX, a mineração realizada para extração de salitre utilizado na fabricação de pólvora e ração para gado, rapidamente tornou-se a principal atividade econômica da região sendo estabelecida de maneira conflituosa, transformando a paisagem e provocando inúmeros impactos irreversíveis. A extração do calcário para uso industrial, visando atender à demanda da construção civil (cimento e brita), bem como as indústrias de celulose, siderúrgicas, químicas, farmacêuticas, além da agricultura, ocorre a céu aberto e é caracterizada pelo desmonte do calcário por meio de detonações. Empresas de mineração encontram-se distribuídas por toda a região, concentrando-se principalmente nos municípios de Arcos e Pains. Tal atividade tem resultado em uma série de injúrias ambientais como o desvio de drenagens, assoreamento de cavidades, perturbações sonoras, desmatamentos, depósitos de material particulado, alterações nas condições climatológicas das cavidades, dentre outros. Além disso, ocorrem danos derivados da construção de vias de acesso, lixiviação das pilhas de minério e desmatamento de maneira geral, seja para utilização dos afloramentos calcários ou, mais recentemente, para a realização de culturas de eucalipto.

Apesar dos inúmeros impactos existentes, uma elevada concentração de espécies troglomórficas foi observada em algumas regiões estudadas. Das 79 espécies troglomórficas encontradas, 78 compreendem espécies ainda não descritas. A única espécie formalmente descrita é o coleóptero troglóbio *Coarazuphium pains* (Álvares & Ferreira, 2002). Atualmente existem inúmeros registros de espécies troglóbias encontradas pelo país, sendo 165 espécies para o estado de Minas Gerais, 180 espécies para cavernas inseridas no bioma de Mata Atlântica e 102 espécies para cavernas no bioma da Caatinga, apesar de existir sobreposições nestes números (Ferreira et al., 2009; Prous & Ferreira, 2009;

Souza-Silva, 2008). Na clássica revisão sobre a fauna cavernícola brasileira, Rocha (1995) reuniu informações sobre a ocorrência de 97 espécies de invertebrados troglomórficos, entretanto, apenas aproximadamente 20 espécies apresentavam-se oficialmente descritas. No Brasil, o sistema cavernícola com o maior registro de espécies troglomórficas é o Sistema Areias com 20 espécies, localizada na área cárstica do Vale do Ribeira, e a Gruta Mina do Pico-08 com 15 espécies, localizada no quadrilátero ferrífero em Minas Gerais, representam as maiores concentrações de espécies troglomórficas conhecidas para o Brasil (Ferreira, 2005a; Trajano, 2007). Desta forma a descrição das espécies encontradas no presente estudo, pode resultar em um incremento significativo no número de espécies troglóbias conhecidas para o país e ainda corrobora com a ideia de que a fauna troglóbia brasileira encontra-se ainda extremamente subestimada (Ferreira et al., 2009).

A identificação de *hotspots* de endemismos em escalas regionais são de extrema relevância pelo fato de facilitarem ações de conservação (Myers et al., 2000; Picker & Samways, 1996). Culver & Sket (2000) definem arbitrariamente como *hotspots* de biodiversidade cavernas ou sistemas com 20 ou mais espécies de troglóbios. Neste trabalho os autores levantaram informações sobre vinte sítios espeleológicos que atendiam este quesito, dos quais quatorze são na Europa (cinco na Eslovênia e cinco na França), três na América do Norte, um na Austrália, um no Sudeste da Ásia e um nas ilhas Bermudas localizadas no oceano Atlântico (Culver & Sket, 2000). Somente o Sistema Postojna-Planina na Eslovênia possui 84 espécies troglóbias conhecidas. No entanto, cerca de 80% do território deste país, que é considerado o “berço” do estudo em áreas cársticas, é composto por rochas calcárias e dois dos principais centros de estudos sobre fauna subterrânea do mundo situam-se na Eslovênia.

O registro de 79 espécies troglomórficas para uma região com praticamente 300 cavernas estudadas não representa relevância no contexto

mundial. No entanto, salienta-se aqui que foram consideradas troglomórficas somente aquelas espécies com troglomorismos evidentes uma vez que a fauna epígea local é praticamente desconhecida. Desta forma, a realização de comparações ainda é muito limitada e devem ser consideradas precoces, sendo fundamental a realização de inventários faunísticos, especialmente de invertebrados, em porções epígeas da região. Sendo assim, o número efetivo de espécies troglóbias presentes na região, o que incluiria os chamados “troglóbios recentes”, pode ser muito superior ao relatado neste trabalho.

Em relação à riqueza de espécies, os valores observados para as Grutas da Loca D’água e Marinheiros devem ser considerados expressivos quando comparados a outras cavernas brasileiras. Atualmente as Grutas do Janelão (275 spp. – Minas Gerais), de Maquiné (177 spp. – Minas Gerais), do Brejal (171 spp. – Minas Gerais), o Sistema Areias (118 spp. - São Paulo) e a Gruta Lapão de Santa Luzia (107 spp. - Bahia) (Ferreira, 2003; Souza-Silva, 2008; Trajano, 2007) representam as maiores riquezas registradas para as cavernas brasileiras. No entanto, a maioria destas cavernas possui grande extensão, exceto a gruta de Maquiné, além de terem sido inventariadas em mais de um episódio de coleta, com exceção da gruta Lapão de Santa Luzia. Já as grutas do presente estudo, consideradas de pequeno porte, pois em geral não ultrapassam 200 metros de desenvolvimento, foram amostradas em um único episódio de coleta.

7.2 Indicação das Áreas Prioritárias

A indicação de áreas prioritárias para conservação (e não apenas cavidades biologicamente importantes de maneira isolada) possui uma maior relevância quanto a iniciativas de conservação. Cavernas são elementos de relevos complexos composto por um conjunto de formas, condicionadas pela estrutura e por dissolução das rochas e processos geomorfológicos associados (Gibert et al., 1994a). Portanto, é preciso destacar que o estudo e as estratégias de proteção das cavidades naturais não podem ser desassociados do sistema, composto pelos terrenos cársticos adjacentes. A delimitação de uma área de influência mínima para um determinado sistema espeleológico ou conjunto de cavernas situadas em áreas destinadas à conservação, deve ser o ponto de partida para a tomada de decisões (Ferreira & Martins, 2001).

Cavernas geograficamente próximas podem apresentar uma baixa similaridade biológica uma vez que as condições físicas e tróficas, com particularidades inerentes a cada caverna, são determinantes na composição e estrutura das comunidades cavernícolas (Culver, 1982). Tal condição denota uma extrema singularidade biológica para estes ambientes. Desta forma, a vulnerabilidade destes ecossistemas deve ser analisada de maneira conjunta com os atributos biológicos na determinação de áreas prioritárias, tendo em vista a insubstituibilidade destes ecossistemas.

Das áreas consideradas como prioritárias, considera-se efetivamente prioritária e de caráter emergencial a região localizada nas imediações da cidade de Pains, tendo em vista a contiguidade de dois polígonos e os impactos incidentes sobre o sistema. Coincidentemente, exatamente nesta área foi recentemente criado o Monumento Natural “Jardim do Éden” (Pains, 2009). Tal monumento foi estabelecido essencialmente em função de três atributos. O primeiro deles compreende a presença da gruta do Éden, que consiste na maior caverna da região, e que possui diversos espeleotemas raros ou pouco comuns.

Outro aspecto importante considerado na escolha desta área concerne à saúde da população da cidade de Pains. As minerações que atuavam nesta região realizavam a extração do calcário de forma contínua, o que gerava uma constante “nuvem” de pó calcário que se condensava sobre a cidade principalmente nos períodos de seca, causando inúmeros problemas de ordem alérgica e respiratória na população local, especialmente crianças e idosos. Por fim, esta unidade tem como objetivo a proteção dos mananciais e ecossistemas associados que abastecem a cidade de Pains. Tais atributos já justificavam a proteção deste importante patrimônio espeleológico. No entanto, é importante ressaltar que nenhum estudo biológico havia sido realizado na gruta do Éden até o momento.

Desta forma, felizmente, houve uma sobreposição entre a principal área proposta neste trabalho e a área na qual foi criada esta unidade de conservação. Entretanto, apesar do polígono 53 (principalmente Gruta Serra Azul) ter sido considerado de relevância média, é preciso destacar que esta corresponde a segunda maior riqueza de espécies troglóbias e seus recursos hídricos são importantes no abastecimento da cidade. Desta forma, sua proteção também é de extrema importância, além do que permitiria a composição de um cinturão de proteção no entorno da área urbana de Pains. Toda esta região merece medidas de proteção integral e contínua que garantam a preservação das espécies subterrâneas, a manutenção e recuperação das paisagens cársticas e o zelo pela saúde da população. Desta forma, trata-se de uma medida emergencial, em virtude desta área já ter sofrido severas modificações pelo uso e ocupação do solo de maneira arbitrária e irregular.

Vale ressaltar também que embora uma UC tenha sido recentemente criada, ela não assegura a preservação de grande parte do patrimônio bioespeleológico da região. Desta forma, é de fundamental importância a criação de outras UCs nas demais áreas apontadas aqui como prioritárias. Sugere-se a

criação de uma UC que garanta a contigüidade dos polígonos 13, 37 e 67 bem como em outras áreas. Além de tais polígonos encontrarem-se fora da influência de empreendimentos minerários representando provavelmente áreas menos impactadas, a mesma poderia auxiliar na própria reestruturação das paisagens exocársticas dentro deste contínuo principalmente por meio da re-conexão das formações vegetais. Além disso, recomenda-se o encorajamento de criações de RPPNs na região para que outras áreas venham a ser preservadas. As seis áreas aqui indicadas representam 30% da diversidade de invertebrados cavernícolas da região e cobrem menos de 7% da área com cavernas conhecidas para a região. Desta forma, a criação de outras áreas de proteção, baseadas no conceito de complementaridade por exemplo, pode resultar em uma estratégia eficiente de conservação (Margules et al., 1988; Pressey et al., 1997).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSIÇÃO DE MEDIDAS PARA CONSERVAÇÃO

Apesar da magnitude do patrimônio espeleológico da região cárstica Arcos, Pains e Doresópolis, esta ainda não se encontra totalmente conhecida. Novos estudos certamente resultarão em um aumento expressivo no número de cavidades naturais conhecidas para a região, principalmente em áreas mais remotas e pouco exploradas. Desta forma, o incremento do conhecimento sobre o patrimônio local deve estar associado à realização de novos estudos bioespeleológicos permitindo, assim, a constante atualização das informações sobre a biodiversidade subterrânea da região. Esta atualização facilitará a tomada de decisões pelos órgãos públicos durante processos de licenciamento ambiental, garantindo a sustentabilidade da região.

Enfatiza-se aqui que o presente trabalho não teve como meta indicar áreas de baixa relevância biológica, e sim indicar áreas prioritárias para

conservação em virtude da existência de uma demanda de conservação emergencial, fruto dos conflitos ambientais existentes na região. Desta forma, pretende-se favorecer a eficiência nas estratégias de conservação, bem como aperfeiçoar o uso dos escassos recursos financeiros. Outro aspecto a ser considerado é que os polígonos utilizados no presente estudo foram delineados e posicionados de maneira atender a uma questão metodológica, apenas com o objetivo de possibilitar as análises espaciais e reconhecer áreas de maior relevância biológica. Desta forma, estudos sobre os limites das áreas a serem protegidas devem ser realizados buscando uma compreensão ampla acerca das áreas de influência sobre os sistemas subterrâneos, bem como através da sobreposição com informações do ambiente epígeo (remanescentes florestais, áreas de mananciais, questões fundiárias, entre outras, baseando-se sempre nos conceitos de *representatividade e persistência* dos ecossistemas (Gaston & Rodrigues, 2003; Groves et al., 2002; Margules & Pressey, 2000). Reitera-se que essa persistência é dependente do afastamento dos fatores de ameaça, de características intrínsecas do sistema (*e.g.*, extensão da reserva, conservação dos processos ecológicos mantenedores ou geradores da diversidade), bem como das estratégias de manejo.

Para a existência de um sistema de unidades de conservação eficiente na região, não basta apenas a criação de áreas protegidas. As mesmas devem ser devidamente implantadas, através da resolução de questões fundiárias, atingindo uma maior efetividade através do estabelecimento de uma linha de atuação baseada em conhecimentos científicos utilizados na definição de um plano de manejo. Posteriormente, o monitoramento das ações de conservação, que pode ser feito de forma experimental, é também um passo fundamental para avaliar a efetividade de conservação (Margules & Pressey, 2000). Desta forma, a seleção de indicadores da biodiversidade (*e.g.*, monitoramento de espécies troglóbias) pode contribuir de maneira direta para a eficiência de proteção destas áreas.

Além disso, medidas mitigadoras, bem como estratégias de recuperação de áreas já degradadas são imprescindíveis para a proteção da biodiversidade subterrânea. Em todos os cinco polígonos indicados como prioritários, faz-se necessária a recuperação da vegetação no interior e nas áreas adjacentes dos polígonos. Aproximadamente 50% da zona de recarga do sistema cárstico na área de influência indireta da Gruta do Éden, por exemplo, constitui áreas destinadas à agricultura e pastagem para o gado (Cadamuro, 2007).

A substituição da vegetação nativa por pastagens ou sua remoção para utilização da madeira, extração de calcário ou ocupação humana, pode, ao longo do tempo, diminuir a disponibilidade de recursos alóctones para a fauna presente nas cavidades. Estes recursos servem de alimento para diversos organismos detritívoros, sendo a base de cadeias tróficas em muitas cavernas em que não existem outras fontes de recurso sendo que, o tipo, a qualidade e a forma de disseminação destes recursos no sistema são determinantes na composição e estrutura das comunidades cavernícolas (Culver, 1982). Apesar de tais alterações não terem sido avaliadas no presente estudo, é extremamente provável que estas modificações estejam comprometendo, ou ainda comprometam, as populações cavernícolas.

Outro aspecto importante são os processos de extração de calcário através de explosões que, associadas ao desmatamento, podem também reduzir as populações de morcegos que utilizam as cavernas como abrigos, comprometendo a disponibilidade de guano no interior das cavidades. Em cavernas tropicais, especialmente as permanentemente secas, depósitos de guano de morcegos são considerados importantes fontes de alimento e muitas vezes podem formar a base da estrutura trófica de muitas comunidades de invertebrados (Decu, 1986; Ferreira & Martins, 1998; Ferreira & Martins, 1999).

A deposição de material particulado (poeira) proveniente do desmonte da rocha calcária e do transporte de carga por veículos pesados próximo às

cavernas pode ressecar diversos substratos presentes nas cavidades, pela redução da umidade, bem como reduzir a qualidade dos recursos disponíveis (guano, matéria orgânica, dentre outros). O tipo de recurso, bem como a forma pela qual este penetra no sistema é um importante determinante da composição da fauna presente no meio cavernícola (Ferreira et al., 2000a; Ferreira & Martins, 1998; Ferreira et al., 2000b; Gnaspini, 1989; Herrera, 1995). Portanto, a redução da qualidade e da quantidade dos recursos alimentares presentes nas cavernas, bem como a descaracterização do ambiente cavernícola, pode resultar na extinção de muitos táxons de invertebrados.

Ressalta-se ainda, que o gerenciamento de resíduos sólidos e efluentes domésticos e industriais nos municípios também deve ser considerado de extrema importância, uma vez que sistemas cársticos são altamente susceptíveis à contaminação através dos aquíferos (Smith, 1993). Atualmente, os esgotos urbanos são lançados nos afluentes do rio São Francisco e as várias formas de resíduos sólidos estão se acumulando em lixões, nos terrenos baldios e margens de rios. Em relação às empresas de mineração, Moraes (2007) observou teores de metais pesados superiores aos limites de intervenção estabelecidos pela CETESB provavelmente provenientes de empreendimentos minerários. Desta forma, o gerenciamento de resíduos e o monitoramento de possíveis fontes de contaminação por atividades industriais devem ser considerado como medidas emergenciais.

Por fim, ressalta-se que o presente estudo aborda preferencialmente os aspectos bioespeleológicos existentes na região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis. Para uma melhor compreensão e definição das áreas mais relevantes, faz-se necessária a sobreposição de atributos relacionados a diferentes ciências. Desta forma, é de fundamental importância a integração do conhecimento proveniente de outras áreas, como a geologia, hidrologia, arqueologia, paleontologia, dentre outras. Uma estratégia adotada em diferentes

partes do mundo é a realização de encontros técnicos (*workshops*) com profissionais de diferentes áreas que atuam na região para a definição de estratégias de conservação, sempre considerando os aspectos sociais e de interesse econômico. Este conhecimento interdisciplinar deve ser empregado diretamente no manejo dos recursos naturais, bem como utilizado em estratégias educativas com o objetivo de sensibilizar as populações locais sobre a importância de conservação dos ecossistemas cársticos.

Finalmente, vale ressaltar que se compreende a importância de se garantir a disponibilidade das reservas minerais demandadas pela sociedade moderna. Entretanto, uma vez que o crescimento econômico implica em um maior consumo de bens naturais, atividades de extração mineral exercidas de forma sustentável são fundamentais para a preservação da biodiversidade associada aos ambientes subterrâneos.

9 AGRADECIMENTOS

A FAPEMIG (Processo n° APQ 01826-08), pelo apoio financeiro; A CAPES pela bolsa de mestrado concedida; Aos especialistas, Dr. Abel Pérez González (Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ), Dr. Antonio Brescovit (Instituto Butantan-SP), Dra. Sonia Maria Lopes Fraga (UFRJ) e aos alunos de pós-graduação em Ecologia Aplicada (UFLA), Leopoldo Ferreira de Oliveira Bernardi, Maysa Fernanda Villela Rezende Souza, Thais Giovannini Pellegrini e Thaís de Oliveira do Carmo pela determinação do material biológico. A todos que participaram das coletas bioespeleológicas ou indicaram cavernas a serem estudadas: Jéfferson Luis, Rodrigo Lopes Ferreira, Érika Linz Silva Taylor, Leopoldo Ferreira de Oliveira Bernardi, Marconi Souza Silva, Sibeles Fernandes de Oliveira Sanchez, Fabiana de Oliveira Branchini, Maria Helena Pereira, Leonardo Estevão de Oliveira Berthaud, Maysa Fernanda Villela

Rezende Souza, Thais Giovannini Pellegrini e Xavier Prous. Aos estagiários Cláudia Santos Luz, Adriano Luiz Benedeti e Igor Guimarães que foram fundamentais para a realização do mesmo contribuindo no laboratório, em campo e no processamento de dados. Ao grande amigo Rosinei de Oliveira pela contribuição direta nos trabalhos de campo, indicação de grande parte das cavernas contempladas no presente estudo e pela inestimável participação em parte significativa da logística despendida na região de Pains.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHURRA, A.; RODRIGUEZ, P. Biodiversity of groundwater oligochaetes from a karst unit in northern Iberian Peninsula: ranking subterranean sites for conservation management. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 605, n. 1, p. 159-171, June 2008.

ÁLVARES, E. S. S.; FERREIRA, R. L. *Coarazuphium pains*, a new species of troglobitic beetle from Brazil (Coleoptera: Carabidae: Zuphiini). **Lundiana**, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p. 41-43, jan. 2002.

ANDO, A.; CAMM, J.; POLASKY, S.; SOLOW, A. Species distributions, land values, and efficient conservation. **Science**, Washington, v. 279, n. 5359, p. 2126-2128, Mar. 1998.

ANDRIAMAMPINANINA, L.; KREMEN, C.; VANE-WRIGHT, D.; LEES, D.; RAZAFIMAHATRATRA, V. Taxic richness patterns and conservation evaluation of Madagascan tiger beetles (Coleoptera: Cicindelidae). **Journal of Insect Conservation**, Dordrecht, v. 4, n. 2, p. 109-128, June 2000.

ARAÚJO, M. B.; CABEZA, M.; THUILLER, W.; HANNAH, L.; WILLIAMS, P. H. Would climate change drive species out of reserves?: an assessment of existing reserve-selection methods. **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, n. 9, p. 1618-1626, Mar. 2004.

AULER, A.; RUBBIOLI, E.; BRANDI, R. **As grandes cavernas do Brasil**. Belo Horizonte: Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, 2001. 227 p.

BEDWARD, M.; PRESSEY, R. L.; KEITH, D. A. A new approach for selecting fully representative reserve networks: addressing efficiency, reserve design and land suitability with an iterative analysis. **Biological Conservation**, Essex, v. 62, n. 2, p. 115-125, Jan. 1992.

BIBBY, C. J.; COLLAR, N. J.; CROSBY, M. J.; HEATH, M. F.; IMBODEN, C.; JOHNSON, T. H.; LONG, A. J.; STATTERSFIELD, A. J.; THIRGOOD, S. J. A.; STONES, A. J.; WEGE, D. C. **Putting biodiversity on the map: priority areas for global conservation**. Cambridge: International Council for Bird Preservation, 1992. 235 p.

BURLEY, F. W. Monitoring biological diversity for setting priorities in conservation. In: WILSON, E. O. (Ed.). **Biodiversity**. Washington: Academy, 1988. p. 227-230.

CADAMURO, A. L. D. M. **Avaliação qualitativa de interferências físicas (exploração de água para consumo humano, mineração, irrigação) na região da área da bacia do São Francisco**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2007. (Relatório Técnico).

CAICCO, S. L.; SCOTT, J. M.; BUTTERFIELD, B.; CSUTI, B. A gap analysis of the management status of the vegetation of Idaho, USA. **Conservation Biology**, Arlington, v. 9, n. 2, p. 498-511, Apr. 1995.

CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS. **Base de dados geoespacializados de cavidades naturais subterrâneas do CECAV**. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/cecav>>. Acesso em: 10 jan. 2009.

CHEREM, L. F. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. O uso de imagens CBERS no monitoramento da expansão de atividades extrativas de rochas carbonáticas em Minas Gerais: o caso da província cárstica de Arcos-Pains. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 807-814.

CHRISTMAN, M. C.; CULVER, D. C.; MADDEN, M. K.; WHITE, D. Patterns of endemism of the eastern North American cave fauna. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 32, n. 8, p. 1441-1452, Aug. 2005.

CULVER, D. C. Cave fauna. In: SOULT, M. E. (Ed.). **Conservation biology: the science of scarcity and diversity**. Massachusetts: Sinauer Associates, 1986. p. 427-443.

CULVER, D. C. **Cave life: evolution and ecology**. London: Harvard University, 1982. 189 p.

CULVER, D. C.; CHRISTMAN, M. C.; SKET, B.; TRONTELJ, P. Sampling adequacy in an extreme environment: species richness patterns in Slovenian caves. **Biodiversity and Conservation**, London, v. 13, n. 6, p. 1209-1229, June 2004.

CULVER, D. C.; SKET, B. Hotspots of subterranean biodiversity in caves and wells. **Journal of Cave and Karst Studies**, Huntsville, v. 62, n. 1, p. 11-17, Apr. 2000.

DAOXIAN, Y. Environmental change and human impact on karst in Southern China. In: WILLIAMS, P. W. (Ed.). **Karst terrains: environmental changes and human impact**. Reiskirchen: Cremlingen-Destedt, 1993. p. 99-108. (Catena Supplement, 25).

DESSEN, E. M. B.; ESTON, V. R.; SILVA, M. S.; TEMPERINI-BECK, M. T.; TRAJANO, E. Levantamento preliminar da fauna de cavernas de algumas regiões do Brasil. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 32, n. 6, p. 714-725, jun. 1980.

DOLE-OLIVIER, M. J.; CASTELLARINI, F.; COINEAU, N.; GALASSI, D. N. P.; MARTINS, P.; MORI, N.; VALDECASAS, A.; GIBERT, J. Towards an optimal sampling strategy to assess groundwater biodiversity: comparison across six European regions. **Freshwater Biology**, Oxford, v. 54, n. 4, p. 777-796, Mar. 2009.

DRUMMOND, G. M.; MARTINS, C. S.; MACHADO, A. B. M.; SEBAIO, F. A.; ANTONINI, Y. **Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação**. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005. 222 p.

FERREIRA, D.; MALARD, F.; DOLE-OLIVIER, M. J.; GIBERT, J. **A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos**. 2004. 161 p. Doutorado (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

FERREIRA, D.; MALARD, F.; DOLE-OLIVIER, M. J.; GIBERT, J. A vida subterrânea nos campos ferruginosos. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 17, n. 3, p. 106-115, jul. 2005b.

- FERREIRA, D.; MALARD, F.; DOLE-OLIVIER, M. J.; GIBERT, J. **Caracterização de ecossistemas subterrâneos do complexo Mina do Pico (Itabirito, MG):** estudo bioespeleológico das cavidades visando o licenciamento necessário ao aproveitamento do minério de ferro. Belo Horizonte: Minerações Brasileiras Reunidas, 2005a. 31 p.
- FERREIRA, D.; MALARD, F.; DOLE-OLIVIER, M. J.; GIBERT, J. Obligate groundwater fauna of France: species richness patterns and conservation implications. **Biodiversity and Conservation**, London, v. 16, n. 3, p. 567-596, Mar. 2007.
- FERREIRA, R. L. **Subsídios para o estabelecimento do manejo bioespeleológico e paleontológico em algumas cavernas do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu.** Belo Horizonte: Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, 2003. 140 p.
- FERREIRA, R. L.; HORTA, L. C. S. Natural and human impacts on invertebrate communities in Brazilian caves. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 61, n. 1, p. 7-17, fev. 2001.
- FERREIRA, R. L.; MARTINS, M., R. P.; YANEGA, D. Ecology of bat guano arthropod communities in a Brazilian dry cave. **Ecotropica**, Bonn, v. 6, n. 2, p. 105-116, June 2000a.
- FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Cavernas em risco de extinção. **Ciência Hoje**, São Paulo, v. 173, n. 29, p. 20-28, jun. 2001.
- FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Diversity and distribution of spiders associated with bat guano piles in Morrinho cave (Bahia State, Brazil). **Diversity and Distributions**, Oxford, v. 4, n. 5-6, p. 235-241, Sept./Nov. 1998.
- FERREIRA, R. L.; NONAKA, E.; ROSA, C. R. Riqueza e abundância de fungos associados ao guano de morcegos hematófagos na Gruta da Lavoura (Matozinhos, MG). **O Carste**, Belo Horizonte, v. 12, n. 1, p. 46-51, jan. 2000b.
- FERREIRA, R. L.; SILVA, M. S.; BERNARDI, L. F. O. Contexto bioespeleológico. In: DRUMMUND, G. M.; MARTINS, C. S.; GRECO, M. B.; VIEIRA, F. (Ed.). **Biota Minas: diagnóstico do conhecimento sobre a biodiversidade no Estado de Minas Gerais, subsídios ao programa Biota Minas.** Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2009. p. 622-638.

GASTON, K. J.; RODRIGUES, A. S. L. Reserve selection in regions with poor biological data. **Conservation Biology**, Boston, v. 17, n. 1, p. 188-195, Feb. 2003.

GIBERT, J.; DANIELPOL, D. L.; STANFORD, J. A. **Groundwater Ecology**. New York: Academic, 1994. 571 p.

GILLIESON, D. S. **Caves: processes, development, management**. Oxford: Blackwell, 1996. 324 p.

GNASPINI, P. Análise comparativa da fauna associada a depósitos de guano de morcegos cavernícolas no Brasil: primeira aproximação. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 33, n. 2, p. 183-192, jun. 1989.

GNASPINI, P.; TRAJANO, E. Brazilian cave invertebrates, with a checklist of troglomorphic taxa. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 38, n. 3/4, p. 549-584, dez. 1994.

GOOGLE. **Google Earth Pro**. Disponível em: <<http://earth.google.com/intl/pt-BR>> 2009. Acesso em: 10 jan. 2009.

GROVES, C. R.; JENSEN, D. B.; VALUTIS, L. L.; REDFORD, K. H.; SHAFFER, M. L.; SCOTT, J. M.; BAUMGARTNER, J. V.; HIGGINS, J. V.; BECK, M. W.; ANDERSON, M. G. Planning for biodiversity conservation: Putting conservation science into practice. **BioScience**, Washington, v. 52, n. 2, p. 499-512, Feb. 2002.

HAIGHT, R. G.; REVELLE, C. S.; SNYDER, S. A. An integer optimization approach to a probabilistic reserve site selection problem. **Operations Research**, Baltimore, v. 48, n. 5, p. 697-708, Sept./Oct. 2000.

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. **PAST Palaeontological Statistics, ver. 1.12**. Disponível em: <http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm>. Acesso em: 28 out. 2003.

HERRERA, F. F. Las comunidades de artrópodos del guano del guácharos en la cueva del guácharo, Venezuela. **Boletim da Sociedade Venezuelana de Espeleologia**, Caracas, v. 29, p. 39-46, jan. 1995.

HOLSINGER, J. R.; CULVER, D. C. **The invertebrate cave fauna of Virginia and a part of eastern Tennessee: zoogeography and ecology**. North Carolina: State Museum of Natural Sciences, 1988. 164 p.

HOWARTH, F. G. Non-Relictual terrestrial troglobites in the tropical Hawaiian Caves. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SPELEOLOGY, 8., 1981, Bowling Green. **Proceedings...** Bowling Green: [s. n], 1981. p. 539-541.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE. **World heritage caves and karst: a thematic study.** Switzerland, 2008. 57 p.

KIRKPATRICK, J. B. An iterative method for establishing priorities for the selection of nature reserves: an example from Tasmania. **Biological Conservation**, Essex, v. 25, n. 2, p. 127-134, Feb. 1983.

LANGHAMMER, P. F.; BAKARR, M. I.; BENNUN, L. A.; BROOKS, T. M.; CLAY, R. P.; DARWALL, W.; SILVA, N. de; EDGAR, G. J.; EKEN, G.; FISHPOOL, L. D. C.; FONSECA, G. A. B. da; FOSTER, M. N.; KNOX, D. H.; MATIKU, P.; RADFORD, E. A.; RODRIGUES, A. S. L.; SALAMAN, P.; SECHREST, W.; TORDOFF, A. W. **Identification and gap analysis of key biodiversity areas: targets for comprehensive protected area systems.** Switzerland: International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources, 2007. 116 p.

LAWTON, J. H. L.; MAY, R. M. **Estimating extinction rates.** London: Philosophical Transactions of The Royal Society of London, 1994. 104 p.

MAGALHÃES, P. M. **Análise estrutural das rochas do Grupo Bambuí na porção sudoeste da bacia do São Francisco.** 1989. 105 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

MAGURRAN, A. E. **Ecological diversity and its measurement.** London: Princeton University, 2004. 192 p.

MAIORANO, L. F. B. L. Gap analysis of terrestrial vertebrates in Italy: priorities for conservation planning in a human dominated landscape. **Biological Conservation**, Essex, v. 133, n. 4, p. 455 - 473, Dec. 2006.

MARGULES, C. R.; AUSTIN, M. P. Biological models for monitoring species decline: the construction and use of data bases. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, London, v. 344, n. 1307, p. 69-75, Apr. 1994.

MARGULES, C. R.; NICHOLLS, A. O.; PRESSEY, R. L. Selecting networks of reserves to maximize biological diversity. **Biological Conservation**, Essex, v. 43, n. 1, p. 63-76, Jan. 1988.

MARGULES, C. R.; PRESSEY, R. L. Systematic conservation planning. **Nature**, London, v. 405, p. 243-253, May 2000.

MARRA, R. J. C. **Critérios de relevância para classificação de cavernas no Brasil**. 2008. 393 p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília.

MCKENDRY, J. E.; MACHLISS, G. E. The role of geography in extending biodiversity gap analysis. **Applied Geography**, Amsterdam, v. 11, n. 2, p. 135-152, Apr. 1991.

MICHEL, G.; MALARD, F.; DEHARVENG, L.; SKET, B.; BROYER, C. D. Reserve selection for conserving groundwater biodiversity. **Freshwater Biology**, Oxford, v. 54, n. 4, p. 861-876, Mar. 2009.

MORAES, A. F. D. **Abordagem da vulnerabilidade química e risco de contaminação dos solos por metais pesados em área dos municípios de Pains, Arcos e Córrego Fundo-MG, baseada nos constituintes dos solos retentores dos metais pesados**. 2007. 101 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

MULONGOY, K. J.; CHAPES, S. Protected areas and biodiversity: an overview of key issues In: CENTRE, U. W. C. M. (Ed.). **Biodiversity series**. Cambridge: Secretariat of the convention on biological diversity, 2004. p. 73-132.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, G. M. C.; FONSECA G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, n. 6772, p. 853-858, Feb. 2000.

NALLE, D. J.; ARTHUR, J. L.; SESSIONS, J. Designing compact and contiguous reserve networks with a hybrid heuristic algorithm. **Forest Science**, Lawrence, v. 48, n. 1, p. 59-68, Feb. 2002.

PAINS. **Decreto n. 040**, de 19 de novembro de 2009. Dispõe sobre a criação do Monumento Natural Jardim do Éden. Disponível em: <<http://www.sbe.com.br/leis/dec40-09pains.html>> : Acesso em: 10 dez. 2009.

PAINS. **Lei Municipal n° 1.019**, de 03 de out. de 2006. Cria no Município de Pains o Parque Natural Municipal Dona Ziza com os limites que especifica e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.sbe.com.br/leis/lei101906.htm>>. Acesso em: 10 dez. 2009.

- PICKER, M. D.; SAMWAYS, M. J. Faunal diversity and endemism of the Cape Peninsula, South Africa, a first assessment. **Biodiversity and Conservation**, London, v. 5, n. 5, p. 591-606, May 1996.
- PINTO, L. P.; BRITO, M. C. Dynamics of biodiversity loss in the Brazilian Atlantic Forest: an introduction. In: GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. D. G. (Ed.). **The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats, and outlook**. Washington: Island, 2003. p. 27-42.
- POULSON, T. L.; WHITE, W. B. The cave environment. **Science**, Cambridge, v. 165, n. 3897, p. 971-981, Sept. 1969.
- PRENDERGAST, J. R.; EVERSHAM, B. C. Species richness covariance in higher taxa: empirical tests of the biodiversity indicator concept. **Ecography**, Copenhagen, v. 20, n. 1, p. 210-216, Feb. 1997.
- PRESSEY, R. L. Applications of irreplaceability analysis to planning and management problems. **Parks**, Washington, v. 9, n. 1, p. 42-51, Jan. 1999.
- PRESSEY, R. L.; POSSINGHAM, H. P.; DAY, J. R. Effectiveness of alternative heuristic algorithms for identifying indicative minimum requirements for conservation reserves. **Biological Conservation**, Essex, v. 80, n. 5, p. 207-219, May 1997.
- PRESSEY, R. L.; POSSINGHAM, H. P.; MARGULES, C. R. Optimality in reserve selection algorithms: when does it matter and how much? **Biological Conservation**, Essex, v. 76, n. 3, p. 259-267, Mar. 1996.
- PRESSEY, R. L.; TULLY, S. L. The cost of ad hoc reservation: a case-study in western New South Wales. **Australian Journal of Ecology**, Carlton, v. 19, n. 2, p. 375-384, June 1994.
- PROUS, X.; FERREIRA, R. L. Estrutura das comunidades cavernícolas na caatinga: subsídios para a conservação. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ESTUDOS DO CARSTE, 3., 2009, São Carlos. **Resumos...** São Carlos: Redespeleo Brasil, 2009. p. 62-63.
- REDFORD, K. H.; RICHTER, B. D. Conservation of biodiversity in a world of use. **Conservation Biology**, Boston, v. 13, n. 6, p. 1246-1256, Dec. 1999.

ROCHA, R. P. da. Invertebrados cavernícolas da porção meridional da Província Espeleológica do Vale do Ribeira, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 2, n. 12, p. 229-255, dez. 1994.

ROCHA, R. P. da. Sinopse da fauna cavernícola do Brasil (1907 - 1994). **Papéis Avulsos de Zoologia**, São Paulo, v. 39, n. 6, p. 61-163, jul. 1995.

RODRIGUES, A. S. L.; AKÇAKAYA, H. R.; ANDELMAN, S. J.; BAKARR, M. I.; BOITANI, L.; BROOKS, T. M.; CHANSON, J. S.; FISHPOOL, L. D. C.; FONSECA, G. A. B. D.; GASTON, K. J.; HOFFMANN, M.; MARQUET, P. A.; PILGRIM, J. D.; PRESSEY, R. L.; SCHIPPER, J.; SECHREST, W.; STUART, S. N.; UNDERHILL, L. G.; WALLER, R. W.; WATTS, M. E. J.; YAN, A. X. Global Gap Analysis: priority regions for expanding the global protected-area network. **BioScience**, Washington, v. 54, n. 12, p. 1092-1100, Dec. 2004.

RODRIGUES, A. S. L.; TRATT, R.; WHEELER, B. D.; GASTON, K. J. The performance of existing networks of conservation areas in representing biodiversity. **Proceedings of the Royal Society of London B**, London, v. 266, n. 1427, p. 1453-1460, July 1999.

RODRIGUEZ, L. O.; YOUNG, K. R. Biological diversity of Peru: determining priority areas for conservation. **Ambio**, Stockholm, v. 29, n. 6, p. 329-337, Sept. 2000.

SCHNEIDER, K.; CULVER, D. C. Estimating subterranean species richness using intensive sampling and rarefaction curves in a high density cave region in west Virginia. **Journal of Cave and Karst Studies**, Slovenia, v. 66, n. 1, p. 39-45, Apr. 2004.

SCOTT, J. M.; DAVIS, F.; CSUTI, B.; NOSS, R.; BUTTERFIELD, B.; GROVES, C.; HANDERSON, H.; CAICOO, S.; D'ERCHIA, F.; EDWARDS, T. C.; ULLIMAN, J.; WRIGHT, R. G. Gap analysis: a geographic approach to protection of biological diversity. **Wildlife Monographs**, Bethesda, v. 123, n. 1, p. 1-41, Jan. 1993.

SCOTT, J. M.; MURRAY, M.; WRIGHT, R. G.; CSUTI, B.; MORGAN, P.; PRESSEY, R. L. Representation of natural vegetation in protected areas: capturing the geographic range **Biodiversity and Conservation**, London, v. 10, n. 8, p. 1297-1301, Aug. 2001.

SEYMOUR, C. L.; DE KLERK, H. M.; CHANNING, A.; CROWE, T. M. The biogeography of the Anura of subequatorial Africa and the prioritisation of areas for their conservation. **Biodiversity and Conservation**, London, v. 10, n. 12, p. 2045-2076, Dec. 2001.

SHARRATT, N. J.; PICKER, M.; SAMWAYS, M. The invertebrate fauna of the sandstone of the caves of the Cape Peninsula (South Africa): patterns of endemism and conservation priorities. **Biodiversity and Conservation**, London, v. 9, n. 1, p. 107-143, Jan. 2000.

SILVA, J. M. C.; BATES, J. M. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a Tropical Savanna Hotspot. **BioScience**, Washington, v. 52, n. 3, p. 225-233, Mar. 2002.

SMITH, D. I. The nature of karst aquifers and their susceptibility to pollution. In: WILLIAMS, P. W. (Ed.). **Karst terrains: environmental changes and human impact**. Cremlingen-Destedt: Catena-Verlag, 1993. p. 41-58. (Catena Supplement, 25).

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA. **Cadastro nacional de cavidades**. Taquaral, 2009. Disponível em: <www.sbe.com.br>. Acesso em: 28 jan. 2009.

SOUZA-SILVA, M. S. **Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na mata atlântica brasileira**. 2008. 225 p. Tese (Doutorado em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

TRAJANO, E. Cave faunas in the Atlantic tropical rain forest: composition, ecology and conservation. **Biotropica**, Washington, v. 32, n. 4, p. 882-893, Apr. 2000.

TRAJANO, E. Fauna cavernícola brasileira: composição e caracterização preliminar. **Revista Brasileira de Zoologia**, São Paulo, v. 3, n. 8, p. 533-561, maio 1987.

TRAJANO, E. **Sistema areias: 100 anos de estudos**. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2007. 128 p.

TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. Área cárstica de São Domingos, Alto Tocantins, Nordeste de Goiás: a maior diversidade de peixes subterrâneos no Brasil. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 5, n. 4, p. 114-125, out. 2003.

TRAJANO, E.; GNASPINI, P. Composição da fauna cavernícola brasileira, com uma análise preliminar da distribuição dos táxons. **Revista Brasileira de Zoologia**, São Paulo, v. 3, n. 7, p. 383-407, jul. 1991.

WILLIAMS, P. W. Karst terrains: environmental changes and human impact. In: WILLIAMS, P. W. (Ed.). **Karst terrains: environmental changes and human impact**. Cremlingen-Denstedt: Catena-Verlag, 1993. p. 251-268. (Catena Supplement, 25).

WILSON, E. O. **The diversity of life**. London: Allen Lane, 1992. 424 p.

WILSON, K.; PRESSEY, R. L.; NEWTON, A.; BURGMAN, M.; POSSINGHAM, H. C. W. Measuring and incorporating vulnerability into conservation planning. **Environmental Management**, New York, v. 35, n. 5, p. 527-543, May 2005.

CONCLUSÕES FINAIS DA DISSERTAÇÃO

Na região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG), assim como em outros estudos realizados em cavernas de diferentes regiões do país, os grupos mais diversos e comumente encontrados nos ecossistemas cavernícolas são representados por organismos que apresentam hábitos alimentares detritívoros ou predadores generalistas, capazes de encontrar alimento nestes ambientes com recursos escassos e pouco diversificados.

Tendo em vista o pequeno desenvolvimento das cavernas na região quando comparadas a outras áreas cársticas do país, a região apresentou uma elevada riqueza e diversidade de espécies. Estes resultados podem ser utilizados como um referencial importante pelos órgãos ambientais para análise de processos de licenciamento ambiental na região. Entretanto, não foi possível identificar padrões de distribuição preferencial das espécies por determinadas áreas, de modo que se pode considerar toda a área de estudo como “homogênea” em termos de composição faunística.

Apesar dos inúmeros impactos antrópicos existentes, uma elevada concentração de espécies troglomórficas foi observada em algumas áreas, sendo praticamente todas as espécies ainda não descritas. Tal situação deve ser considerada como um indicativo importante de que a fauna troglóbia brasileira encontra-se ainda extremamente subestimada e que esforços para a descrição de novas espécies devem ser considerados de caráter emergencial. Desta forma, o registro de 79 espécies troglomórficas para uma única região com certeza se traduz em uma das principais concentrações de espécies troglóbias do país.

No contexto mundial, a relação troglóbios por caverna estudada não representa a mesma relevância. Entretanto, salienta-se aqui, que foram consideradas troglóbias somente aquelas espécies com troglomorfismos evidentes uma vez que a fauna epígea local é praticamente desconhecida. Desta

forma, a realização de comparações é muito limitada e deve ser considerada precoce, sendo fundamental a realização de inventários faunísticos em porções epígeas da região para o conhecimento sobre a real condição de restrição das espécies ao ambiente subterrâneo. Portanto, o número efetivo de espécies troglóbias nesta área cárstica, o que incluiria os chamados “troglóbios recentes”, pode ser muito superior ao relatado neste trabalho.

Apesar de existirem grandes concentrações de espécies troglóbias em algumas cavernas, não foi possível verificar regiões de maior ocorrência destes organismos, sendo que a distribuição destas espécies se apresenta de maneira heterogênea. A maioria dos troglóbios aqui encontrados apresentou um padrão comum de distribuição, sendo endêmicas a uma caverna ou um sistema. Entretanto, a presença de vários táxons distintos com uma ampla distribuição na região deve ser considerada como uma condição singular para áreas cársticas brasileiras.

De acordo com a instrução normativa da nova legislação sobre a proteção do patrimônio espeleológico, e com base na presente proposta de identificação de espécies raras em ecossistemas cavernícolas, uma grande parcela das cavernas amostradas no presente estudo enquadrariam-se como de relevância máxima em virtude da ocorrência destas espécies.

Em relação às espécies acidentais, pela primeira vez adotou-se um critério para a determinação destas, as quais foram representados, em sua maioria, por grupos que não apresentam pré-adaptações ao ambiente subterrâneo. No entanto um fator relevante é que mesmo grupos recorrentes dentro dos sistemas cavernícolas brasileiros, podem apresentar porcentagens elevadas de espécies acidentais. Cavernas com rios apresentaram uma diferença significativa na ocorrência de espécies acidentais e parecem contribuir de maneira efetiva para introdução de espécies epígeas dentro dos ambientes subterrâneos.

Por fim, e a mais importante conclusão da presente dissertação, concentra-se na identificação de cinco áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade cavernícola na região espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis. Destas áreas, considera-se efetivamente prioritária e de caráter emergencial a região localizada nas imediações da cidade de Pains, tendo em vista a contiguidade de dois polígonos e os impactos antrópicos incidentes sobre a região. Vale ressaltar que embora uma unidade de conservação tenha sido recentemente criada nesta área, ela não assegura a preservação de grande parte do patrimônio bioespeleológico da região e que inúmeras medidas mitigadoras devem ser implantadas de forma emergencial. Além disso, é de fundamental importância a criação de outras UCs nas demais áreas apontadas aqui como prioritárias. Estas representam 30% da diversidade de invertebrados cavernícolas observados na região e cobrem menos de 7% da área com cavernas conhecidas para o carste local. Desta forma, a criação de outras áreas de proteção, baseadas no conceito de complementaridade, pode resultar em uma estratégia eficiente de conservação da fauna subterrânea.

APÊNDICE

	Página
APÊNDICE B	
FIGURA 1B Comparação do efeito da influência dos períodos de seca e chuva sobre as comunidades cavernícolas através dos parâmetros pluviosidade e disponibilidade de água no solo.....	175
FIGURA 2B Diversidade de invertebrados cavernícolas da região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG): Espécies comuns.....	176
FIGURA 3B Diversidade de invertebrados cavernícolas da região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG): Espécies troglóbias.....	177
FIGURA 4B Diversidade de invertebrados cavernícolas da região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG): Espécies raras.....	178
TABELA 1B Relação dos polígonos amostrados e sua classificação em cada atributo biológico. As coordenadas geográficas representam o ponto central de cada polígono.....	179
TABELA 2B Ficha de caracterização de cavidades naturais subterrâneas da região cárstica Arcos, Pains e Doresópolis - usos e impactos ambientais.....	181
TABELA 3B Lista de cavernas inventariadas estudo.....	182

FIGURA 1B Comparação do efeito da influência dos períodos de seca e chuva sobre as comunidades cavernícolas através dos parâmetros pluviosidade e disponibilidade de água no solo.

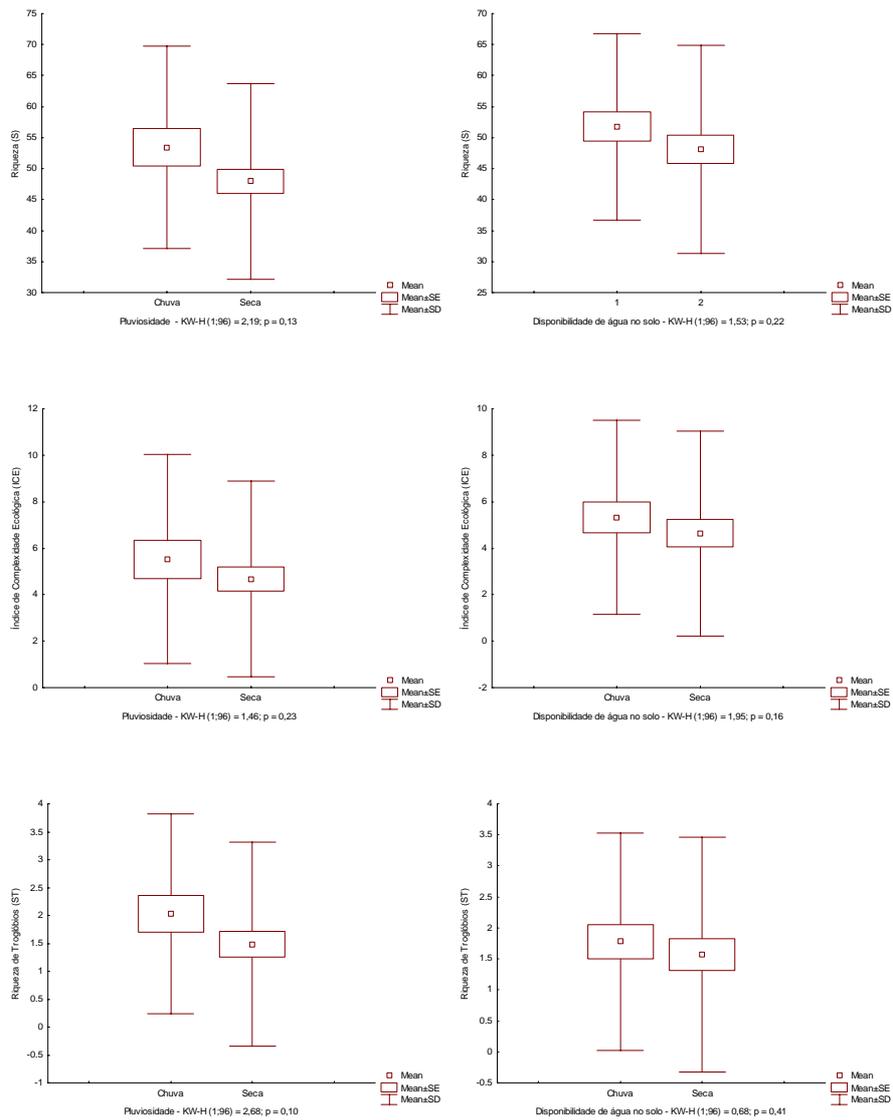


FIGURA 2B Diversidade de invertebrados cavernícolas da região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG): Espécies abundantes e de ampla distribuição (Espécies comuns).



Araneae: *Mesabolivar* spn.



Araneae: *Enoploctenus cyclothorax*



Opiliones: *Eusarcus hastatus*



Opiliones: *Mitogoniella taquara*



Hemiptera: *Zelurus* sp.



Spirostreptida: *Pseudonannolene* sp.

FIGURA 3B Diversidade de invertebrados cavernícolas da região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG): Espécies troglóbias.



Araneae: *Lygromma* spn.



Opiliones: *Liops* spn.



Spirostreptida: *Pseudonannolene* spn.



Isopoda: *Thailandoniscus* spn.



Coleoptera: *Coarazuphium pains*



Blattodea: *Litoblatta?* spn.

FIGURA 4B Diversidade de invertebrados cavernícolas da região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG): Espécies raras.



Amblypygi: *Charinus* spn.



Scorpiones: *Tityus braziliae*



Araneae: *Lasiodora* sp.



Araneae: *Loxosceles anomala*



Polydesmida: Paradoxosomatidae sp.



Blattodea: *Litoblatta* sp.

TABELA 1B Relação dos polígonos amostrados e sua classificação em cada atributo biológico. As coordenadas geográficas representam o ponto central de cada polígono (Datum: WGS 84).

Nome	UTM (WGS 89)		R	ICE	Tro	Vul	Prio
Polígono 01	429692	7762202	Média	Média	Baixa		
Polígono 02	431234	7759644	Baixa	Baixa	Baixa		
Polígono 03	434030	7759774	Baixa	Baixa	Média		
Polígono 04	409788	7757177	Baixa		Baixa		
Polígono 05	412720	7757114	Baixa		Baixa		
Polígono 07	418224	7757062	Baixa		Baixa		
Polígono 08	429672	7756962	Alta	Média	Alta	Baixa	Média
Polígono 09	432413	7757223	Média	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
Polígono 10	435338	7757005	Baixa		Baixa		
Polígono 11	438323	7757049	Alta	Média	Média	Média	Alta
Polígono 12	402693	7754568	Baixa	Baixa	Média		
Polígono 13	405567	7754690	Alta	Média	Extrema	Média	Extrema
Polígono 15	411180	7754667	Média	Média	Alta	Média	Alta
Polígono 16	414024	7754535	Baixa	Baixa	Média	Baixa	Baixa
Polígono 17	416929	7754480	Média	Média	Média	Média	Média
Polígono 19	425441	7754555	Média	Baixa	Média		
Polígono 20	428286	7754433	Alta	Alta	Alta	Baixa	Alta
Polígono 21	431131	7754499	Baixa	Baixa	Alta	Média	Média
Polígono 23	436832	7754421	Média		Média		
Polígono 25	409799	7751908	Alta	Média	Alta	Baixa	Média
Polígono 26	412563	7751946	Baixa		Baixa		Média
Polígono 27	415630	7751934	Média	Baixa	Média	Baixa	Baixa
Polígono 28	418374	7751934	Média	Baixa	Baixa	Média	
Polígono 31	426896	7751806	Média	Baixa	Média		
Polígono 33	432542	7751851	Média	Baixa	Baixa		
Polígono 34	435366	7751851	Média	Média	Média	Média	Média
Polígono 35	438277	7751909	Média		Baixa		
Polígono 36	411242	7749224	Alta	Média	Média	Baixa	Média
Polígono 37	414125	7749315	Alta	Alta	Extrema	Média	Extrema
Polígono 38	416944	7749247	Baixa		Média		
Polígono 43	431061	7749243	Extrema	Extrema	Alta	Extrema	Extrema
Polígono 46	439587	7749293	Média	Baixa	Baixa		
Polígono 50	424056	7746736	Baixa	Baixa	Baixa		
Polígono 51	426847	7746699	Média	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
Polígono 52	429765	7746662	Baixa	Extrema	Extrema	Extrema	Extrema
Polígono 53	432508	7746568	Baixa	Baixa	Extrema	Baixa	Média

TABELA 1B, Cont.

Nome	UTM (WGS 89)		R	ICE	Tro	Vul	Prio
Polígono 54	435371	7746637	Baixa	Baixa	Alta	Média	Média
Polígono 55	438123	7746620	Baixa	Baixa	Baixa		
Polígono 56	441115	7746568	Média	Baixa	Média		
Polígono 57	414039	7744040	Alta	Extrema	Alta	Baixa	Alta
Polígono 58	416861	7744090	Média	Baixa	Baixa	Média	Baixa
Polígono 62	428386	7744025	Média	Média	Média	Média	Média
Polígono 63	431015	7743876	Média	Média	Média	Baixa	Média
Polígono 64	433835	7743999	Média	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
Polígono 65	436722	7743982	Alta	Alta	Alta	Média	Alta
Polígono 66	439625	7743896	Média	Baixa	Média	Baixa	Média
Polígono 67	418324	7741485	Extrema	Alta	Alta	Extrema	Extrema
Polígono 68	426779	7741485	Alta	Baixa	Média	Média	Média
Polígono 69	429627	7741368	Média	Baixa	Média	Baixa	Baixa
Polígono 70	432403	7741361	Média	Baixa	Média	Média	Média
Polígono 71	435290	7741147	Alta	Baixa	Média	Alta	Média
Polígono 72	438122	7741381	Média	Baixa	Média		
Polígono 73	431029	7738642	Alta	Média	Alta	Baixa	Alta
Polígono 75	436786	7738684	Média	Baixa	Alta	Média	Média
Polígono 76	429645	7736080	Alta	Média	Alta	Baixa	Média
Polígono 77	432563	7736263	Média	Baixa	Alta	Baixa	Média

Legenda: S (Riqueza); ICE (Índice de Complexidade Ecológica); Tro (Trglóbios); Vuln. (Vulnerabilidade); Prioridade (Prioridade de conservação)

TABELA 2B Ficha de caracterização de cavidades naturais subterrâneas da região cárstica Arcos, Pains e Doresópolis - usos e impactos ambientais.

GRUTA:				DATA:					
USO DO ENTORNO (~250m)									
Agricultura	<input type="checkbox"/>	Pastagem	<input type="checkbox"/>	Estudo científico					
Irrigação	<input type="checkbox"/>	Equipamentos	<input type="checkbox"/>	Arqueológico		<input type="checkbox"/>			
Edificações	<input type="checkbox"/>	Atividade extrativista	<input type="checkbox"/>	Paleontológico		<input type="checkbox"/>			
USO DO INTERIOR									
Pré-histórico	Arte rupestre	<input type="checkbox"/>	Sedimento cultural (potencial)		<input type="checkbox"/>				
Histórico	Extração de salitre	<input type="checkbox"/>	Manifestação religiosa		<input type="checkbox"/>				
	Grafismo	<input type="checkbox"/>							
Outros:									
Atual	Visitação turística	<input type="checkbox"/>	Estudo científico						
	Visitação espeleológica	<input type="checkbox"/>	Arqueológico		<input type="checkbox"/>				
	Equipamentos	<input type="checkbox"/>	Paleontológico		<input type="checkbox"/>				
	Curral	<input type="checkbox"/>	Espeleológico		<input type="checkbox"/>				
Outros:									
IMPACTOS REAIS NA ÁREA DO ENTORNO (~250m)									
Lixo / entulho	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Área de queimada	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
Solo desnudo	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Vestígios de fogo na vegetação	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
Trilha	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Desmatamento	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
Processos erosivos	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Corte seletivo de madeira	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
Assoreamento	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Atividade extrativista	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
Outros:									
IMPACTOS REAIS NO INTERIOR DA CAVERNA									
S=Significativo M=Médio D=Desprezível A=Ausente									
Depredação de espeleotemas	S	<input type="checkbox"/>	M	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>	A	<input type="checkbox"/>	
Assoreamento de drenagem	S	<input type="checkbox"/>	M	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>	A	<input type="checkbox"/>	
Lixo	S	<input type="checkbox"/>	M	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>	A	<input type="checkbox"/>	
Pichações	S	<input type="checkbox"/>	M	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>	A	<input type="checkbox"/>	
Pisoteamento	S	<input type="checkbox"/>	M	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>	A	<input type="checkbox"/>	
Construções	S	<input type="checkbox"/>	M	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>	A	<input type="checkbox"/>	
Outros:									

TABELA 3B Lista de cavernas inventariadas na região cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG).

Nº	Caverna	Município
1	Gruta dos Milagres	Doresópolis
2	Gruta do Barreado II	Doresópolis
3	Gruta do Zizinho Beraldo	Pains
4	Gruta do Capoeirão	Pains
5	Gruta do Cavalinho	Pains
6	Gruta da Vila Corumbá	Pains
7	Gruta Ninfeta de Baixo	Pains
8	Gruta Tio Rafa I	Pains
9	Gruta Tio Rafa II	Pains
10	Gruta Ninfeta de Cima	Pains
11	Gruta da Mineração	Pains
12	Gruta Ninfeta III	Pains
13	Gruta do Dimas I	Pains
14	Gruta Paranoá	Pains
15	Gruta dos Fornos	Pains
16	Gruta do Cornélio I	Pains
17	Gruta do Cornélio II	Pains
18	Gruta Olhos D'água	Pains
19	Gruta do Zé Colmeia	Arcos
20	Gruta Branca	Arcos
21	Gruta Cazanga	Arcos
22	Gruta Fazenda Amargoso	Pains
23	Gruta Zé da Fazenda I	Pains
24	Gruta da Fumaça III	Doresópolis
25	Gruta da Fumaça II	Doresópolis
26	Gruta dos Macacos II	Pains
27	Gruta Macacos I	Pains
28	Gruta Ponte Velha I	Pains
29	Gruta dos Macacos III	Pains
30	Gruta do Dimas II	Pains
31	Gruta São Lourenço I - Formigas	Pains
32	Gruta Zé da Fazenda II	Pains
33	Gruta da Tamafi I	Pains
34	Gruta da Tamafi II	Pains
35	Gruta do Cornélio III	Pains

TABELA 3B, Cont.

Nº	Caverna	Município
36	Gruta do Cornélio IV	Pains
37	Gruta do Zé Geraldão	Arcos
38	Gruta do Coelho	Pains
39	Loca dos Negros I (Água)	Pains
40	Loca dos Negros II (Seca)	Pains
41	Loca dos Negros III (Diáclase)	Pains
42	Gruta do Sr. Francisco	Pains
43	Abismo da Manada I	Pains
44	Gruta da Manada II	Pains
45	Gruta da Guela	Pains
46	Gruta Quimvale I	Pains
47	Gruta Lenticular	Pains
48	Gruta Duas Bocas	Pains
49	Gruta do Físico	Pains
50	Gruta das Cerâmicas	Pains
51	Gruta do Bicho Desconhecido	Pains
52	Gruta do Paleopiso	Pains
53	Sistema Aranha Gigante	Pains
54	Gruta do Albano	Pains
55	Gruta Água Limpa I	Pains
56	Gruta da Paca	Pains
57	Gruta do Zé Erpídio	Pains
58	Gruta da Água Limpa II	Pains
59	Gruta do Zé Serafim	Pains
60	Gruta do Café	Pains
61	Gruta do Veado	Pains
62	Gruta do Liveirinho	Pains
63	Gruta dos Coqueiros (Coruja)	Doresópolis
64	Gruta da Índia	Pains
65	Gruta da Água Limpa III	Pains
66	Gruta do Tronco	Pains
67	Gruta do Grande Salão	Pains
68	Gruta Asa Mariposa	Pains
69	Loca Dagua (Sumdouro)	Pains
70	Loca Dagua (Ressurgência)	Pains
71	Sistema Conchas	Pains

TABELA 3B, Cont.

Nº	Caverna	Município
72	Gruta Ponte Velha II	Pains
73	Gruta do Sumidouro	Pains
74	Gruta do Sumidouro do Lixo	Pains
75	Gruta do Isaias (Nadinho)	Pains
76	Gruta Cristais	Pains
77	Gruta do Mastodonte	Pains
78	Loca Feia	Pains
79	Gruta do Teto Alto	Pains
80	Gruta Dolina dos Angicos	Pains
81	Gruta do Vicente Amargoso	Pains
82	Gruta Serra Azul	Pains
83	Gruta dos Marinheiros	Pimenta
84	Gruta do Dico Ramiro	Doresópolis
85	Gruta Helinho I	Doresópolis
86	Gruta Timboré I	Pains
87	Gruta Timboré II	Pains
88	Gruta Buraco dos Curiós	Doresópolis
89	Gruta Zé Serafim II	Pains
90	Gruta Zé Serafim III	Pains
91	Gruta Sarmiento	Pains
92	Gruta Helinho II	Doresópolis
93	Gruta do Éden	Pains
94	Gruta Terra Amarela I	Pains
95	Gruta Terra Amarela II	Pains
96	Gruta da Cinderela	Córrego Fundo
97	Abriço Menor	Pains
98	Abriço	Pains
99	Gruta'	Pains
100	Gruta''	Pains
101	Gruta do Retiro	Pains
102	Gruta da Torre	Pains
103	Gruta do Ronco	Pains
104	Gruta do Peixe	Pains
105	Gruta Massambará (Abismo)	Pains
106	Gruta Massambará (Arqueo)	Pains
107	Gruta Buraco do Vento	Pains

TABELA 3B, Cont.

Nº	Caverna	Município
108	Gruta do Davi	Pains
109	Gruta Lanchonete de Coruja	Pains
110	Gruta do Brejão (Estromatólitos)	Pains
111	Gruta Água Funda	Pains
112	Gruta do Bode	Pains
113	Gruta dos Canudos	Pains
114	Gruta Simone do Davi	Pains
115	Gruta do Tamboril	Pains
116	Gruta das Pegadinhas Submersas	Pains
117	Gruta dos Perdidos	Pains
118	Gruta Sorvetão	Pains
119	Gruta do Capão	Pains
120	Gruta do Sobradinho	Pains
121	Gruta número 10	Pains
122	Gruta Massambará (Passagem)	Pains
123	Gruta Seu Valtevindo (V9)	Pains
124	Loca D'água	Pains
125	Gruta do Trenzinho	Pains
126	Gruta Buraco do Kate	Pains
127	Gruta da Sanguera (Horaslinda)	Pains
128	Gruta B10	Pains
129	Gruta B9	Pains
130	Gruta V10(c)	Pains
131	Lapa da Perdição	Pains
132	Toca da Coruja Branca (Tabocas III – T9)	Pains
133	Gruta da Borboleta Azul	Pains
134	Gruta da Travessia das Tabocas (S8-S7)	Pains
135	Gr Dolina de Frente (S10)	Pains
136	Gruta São Lourenço I (SLI)	Pains
137	Gruta SL1 (Gruta do Topo)	Pains
138	Gruta da Fazenda São Lourenço II (SL11)	Pains
139	Gruta das Aranhas	Pains
140	Gruta do Pé de Junco III (C16)	Pains
141	Gruta da Igreja de São Geraldo (C14)	Pains
142	Gruta Moranga 7 (Abismo)	Pains

TABELA 3B, Cont.

Nº	Caverna	Município
143	Gruta Dona Rita (Ponto B4-P7)	Pains
144	Gruta do Frigo	Pains
145	Gruta do Funil	Arcos
146	Caverna dos Três Salões	Arcos
147	Caverna do Depósito	Arcos
148	Gruta do Teto Plano	Arcos
149	Caverna do Alinhamento	Arcos
150	Gruta do Paredão Descoberto	Iguatama
151	Manganga Aborrecida	Pains
152	Gruta Boca do "U"	Pains
153	Gruta do Alto Boqueirão (Ponto F9)	Pains
154	Gruta Sumidouro da Caixa	Arcos
155	Gruta das Pinturas do Índio	Arcos
156	Gruta Sumidouro do Abismo	Arcos
157	Caverna Seca	Arcos
158	Gruta Y7	Pains
159	Gruta G7	Pains
160	Gruta do Canyon do São Francisco	Bambuí
161	Tio Ferreira	Pains
162	C1 Bocaininha	Arcos
163	C2 Bocaininha	Arcos
164	C3 Bocaininha	Arcos
165	C4 Bocaininha	Arcos
166	C5 Bocaininha	Arcos
167	C6 Bocaininha	Arcos
168	C7 Bocaininha	Arcos
169	C8 Bocaininha	Arcos
170	Abrigo do Topo	Pains
171	Gruta da Diáclase Abatida	Pains
172	Gruta dos Oplhões	Pains
173	Abrigo do topo	Pains
174	Derrubada	Pains
175	Manganga Aborrecida	Pains
176	Buraco do Rivaldo	Pains
177	Buraco do Nando	Pains
178	Solá	Pains

TABELA 3B, Cont.

Nº	Caverna	Município
179	Gruta F5	Pains
180	Caracol	Pains
181	Abrigo do Calango	Pains
182	Gruta do Escorpião	Pains
183	Gruta do Paiol de Milho	Pains
184	Gruta do Pica Pau/Osso de Porco	Pains
185	Gruta do Pei	Pains
186	Gruta da Filó	Pains
187	Gruta Brasical	Pains
188	Gruta da Divisa	Pains
189	Gruta Massambará (Abismo)	Pains
190	Gruta Fundo de Quintal	Pains
191	Gruta Sede da ICAL	Pains
192	Gruta 01	Doresópolis
193	Gruta 02	Doresópolis
194	Ponto 11	Doresópolis
195	Ponto 01	Doresópolis
196	Ponto 02	Doresópolis
197	Ponto 06	Doresópolis
198	Ponto 07	Doresópolis
199	Ponto 13	Doresópolis
200	Gruta Ponto 27	Doresópolis
201	Gruta Ponto 37	Doresópolis
202	Gruta Ponto 38	Doresópolis
203	Gruta Ponto 54	Doresópolis
204	Gruta Ponto 15	Doresópolis
205	Ponto 13	Doresópolis
206	Gruta da Divisa	Pains
207	Gruta da Passagem do Coqueiro	Pains
208	Sistema Sardinha (I e II)	Pains
209	Gruta da Diáclase Abatida	Pains
210	Gruta dos Opiliões	Pains
211	Gruta das Raízes Fósseis	Pains
212	Gruta da Gipsita	Pains
213	Gruta dos Abisminhos	Pains
214	Gruta da Diáclase Fendida	Pains

TABELA 3B, Cont.

Nº	Caverna	Município
215	Gruta Atravessadora	Pains
216	Grutas de Coordenadas 1	Pains
217	Grutas de Coordenadas 2	Pains
218	Grutas de Coordenadas 3	Pains
219	Gruta do Pasto (S6)	Pains
220	Gruta da Passagem do Pasto (S4)	Pains
221	Abrigo do Ponto (SL3)	Pains
222	Gruta Pé de Junco II ou Meu Amor II (C13)	Pains
223	Gruta do Pé de Junco I ou Aranhas (C12)	Pains
224	Gruta C26 (Jeboni)	Pains
225	Gruta C25 (Mangangá ou dos Coelhos)	Pains
226	Gruta do Pé de Junco III (C16)	Pains
227	Gruta da Igreja de São Geraldo (C14)	Pains
228	Gruta Moranga 7 (Abismo)	Pains
229	Gruta do Jorge	Pains
230	Gruta A12	Pains
231	Gruta V10(c)	Pains
232	Gruta do Capão II	Pains
233	Abrigo do Capão	Pains
234	Gruta da Passagem	Pains
235	Ponto 3	Arcos
236	Ponto 16	Arcos
237	Ponto 18	Arcos
238	Ponto 43	Arcos
239	Gruta da Limeira	Arcos
240	Abismo da Limeira	Arcos
241	Toca da Limeira	Arcos
242	Gruta Frente da Lavra	Arcos
243	Gruta Abismo Satélite	Arcos
244	Gruta Curral de Pedra	Arcos
245	Gruta do Bicho que Foi	Lagoa da Prata
246	Gruta do Corredor	Lagoa da Prata
247	Gruta das Caverninhas	Lagoa da Prata
248	Gruta do Marimbondo (Ponto 1)	Lagoa da Prata
249	Gruta do Piquira	Lagoa da Prata

TABELA 3B, Cont.

Nº	Caverna	Município
250	Gruta Salão de Festas	Lagoa da Prata
251	Grutas dos Cixidos (Ponto 16)	Lagoa da Prata
252	Gruta do Papo Cabeça (Ponto 16')	Lagoa da Prata
253	Gruta das Pegadas da Onça (Ponto 6')	Lagoa da Prata
254	Gruta do Agazão (Ponto 6'')	Lagoa da Prata
255	Gruta do Fantoche (Ponto 20)	Lagoa da Prata
256	Gruta da Diáclase em V (Ponto 20')	Lagoa da Prata
257	Gruta da Chacina do Opilião (Ponto 20'')	Lagoa da Prata
258	Gruta dos Fósseis (Ponto 20''')	Lagoa da Prata
259	Gruta dos Morcegos (Ponto 20''''')	Lagoa da Prata
260	Gruta V3	Doresópolis
261	Gruta V2	Doresópolis
262	Gruta A1	Doresópolis
263	Gruta D4	Doresópolis
264	Ponto D3	Doresópolis
265	Gruta Ponto 41	Doresópolis
266	Gruta do Samurai	Arcos
267	Gruta Passagem Coral	Arcos
268	Gruta da Coral	Arcos
269	Gruta do Índio	Arcos
270	Arco do Índio	Arcos
271	Abrigo do Labirinto	Arcos
272	Gruta do Labirinto	Arcos
273	Gruta Estalactite Falsa	Arcos
274	Meandro Posse Grande	Arcos
275	Gr Sexta-Feira Paixão	Arcos
276	Gruta Caneleira (I e II)	Arcos
277	Gruta da CSN	Arcos
278	Abismo Maria Sapuda	Arcos
279	Gruta do Topo do Forno (D78)	Doresópolis
280	Gruta da Ostra (D115)	Doresópolis
281	Gruta da Cigarrinha (D123)	Doresópolis
282	Gruta do Gavião (D124)	Doresópolis
283	Gruta Interrompida (D41)	Doresópolis
284	Gruta do Marco (D35)	Doresópolis
285	Gruta Sumidouro da Boca Porca (D81)	Doresópolis

TABELA 3B, Cont.

Nº	Caverna	Município
286	Gruta Osso do Teiú (D72)	Doresópolis
287	Gruta da Arvorezinha Fina (D18)	Doresópolis
288	Gruta do Boi Preto (P15)	Doresópolis
289	Gruta do Tamanduazinho (C21)	Doresópolis
290	Gruta C14	Doresópolis
291	Gruta Véu da Mata	Doresópolis
292	Gruta da Passagem	Doresópolis
293	Gruta do Esfolamento	Doresópolis
294	Gruta do V (C10)	Doresópolis
295	Gruta Brega	Pains
296	Gruta do Santuário	Pains