



LUCAS MENDES RABELO

**ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS NO
EIXO CENTRO-NORTE DE MINAS GERAIS**

LAVRAS – MG

2016

LUCAS MENDES RABELO

**ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS NO EIXO CENTRO-
NORTE DE MINAS GERAIS**

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 Naturais em Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador:

Dr. Rodrigo Lopes Ferreira

Coorientador:

Dr. Marconi Souza Silva

LAVRAS – MG

2016

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Rabelo, Lucas Mendes.

Ecologia e conservação de cavernas no eixo Centro-norte de Minas Gerais / Lucas Mendes Rabelo. – Lavras : UFLA, 2016.
100 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de Lavras, 2016.

Orientador(a): Rodrigo Lopes Ferreira.

Bibliografia.

1. Conservação. 2. Caverna. 3. Invertebrados. 4. Comunidades.
5. Ecologia. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

LUCAS MENDES RABELO

**ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS NO EIXO CENTRO-
NORTE DE MINAS GERAIS**

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 Naturais em Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 24 de março de 2016.

Dr. Paulo dos Santos Pompeu

UFLA

Dr. Nelson Henrique de Almeida Curi

UNILAVRAS

Dr. Rodrigo Lopes Ferreira
Orientador

Dr. Marconi Souza Silva
Coorientador

LAVRAS – MG

2016

Á Eliana e ao Geraldo, meus maravilhosos pais, pela cumplicidade, exemplo, amor incondicional, companheirismo, por todo esforço que fizeram e suor que derramaram para me proporcionar o melhor que conseguiram, por cada sim e por cada não.

À minha irmã Anaíle, pelo companheirismo, força de vontade e prova de que com amor e determinação, as batalhas da vida se tornam breves histórias.

Á minha semi-irmã Érica, pela alegria, força e fragilidade paradoxal, carinho e amor.

Ao meu avô Vicente Mendes (in memorian), pelo ensinamento de que por mais que a vida seja breve, nunca é tarde para sonhar e realizar seus sonhos.

À minha avó Nair Silvério (in memorian), por me mostrar a importância da sementeira, para que o amor da história, ultrapasse a dor da realidade.

À Sabrina Silva, minha amada, pela compreensão, paciência, amor, companheirismo, respeito e crescimento mútuo, que me faz ser a cada dia melhor que ontem e pior que amanhã.

Aos meus amigos, pela acolhida e convivência nos momentos bons e ruins, por me proporcionarem conforto nos momentos difíceis, sorrisos nos momentos felizes, experiências e momentos únicos, por cada estendida de mão, cada abraço e tantas lembranças.

À Nossa Senhora Aparecida, pela guarda e guia.

Á Deus, pelos caminhos abertos e pela sabedoria das escolhas.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pela dádiva da vida, por me proporcionar tantas oportunidades, iluminar minhas escolhas e me rodear de pessoas maravilhosas.

À Nossa Senhora Aparecida pela intercessão.

Aos meus pais Eliana e Geraldo, minha irmã Anaflé, minha noiva Sabrina e meus familiares, pelo amor, união, compreensão da ausência, pela superação da distância e por todo apoio.

Aos novos amigos que fiz e aos que sempre levo carregados pela história, pelas portas abertas, pelo crescimento pessoal e profissional, pelo companheirismo pelos conselhos, ideias, exemplos, ensinamentos e inspirações.

Aos companheiros do Centro de Estudos em Biologia Subterrânea, pela agradável convivência cotidiana, pelo suporte no dia a dia, em especial à Sassanha (Thaís Pellegrini), Drops (Rodrigo Ferreira), Titó (Marconi), Japa (Luiz Iniesta), Pirilo (Rodrigo Souza), Pedro Ratton, Pepa (Rafaela Pereira), Mommy Bear (Vanessa Mendes) e Ditcho (Matheus Evaristo) que doaram parte de seu tempo para contribuir com as viagens de campo. Ao Magrela (Ludson Ázara), Japa e Pirilo pela companhia, conversas descontraídas, ajudas e favores.

Aos estagiários Wagner, Júlia e Gilson pelo auxílio na triagem.

Aos meus orientadores e amigos Rodrigo Lopes Ferreira e Marconi Souza Silva pelas oportunidades, conselhos, conversas, exemplos, atenção, pela vermelhidão das revisões dos primeiros manuscritos e por se esforçarem tanto para lapidar seus orientados.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e a todos os membros do Programa de Pós-graduação em Ecologia Aplicada (PPGECO) pela qualidade e oportunidade concedida para realização do mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo financiamento do projeto.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela bolsa concedida.

Ao professor Fernando Verassani, que me proporcionou a primeira oportunidade na espeleologia.

Aos companheiros da Ativo Ambiental pela troca de experiências e apoio logístico para que eu conseguisse conciliar o trabalho aos estudos na preparação para a prova de seleção.

Aos grupos de espeleologia que disponibilizaram mapas e coordenadas das cavernas inventariadas (Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas – GBPE, Espeleogrupo Peter Lund – EPL, Sociedade Excursionista Espeleológica – SEE).

Aos moradores das regiões visitadas que nos guiaram às cavernas locais (Santinho, Bira, Eduardo Gomes, Edson Veloso, Ronaldo Sarmento, Lorão, Aldelice e Nilsinho).

Aos pesquisadores que auxiliaram no refinamento taxonômicos (Acari: Leopoldo Bernardi, Amblypygi: Ana Carolina Vasconcelos, Araneae: Antônio Brescovit, Collembola: Douglas Zeppelini, Diplopoda: Luiz Felipe Moretti Iniesta, Opiliones: Ludson Ázara, Palpigradi: Maysa Villela).

Aos gestores e funcionários do Parque Estadual da Lapa Grande pela acolhida.

Aos funcionários do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu pelo apoio.

Às pessoas que colaboraram com indicação de cavernas e mapas (Frederico Gonçalves, Leda Zogbi, Augusto Auler e Ezio Rubioli).

Ao Instituto Pristino e seus membros pelo apoio logístico, acompanhamento e indicação de cavernas.

Aos amigos do LEMAF-UFLA pelo auxílio com os programas de sensoriamento remoto (Nathália Carvalho, Daniel Prado, Guilherme Leite e Liliano Rambaldi).

Ao professor Paulo Pompeu pelas dicas e esclarecimentos estatísticos.

À Rafaela Bastos e à Perna (Gabrielle Pacheco) pela ajuda nas correções de inglês.

A todos estes, meu sincero muito obrigado.

“Mas, se ergues da justiça a clava forte,
Verás que um filho teu não foge à luta,
Nem teme, quem te adora, a própria morte.”

Joaquim Osório Duque Estrada

RESUMO

As cavernas, ambientes simplificados, com características climáticas estáveis e elevado endemismo, são importantes laboratórios para pesquisas em diversos ramos da ciência. Por estarem geralmente associados a rochas de elevado valor econômico, estes ambientes têm sido ameaçados. É frequente a substituição de grande parte das paisagens naturais dos países em desenvolvimento por paisagens voltadas às demandas desenvolvimentistas, que também afetam as cavernas. Estudos em cavernas neotropicais, tiveram início tardio, seus padrões e tendências ainda são em grande parte obscuros. Para analisar a relação das cavernas com o ambiente e traçar estratégias de conservação, foram amostradas comunidades de invertebrados de 51 cavernas no eixo Centro-norte do estado de Minas Gerais, Brasil. Ao todo foram encontradas 1523 espécies, pertencentes à 17 classes, 47 ordens e pelo menos 193 famílias. A riqueza total média das cavernas foi de 61,2 espécies ($dp = 30,6$) e de troglóbios 2,7 espécies ($dp = 2,5$). A riqueza se mostrou positivamente relacionada ao tamanho da caverna, número de entradas e presença de água. A similaridade, de forma geral, se mostrou mais relacionada à distância geográfica entre as cavernas, entretanto, cavernas com curso d'água foram mais semelhantes entre si do que em relação às outras cavernas próximas. A fauna associada às cavernas apresentou elevada correlação à fauna geral conhecida no Brasil, demonstrando que em regiões megadiversas, o número de espécies que conseguem ultrapassar os filtros ambientais e biológicos, intrínsecos ao ambiente cavernícola, é maior e que quase todos os grupos com ocorrência de troglóbios apresentam riqueza acima do esperado nos ambientes subterrâneos, provavelmente reflexo das pré-adaptações a estes ambientes. Apesar da peculiaridade da fauna subterrânea, seus valiosos serviços ecossistêmicos e da importância no ciclo hidrológico das paisagens que as circundam, as cavernas estão sendo ameaçadas pela contínua substituição da paisagem natural pelos cenários voltados às atividades que findam suprir as necessidades desenvolvimentistas. Por este motivo, nos últimos anos foram criados diversos índices, que objetivam elencar cavernas com necessidade de intervenções conservacionistas. Após calcular a grau de vulnerabilidade de cada caverna inventariada, foi sugerido criação de duas unidades de conservação, uma no município de Luislândia e uma no município de Coração de Jesus, além de medidas de conservação para outras 11 cavernas enquadradas como de vulnerabilidade extremamente alta, segundo o Índice de Prioridade para Conservação de Cavernas – iPCC. Ao compararmos os três últimos índices utilizados para nortear a conservação de cavernas no Brasil, foi possível diagnosticar que o que melhor se aplica à realidade das cavernas brasileiras é o iPCC.

Palavras-chave: Conservação, Caverna, Invertebrados, Comunidades, Ecologia.

ABSTRACT

Caves are generally simplified environments, with stable climatic characteristics and a high level of endemisms. They are also important laboratories for researches of several science branches. Due to their frequent association with rocks of high economic value, those environments have been strongly threatened. Developing countries often have their natural landscapes replaced by activities that support developmental demands, which are usually harmful to caves. Studies in neotropical caves started late, so their patterns and tendencies are still largely unknown. In order to analyze the relationship between cave fauna and the subterranean environment and outline conservation strategies, the invertebrate communities of 51 caves of central and northern Minas Gerais state, Brazil, were sampled. Altogether, 1523 species were found, which belong to 17 classes, 47 orders and at least 193 families. The mean total species richness was 61.2 (sd = 30.6) and the mean troglobitic richness was 2.7 (sd = 2.5). The richness was positively related to the cave size, number of entrances and presence of water. The similarity was, in general, more related to the geographic distance between the caves. However, caves with water bodies are more similar to each other when compared to the other nearby caves. The fauna associated to the caves was highly correlated to the general Brazilian fauna, showing that in megadiverse regions, the number of species capable to trespass environmental and biological cave filters is high. Furthermore, almost all the groups with troglobitic representatives have levels of richness above the expected for subterranean environments, probably a result of the pre-adaptation to such environments. Despite the peculiarities of the subterranean fauna, its valuable ecosystem services and importance for the hydrological cycle of the surrounding landscape, caves have been threatened by the continuous transformation of the natural landscapes to support the social and economic development. For this reason, several conservation indices were created for caves over the last few years to rank the caves by their need of a conservationist intervention. After calculating the vulnerability level of each inventoried cave, the creation of conservation unities was recommended for the municipalities Luislândia and Coração de Jesus, besides other conservation measures for other 11 caves classified as extremely high vulnerable according to the Cave Conservation Priority Index - CCPi. When comparing the three latest indices developed for the conservation of speleological patrimony, CCPi stood out as the most appropriate to evaluate the threat status and biological importance of tropical caves.

Keywords: Conservation, Cave, Invertebrates, Communities, Ecology.

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	
1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
3	CONCLUSÃO.....	18
	REFERÊNCIAS.....	21
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS.....	27
	ARTIGO 1: Estruturação das comunidades de invertebrados em cavernas neotropicais: contribuição da fauna epígea e da estrutura do habitat.....	28
	ARTIGO 2: Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade subterrânea no eixo Centro-norte de Minas Gerais.....	63

1 INTRODUÇÃO

A presente dissertação foi dividida em duas partes, a primeira contendo referencial teórico, onde é possível absorver alguns conceitos básicos sobre a temática da biologia subterrânea e conclusões gerais, onde é listado as principais contribuições da presente dissertação para a sociedade e a segunda parte contendo dois artigos escritos no formato sugerido pela revista *International Journal of Speleology*. Para atingir os objetivos dos dois artigos, utilizamos um banco de dados único, que se refere à composição da comunidade de invertebrados cavernícolas de 51 cavernas distribuídas em 17 municípios do eixo Centro-norte de Minas Gerais.

No primeiro artigo, os objetivos avaliaram: *i)* como a riqueza total e de espécies troglóbias se relacionam ao desenvolvimento linear das cavernas, bem como ao tamanho e número de entradas; *ii)* se existem diferenças entre as riquezas das cavernas com e sem corpos de água; *iii)* como as riquezas variam entre as cavernas em função de seus atributos hidrológicos; *iiii)* quais das variáveis (desenvolvimento linear, soma das áreas das entradas, número de entradas, presença e tipo de corpos d'água, e distância geográfica entre as entradas) melhor explicam a composição das comunidades associadas às cavernas inventariadas e *iiiiii)* qual a relação entre a composição da fauna encontrada nos ambientes epígeos brasileiros com a encontrada nos ambientes hipógeos amostrados.

No segundo artigo, os objetivos foram *i)* utilizar o iPCC como ferramenta de valoração de cavernas, a fim de definir cavernas e áreas prioritárias para conservação da biodiversidade cavernícola na região Centro-norte de Minas Gerais e *ii)* avaliar a aplicabilidade de três índices, que visam a conservação de cavernas, quanto a conservação da biodiversidade cavernícola em regiões megadiversas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Caverna é um dos substantivos relacionados aos espaços vazios em uma rocha que são formados por processos naturais e possuem abertura para a atmosfera (FORD; WILLIAMS, 2007). Segundo a legislação brasileira, cavernas são quaisquer cavidades naturais adentráveis pelo homem (BRASIL, 1990). Estes ambientes, também são reconhecidos por diversos outros nomes populares, que variam com o regionalismo de norte a sul do país, como por exemplo lapa, toca, boqueirão, loca, buraco, entre outros.

São ecossistemas diferenciados por possuírem, de forma geral, características climáticas estáveis (temperatura e umidade), completa ausência de luz nas áreas distantes das entradas e elevada umidade (CULVER; PIPAN, 2010, 2013; GILLIESON, 1996; POULSON; WHITE, 1969; WHITE; CULVER, 2012a). Consideradas importantes laboratórios naturais, as cavernas proporcionam ricos cenários para estudos em diversas áreas, como evolução biológica, antropológica, história geológica e climática (CULVER; PIPAN, 2009a; WATSON et al., 1997; WHITE; CULVER, 2012b).

Também são de extrema importância para os ecossistemas que a circundam, estando relacionadas a diversos serviços ecossistêmicos, fornecendo local de nidificação e abrigo para polinizadores, controladores de pragas e dispersores de sementes, além de muitas vezes participarem dos sistemas naturais de captação hídrica das paisagens que se inserem (BOULTON et al., 2008; ELLIOTT, 2000; GUIMARÃES, 2014; KUNZ et al., 2011).

Suas características peculiares, ao mesmo tempo que são atrativas para alguns grupos, limitam a ocorrência de outros, como por exemplo seres fotossintetizantes (CULVER; PIPAN, 2009b; POULSON; WHITE, 1969; SCHNEIDER; CHRISTMAN; FAGAN, 2011). A ausência de organismos fotossintetizantes nas zonas escuras da caverna, torna sua comunidade

dependente de recursos orgânicos de origem alóctone, ou seja, que vem de fora da caverna (CULVER; PIPAN, 2009b; SCHNEIDER; CHRISTMAN; FAGAN, 2011; SOUZA-SILVA et al., 2012). Diversos mecanismos contribuem para a entrada de recursos orgânicos nas cavernas, alguns exemplos são: espécies que se abrigam na caverna e forrageiam fora (eg: morcegos, corujas, opiliões e formigas), ação do vento, da gravidade e da água (CULVER; PIPAN, 2009b; SOUZA-SILVA; MARTINS; FERREIRA, 2011a; SOUZA-SILVA et al., 2012). Existem exceções de comunidades cavernícolas estruturadas com recursos orgânicos de origem autóctone, ou seja, que são sintetizados na própria caverna. Estes exemplos, geralmente estão associados à bactérias quimioautotróficas, como é o caso da caverna Ayyalon em Israel (POR et al., 2013) e da caverna Movile na Romênia (CHEN et al., 2009).

As diversas espécies que compõem as comunidades hipógeas (de dentro da caverna), são usualmente divididas em grupos, fundamentados nas relações ecológicas e evolutivas que apresentam com o ambiente cavernícola (BOUTIN, 2004; CHRISTIANSEN, 1962; CULVER; PIPAN, 2009c; SKET, 2008). Em uma revisão recente, foram estabelecidos quatro grupos de espécies: troglóbias, eutroglófilas, subtroglófilas e troglóxenas (SKET, 2008), entretanto, como a legislação brasileira adota as categorias: troglóbio, troglófilos, troglóxenos e acidental (BARR, 1968), seguiremos com ela.

Para Barr (1968), as espécies que compõem o grupo dos troglóbios são aquelas cuja distribuição é restrita ao ambiente subterrâneo. Estas usualmente apresentam troglomorfismos, que são características evolutivas convergentes (evolução independente, de características com funções similares), resultantes da seleção à vida nas cavernas (eg.: alongamento de apêndices locomotores e sensoriais, despigmentação, ausência de olhos, aumento do número de órgãos sensoriais, redução da prole, resistência a oligotrofia) (CHRISTIANSEN, 1962; CULVER; PIPAN, 2009c; SKET, 2008). Os troglóbios são resultado da

especiação (surgimento de uma nova espécie) por isolamento genético de populações anteriormente pertencentes ao grupo das espécies troglófilas (BARR, 1968; CHAPMAN, 1982; CULVER, 1982; GONÇALVES, 2013; HOWARTH, 1987; ROMERO, 2009; SKET, 2008). O grupo dos troglófilos, é composto pelas espécies que possuem populações viáveis estabelecidas tanto no interior de cavernas quanto em ambientes epígeos (ambientes de superfície; externos) (BARR, 1968). As espécies troglóxenas, são aquelas que estão associadas às cavernas, mas que necessitam frequentar o ambiente epígeo para alguma função biológica (eg: alimentação, reprodução) (BARR, 1968). Espécies que frequentam o ambiente subterrâneo esporadicamente ou acidentalmente e não conseguem estabelecer populações viáveis, pertencem ao grupo das acidentais (BARR, 1968).

Pouco se conhece sobre as espécies que compõem as comunidades cavernícolas neotropicais e sua interação com o ambiente. Estudos recentes demonstram que diversos fatores atuam na estruturação das comunidades cavernícolas, como exemplo, podemos citar: a área das cavernas, que remete à disponibilidade de habitat (CULVER; PIPAN, 2009d; CULVER et al., 2003; SIMÕES; SOUZA-SILVA; FERREIRA, 2015; SOUZA-SILVA, 2008); o tipo de rocha na qual a caverna se insere (SOUZA-SILVA; MARTINS; FERREIRA, 2011b); e a presença de rios, que carregam indivíduos e matéria orgânica para o interior da caverna (SIMÕES; SOUZA-SILVA; FERREIRA, 2015).

Os estudos com fauna cavernícola no Brasil, se iniciaram na década de 80, quando foi publicado o primeiro levantamento preliminar da fauna cavernícola de algumas regiões do Brasil (DESSEN et al., 1980), desde então, diversas pesquisas vem sendo realizadas com a fauna subterrânea brasileira, no entanto, frente à grande diversidade e extensão territorial do Brasil, ainda se conhece muito pouco. Até mesmo a quantidade de cavernas existentes no país é

desconhecida, estima-se que mais de 80% das cavernas brasileiras ainda não foram encontradas (AULER; PILÓ, 2011).

A maior parte das cavernas se desenvolvem em rochas de alto valor econômico (calcário e formações ferríferas) (CAVALCANTI et al., 2012; FERREIRA; MARTINS, 2001; JANSEN; CAVALCANTI; LAMBLÉM, 2012). Minas Gerais é o estado brasileiro com maior número de cavernas cadastradas, das quais 66% se desenvolvem em rochas calcárias e 17% em formações ferríferas (CECAV, 2016). Boa parte da economia brasileira é sustentada pela extração mineral (IBRAM, 2014), o que tem colocado em risco grande número de cavernas.

Conflitos entre políticas de desenvolvimento e conservação têm gerado diversas mudanças na legislação. Em 2008, o decreto 6.640 do Ministério do Meio Ambiente, instituiu uma releitura ao decreto 99.556 de 1990, na qual as cavernas que antes não podiam sofrer impactos irreversíveis, se tornaram legalmente susceptíveis à total destruição, após estudos de licenciamento ambiental (BRASIL, 1990, 2008). Entretanto, houve aumento da fiscalização e estudos espeleológicos, que antes eram negligenciados nos processos de licenciamento ambiental, passaram a ser exigidos para empreendimentos em áreas com possível ocorrência de cavernas, o que dificultou a supressão ilegal de cavernas, que muitas vezes ocorria em empreendimentos minerários.

A pesar do aumento da fiscalização sobre as atividades impactantes ao patrimônio espeleológico, de forma geral, os planos voltados para o desenvolvimento econômico têm sobrepujado as políticas de conservação (FERREIRA et al., 2014; SUGAI et al., 2015). Com tudo, algumas ações governamentais ainda buscam medidas de conservação do patrimônio espeleológico, como é exemplo o plano de ação nacional para conservação do patrimônio espeleológico nas áreas cársticas da bacia do Rio São Francisco – PAN cavernas do São Francisco.

Nos últimos anos, em diversas partes do mundo, inclusive no Brasil, foram desenvolvidos índices para auxiliar medidas de conservação das cavernas. Estes índices avaliam de forma geral, a vulnerabilidade do patrimônio espeleológico e sua paisagem adjacente (BEYNEN; TOWNSEND, 2005; DONATO; RIBEIRO; SOUTO, 2014; SOUZA-SILVA; MARTINS; FERREIRA, 2015). Alguns deles já foram aplicados em algumas regiões do país (SIMÕES; SOUZA-SILVA; FERREIRA, 2014; SOUZA-SILVA; MARTINS; FERREIRA, 2015) e até mesmo unidades de conservação de proteção integral foram criadas com base em sugestões oriundas destes estudos, como é o caso do Parque Nacional da Furna Feia, no Rio Grande do Norte (BENTO, 2011).

O presente trabalho busca contribuir para o conhecimento biospeleológico e ecológico e é composto por dois artigos. O primeiro artigo objetiva testar: i) se as comunidades hipógeas respondem aos mesmo padrões de comunidade observados nas comunidades epígeas; ii) se as comunidades hipógeas, de forma geral, são influenciadas de forma semelhante pelo tamanho das cavernas, suas entradas e pela presença de água e iii) se as comunidades hipógeas refletem em grande parte a composição das comunidades epígeas. O segundo artigo, a fim de contribuir com as políticas de conservação do patrimônio espeleológico no eixo centro-norte de Minas Gerais: i) avalia os principais impactos ambientais que afetam o patrimônio espeleológico nesta região; ii) identifica parte da fauna já protegida em unidades de conservação e discute os impactos que continuam as ameaçando; iii) propõe novas áreas prioritárias para conservação e algumas cavernas prioritárias para conservação em relação à biodiversidade cavernícola e iiiii) avalia a aplicabilidade de três índices que visam a conservação de cavernas, quanto à diagnose voltada à conservação da biodiversidade cavernícola em regiões megadiversas.

3 CONCLUSÃO

A relação espécies área (ARRHENIUS, 1921) e a influência da distância na similaridade (NEKOLA; WHITE, 1999) afetam as comunidades cavernícolas da mesma maneira que as comunidades epígeas. Portanto, conclui-se que as comunidades cavernícolas, de maneira geral, se comportam da mesma forma que as comunidades epígeas frente alguns padrões de comunidade já estabelecidos.

Assim como encontrado em diversos outros trabalhos, que analisam a relação das comunidades cavernícolas com as características ambientais, principalmente em regiões neotropicais, cavernas maiores (CULVER et al., 2004; SOUZA-SILVA; MARTINS; FERREIRA, 2011b), com mais entradas e com curso d' água (SIMÕES; SOUZA-SILVA; FERREIRA, 2015), tendem a possuir comunidades mais ricas. Estas três variáveis ambientais, contribuem diretamente no aumento da área colonizável, no acesso de organismos epígeos aos ambientes hipógeos e na entrada de recursos orgânicos, sendo assim, favorecem a heterogeneidade de habitats, o que possibilita colonização por mais espécies. Portanto, conclui-se que as comunidades cavernícolas, de forma geral respondem de maneira semelhante às variações no tamanho das cavernas, número de entradas e presença de curso d' água.

As comunidades cavernícolas em regiões megadiversas estão altamente correlacionadas com o pool de espécies epígeas, o que demonstra que os filtros biológicos e ambientais das cavernas, podem ser ultrapassados por uma diversidade maior de espécies. Mais de 80% dos grupos que apresentaram espécies troglóbias, possuem mais espécies nas cavernas que o esperado em relação à proporção de espécies epígeas. Portanto, conclui-se que as comunidades hipógeas, refletem sim, em grande parte, as comunidades epígeas, e que as espécies troglóbias, geralmente se originam de grupos que apresentam afinidade ao ambiente subterrâneo.

Em relação aos impactos antrópicos observados nas cavernas inventariadas, conclui-se que na região centro-norte de Minas Gerais, os impactos mais frequentes às cavernas e suas adjacências são: desmatamento, substituição da paisagem por práticas agropastoris, lixo e pichação.

Dos troglóbios encontrados nas cavernas estudadas, 40,4% já possuem populações protegidas em unidades de conservação, entretanto algumas das cavernas que abrigam estas populações recebem visitantes sem que exista um plano de manejo adequado para tal, outras possuem ponto de captação de água, sem que os impactos dos mesmos sejam estudados e a paisagem de entorno, que está fora dos limites do parque, é em grande parte substituída por pastagens. Portanto, conclui-se que um número expressivo de espécies troglóbias já possuem populações resguardadas por unidades de conservação, mas que apenas a delimitação das unidades de conservação, sem as medidas adequadas à cada caverna, não é uma forma eficiente de garantir a perpetuação destas espécies.

As duas áreas prioritárias para conservação, são aquelas que além de suas cavernas apresentarem vulnerabilidade extremamente alta, são frequentemente visitadas por espeleólogos e membros da comunidade. A Lapa Sem Fim no município de Luislândia além dos atributos previamente citados, é atualmente a maior caverna de Minas Gerais. A outra área prioritária para conservação, abrange a Lapa do Espigão, no município de Coração de Jesus.

Os três últimos índices, voltados à conservação do patrimônio espeleológico, foram sugeridos por pesquisadores brasileiros e levam em consideração alguns atributos da fauna de invertebrados. Entretanto, o índice apresentado por Donato e colaboradores (2014), exige uma equipe multidisciplinar para que seja bem aplicado, o que dificulta sua aplicação, também, utiliza limites arbitrários irrealistas aos padrões de riqueza encontrados em regiões megadiversas, que é o caso do Brasil. O índice de Simões et al. (2014), é de fácil aplicação, apresenta uma boa diagnose da vulnerabilidade das cavernas,

entretanto, devido à sua elevada sensibilidade à riqueza de troglóbios, não é adequado para comparar grupos de cavernas muito heterogêneas quanto à esta riqueza. Já o Índice de Prioridade para Conservação de Cavernas – iPCC, também é de fácil aplicação, apresenta boa diagnose de vulnerabilidade e, por ter a sensibilidade à riqueza de troglóbios diluída no cálculo da relevância biológica, é adequado para amostras heterogêneas e homogêneas, sendo assim, é o que retrata melhor a vulnerabilidade das cavernas e sua biota em regiões megadiversas.

REFERÊNCIAS

ARRHENIUS, O. Species and Area. **Journal of Ecology**, v. 9, n. 1, p. 95–99, 1921.

AULER, A.; PILÓ, L. B. Introdução à Espeleologia. Em: **III Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental**. Belo Horizonte: Instituto Terra Brasilis, 2011. p. 07 – 23.

BARR, T. C. Cave Ecology and the Evolution of Trogllobites. Em: DOBZHANSKY, T.; HECHT, M. K.; STEERE, W. C. (Eds.). **Evolutionary Biology**. New York/London: Plenum press, 1968. v. 2p. 35–102.

BENTO, D. D. M. **Diversidade de Invertebrados em Cavernas: Calcárias do Oeste Potiguar: Subsídios para a Determinação de áreas prioritárias para conservação**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011.

BEYNEN, P.; TOWNSEND, K. A Disturbance Index for Karst Environments. **Environmental Management**, v. 36, n. 1, p. 101–116, 2005.

BOULTON, A. J. et al. Biodiversity, functional roles and ecosystem services of groundwater invertebrates. **Invertebrate Systematics**, v. 22, n. 2, p. 103–116, 2008.

BOUTIN, C. Organisms : classification. Em: GUNN, J. (Ed.). **Encyclopedia of Caves and Karst Science**. New York/London: Taylor & Francis e-Library, 2004. p. 1170–1175.

BRASIL. **Decreto Nº 99.556, de 1º de outubro de 1990**, Brasil, Diário Oficial da União, 1990.

BRASIL. **Decreto Nº 6.640, de 07 de novembro de 2008**, Brasil, Diário Oficial da União, 2008.

CAVALCANTI, L. F. et al. **Plano De Ação Nacional Para Conservação Do Patrimônio Espeleológico Nas Áreas Cársticas Da Bacia Do Rio São Francisco**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2012.

CECAV. **Base de Dados Geoespacializados das Cavernas Naturais Subterrâneas do Brasil**. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/cecav/>>. Acesso em: 24 fev. 2016.

CHAPMAN, P. The Origin of Troglodites. **Proceedings of the University of Bristol Speleological Society**, v. 16, n. 2, p. 133–141, 1982.

CHEN, Y. et al. Life without light: microbial diversity and evidence of sulfur- and ammonium-based chemolithotrophy in Movile Cave. **The ISME Journal**, v. 3, n. 9, p. 1093–1104, 2009.

CHRISTIANSEN, K. Proposition pour la classification des animaux cavernicoles. **Spelunca**, v. 2, p. 75–78, 1962.

CULVER, D. C. **Cave life: Evolution and Ecology**. Massachusetts and London: Harvard University Press, 1982.

CULVER, D. C. et al. The North American obligate cave fauna : regional patterns. **Biodiversity and Conservation**, v. 12, p. 441–468, 2003.

CULVER, D. C. et al. The location of terrestrial species-rich caves in a cave-rich area. **Subterranean Biology**, v. 2, n. 1, p. 27–32, 2004.

CULVER, D. C.; PIPAN, T. **The Biology of Caves and Other Subterranean Habits**. Oxford: Oxford University Press, 2009a.

CULVER, D. C.; PIPAN, T. Sources of energy in subterranean environments. Em: **The Biology of Caves and Other Subterranean Habitats**. Oxford: Oxford University Press, 2009b. p. 23–39.

CULVER, D. C.; PIPAN, T. Survey of subterranean life. Em: CULVER, D. C.; PIPAN, T. (Eds.). **The Biology of Caves and Other Subterranean Habitats**. Oxford: Oxford University Press, 2009c. p. 40–74.

CULVER, D. C.; PIPAN, T. The subterranean domain. Em: CULVER, D. C.; PIPAN, T. (Eds.). **The biology of caves an other subterranean habitats**. 1. ed. Oxford: Oxford University Press, 2009d. p. 1–22.

CULVER, D. C.; PIPAN, T. Climate , abiotic factors , and the evolution of subterranean life. **Acta Carsologica**, v. 393, p. 577–586, 2010.

CULVER, D. C.; PIPAN, T. Subterranean Ecosystems. Em: **Encyclopedia of Biodiversity**. [s.l.] Elsevier Inc., 2013. v. 7p. 49–62.

DESSEN, E. M. B. et al. Levantamento preliminar da fauna de cavernas de algumas regiões do Brasil. **Ciência e Cultura**, v. 32, n. 6, p. 714–725, 1980.

DONATO, C. R.; RIBEIRO, A. DE S.; SOUTO, L. DE S. A conservation status index, as an auxiliary tool for the management of cave environments. **International Journal of Speleology**, v. 43, n. 3, p. 315–322, 2014.

ELLIOTT, W. R. Conservation of the North American cave and karst biota. Em: WILKENS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHREYS, W. F. (Eds.). **Ecosystems of the World: Subterranean Ecosystems**. [s.l.] Elsevier, 2000. p. 655–690.

FERREIRA, J. et al. Brazil's environmental leadership at risk. **Science**, v. 346, n. 6210, p. 706–707, 2014.

FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Cavernas em risco de «extinção». **Ciência**

Hoje, v. 29, n. 173, p. 21–28, 2001.

FORD, D.; WILLIAMS, P. **Karst Hydrogeology and Geomorphology**. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons, 2007.

GILLIESON, D. **Caves: Processes, Development and Management**. 2. ed. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 1996.

GONÇALVES, F. A. A. **Morfodinâmica e Morfogênese de um Carste Suspenso e Evolução Geomorfológica de Longo Termo: uma aproximação com base no caso do setor oeste do Curral de Pedras I / Jequitaiá - MG**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

GUIMARÃES, M. DE M. **Morcegos Cavernícolas Do Brasil: Composição, Distribuição E Serviços Ambientais**. [s.l.] Universidade Federal de Lavras, 2014.

HOWARTH, F. G. The evolution of non-relictual tropical troglobites. **International Journal Of Speleology**, v. 16, n. 1-2, p. 1–16, 1987.

IBRAM. **Informações sobre a Economia Mineral do Estado de Minas Gerais Estatísticas Mineraias sobre MGBelo Horizonte**, 2014.

JANSEN, D. C.; CAVALCANTI, L. F.; LAMBLÉM, H. S. Mapa de potencialidade de ocorrência de cavernas no Brasil, na escala 1:2.500.000. **Revista Brasileira de Espeleologia**, v. 2, n. 1, p. 42–57, 2012.

KUNZ, T. H. et al. Ecosystem services provided by bats. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1223, n. 1, p. 1–38, 2011.

NEKOLA, J. C.; WHITE, P. S. The distance decay of similarity in biogeography and ecology. **Journal of Biogeography**, v. 26, n. 4, p. 867–878, 1999.

POR, F. D. et al. Animal life in the chemoautotrophic ecosystem of the hypogenic groundwater cave of Ayyalon (Israel): A summing up. **Natural Science**, v. 05, n. 4, p. 7–13, 2013.

POULSON, L. T.; WHITE, B. W. The Cave Environment. **Science**, v. 165, n. 3897, p. 971–981, 1969.

ROMERO, A. The evolutionary biology of cave organisms. Em: **Cave Biology Life in Darkness**. 1. ed. New York: Cambridge University Press, 2009. p. 130–158.

SCHNEIDER, K.; CHRISTMAN, M. C.; FAGAN, W. F. The influence of resource subsidies on cave invertebrates: results from an ecosystem-level manipulation experiment. **Ecology**, v. 92, n. 3, p. 765–776, 2011.

SIMÕES, M. H.; SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R. L. Cave invertebrates in Northwestern Minas Gerais state, Brazil : endemism , threats and conservation priorities. **Acta Carsologica**, v. 43, n. 1, p. 159–174, 2014.

SIMÕES, M. H.; SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R. L. Cave physical attributes influencing the structure of terrestrial invertebrate communities in Neotropics. **Subterranean Biology**, v. 16, p. 103–121, 2015.

SKET, B. Can we agree on an ecological classification of subterranean animals? **Journal of Natural History**, v. 42, n. 21-22, p. 1549–1563, 2008.

SOUZA-SILVA, M. **Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na mata atlântica brasileira**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

SOUZA-SILVA, M. et al. Transport and Consumption of Organic Detritus in a Neotropical Limestone Cave. **Acta Carstologica**, v. 41, n. 1, p. 139–150, 2012.

SOUZA-SILVA, M.; MARTINS, R. P.; FERREIRA, R. L. Trophic Dynamics in a Neotropical Limestone Cave. **Subterranean Biology**, v. 9, p. 127–138, 2011a.

SOUZA-SILVA, M.; MARTINS, R. P.; FERREIRA, R. L. Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest. **Biodiversity and Conservation**, v. 20, n. 8, p. 1713–1729, 2011b.

SOUZA-SILVA, M.; MARTINS, R. P.; FERREIRA, R. L. Cave Conservation Priority Index to Adopt a Rapid Protection Strategy: A Case Study in Brazilian Atlantic Rain Forest. **Environmental Management**, v. 55, n. 2, p. 279–295, 2015.

SUGAI, L. S. M. et al. Beyond aboveground. **Biodiversity and Conservation**, v. 24, n. 8, p. 2109–2112, 2015.

WATSON, J. et al. **Guidelines for Cave and Kast Protection**. [s.l.] International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 1997.

WHITE, W. B.; CULVER, D. C. Cave, definition of. Em: WHITE, W. B.; CULVER, D. C. (Eds.). **Encyclopedia of caves**. 2. ed. Oxford, San Diego: Elsevier Academic Press, 2012a. p. 103–107.

WHITE, W. B.; CULVER, D. C. (EDS.). **Encyclopedia of caves**. 2. ed. Oxford, San Diego: Elsevier Academic Press, 2012b.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

**ESTRUTURAÇÃO DAS COMUNIDADES DE INVERTEBRADOS EM
CAVERNAS NEOTROPICAIS: CONTRIBUIÇÃO DA FAUNA EPÍGEA
E DA ESTRUTURA DO HABITAT**

Formatado de acordo com as normas da revista: *International Journal of
Speleology*

Estruturação das comunidades de invertebrados em cavernas neotropicais: contribuição da fauna epígea e da estrutura do habitat.

RESUMO

Comunidades cavernícolas, por mais que seus habitats apresentem geralmente características estáveis de temperatura e umidade, são pouco similares entre si. Para entender os padrões que regem estas comunidades, é necessário investigar os fatores que podem influenciar a estruturação destas comunidades. Desta forma, o objetivo do presente estudo, foi verificar a influência da distância geográfica, das características físicas da caverna (tamanho e entradas), da presença de água e da megadiversidade epígea na composição das comunidades hipógeas. Para isto, utilizamos dados de 51 cavernas inventariadas no eixo Centro-norte de Minas Gerais (Brasil) que se insere em região de domínio do bioma Cerrado, um hotspot mundial de biodiversidade. Ao todo foram encontradas 1523 espécies de invertebrados, das quais 94 foram consideradas troglóbias. Como já observado em outros trabalhos, as comunidades cavernícolas, assim como as comunidades epígeas, apresentam relação espécie-área. As regiões de entrada, contato direto do meio hipógeo com o meio epígeo, são o principal acesso dos recursos orgânicos, das espécies colonizadoras e também apresentam relação positiva com a riqueza de espécies que compõem estas comunidades. A água, recurso importante para os invertebrados cavernícolas, também apresenta relação positiva com a riqueza, em especial os sistemas lóticos alogênicos que importam recursos, espécies e algumas vezes selecionam comunidades similares, que conseguem resistir às oscilações do nível da água. As comunidades epígeas em regiões megadiversas, como é o caso dos países neotropicais, possuem um maior número de espécies capazes de transpor os filtros ambientais dos sistemas cavernícolas, o que também enriquece as comunidades hipógeas. Entretanto, os grupos com ocorrência de espécies

troglóbias, são mais ricos que o esperado em ambientes subterrâneos, demonstrando que mesmo com um maior número de potenciais competidores, continuam se destacando.

INTRODUÇÃO

Cavernas são cavidades naturais, de diferentes dimensões, inseridas em diferentes tipos de rochas, embora sejam mais comuns em rochas carbonáticas (Ford e Williams 2007). Tais ambientes tendem a possuir características climáticas estáveis e ausência de luz, especialmente em regiões distantes de entradas (Poulson e White 1969, Gillieson 1996, Culver e Pipan 2010, 2013). Estas condições fazem com que sejam consideradas ambientes simplificados quando comparados aos sistemas epígeos, sendo consideradas laboratórios naturais para estudos de ecologia e evolução (Howarth 1987, Culver e Pipan 2009a, Romero 2009). As comunidades cavernícolas, de forma geral, possuem como base os recursos orgânicos alóctones, transportados por vento, água, gravidade e animais que saem com frequência da caverna (Poulson e Lavoie 2000).

Os organismos colonizadores de cavernas podem ser classificados de acordo com a relação ecológico-evolutiva que apresentam com os ambientes subterrâneos (Christiansen 1962, Barr 1968, Chapman 1982, Sket 2008, Romero 2009). As quatro categorias comumente utilizadas para classificar as espécies cavernícolas são: troglóbias, troglófilas, troglóxenas e acidentais (Barr 1968). Os troglóbios são organismos cujas populações viáveis são restritas ao ambiente subterrâneo e comumente apresentam troglomorfismos, que tendem a se fixar após o isolamento em habitats subterrâneos (e.g.: redução/perda dos olhos, despigmentação, alongamento de apêndices) (Christiansen 1962, Barr 1968). Os troglófilos são espécies que possuem populações viáveis tanto dentro quanto fora das cavernas (Barr 1968). Os troglóxenos são espécies que habitam as cavernas por toda a vida ou parte dela, porém dependem de recursos do ambiente externo para completar seu ciclo de vida (Barr 1968). Por fim, os acidentais são eventualmente encontrados no ambiente subterrâneo, mas não conseguem estabelecer populações viáveis, mesmo que temporariamente, no meio hipógeo (Barr 1968).

Estudos recentes demonstram que diversos fatores são importantes para a estruturação das comunidades cavernícolas em regiões tropicais. As regiões de entradas das cavernas, por exemplo, representam áreas de transição entre os ambientes epígeo e o hipógeo (Prous et al. 2004). Nestas regiões, a luminosidade menos intensa, combinada à proteção contra intempéries (e.g.: chuva e vento), favorece o desenvolvimento de vegetação e permite que espécies epígeas sejam encontradas junto à espécies hipógeas, além da ocorrência de espécies típicas das regiões ecotonais (Prous et al. 2004, 2015). Tais áreas muitas vezes abrigam populações numerosas de predadores, que funcionam como filtros biológicos e dificultam a transposição dessa região por indivíduos que transitam entre o epígeo e hipógeo (Prous et al. 2015).

Além das entradas, a presença de corpos d'água e o próprio desenvolvimento linear das cavernas também são importantes para a estruturação das comunidades cavernícolas (Simões et al. 2015). A água, dentre outras funções, destaca-se por ser um dos principais agentes de importação de recursos orgânicos alóctones para o interior das cavernas (Souza-Silva et al. 2011a). De forma geral, quanto maior a diversidade, quantidade e qualidade dos recursos orgânicos, maior o número de espécies associadas a uma dada caverna (Ferreira et al. 2000, Schneider et al. 2011). Além disso, cavernas maiores possuem maior potencial para ocorrência de micro-habitats heterogêneos, o que tende a aumentar a riqueza das comunidades (Culver et al. 2003, Simões et al. 2015).

Contudo, embora a fauna das cavernas compreenda uma fração da fauna externa, sendo composta especialmente de grupos pré-adaptados às condições subterrâneas, a efetiva contribuição do estoque epígeo de fauna sobre a composição das comunidades subterrâneas em uma dada região ainda é pouco conhecida. Nesta perspectiva, o presente estudo objetivou avaliar *i*) como a riqueza total e de espécies troglóbias se relacionam ao desenvolvimento linear das cavernas, bem como ao tamanho e número de entradas; *ii*) se existem diferenças entre as riquezas das cavernas com e sem corpos de água; *iii*) como as riquezas variam entre as cavernas em função de seus atributos hidrológicos; *iiii*) quais das variáveis (desenvolvimento linear, soma das áreas das entradas, número de entradas, presença e tipo de corpos d'água, e distância geográfica entre as entradas) melhor explicam a composição das comunidades associadas às

cavernas inventariadas e *iiii*) qual a relação entre a composição da fauna encontrada nos ambientes epígeos brasileiros com a encontrada nos ambientes hipógeos amostrados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

O estudo foi realizado na região compreendida no eixo Centro-norte do estado de Minas Gerais (Brasil), que corresponde especialmente ao ramo leste do grupo geológico Bambuí no Estado. As amostragens das cavernas ocorreram durante os anos de 2014 e 2015. Ao todo, foram amostradas 51 cavernas distribuídas em 17 municípios presentes neste eixo (Figura 1). Todas as cavernas inventariadas se inserem no bioma Cerrado, que é a savana de flora mais rica do mundo, compreendendo um *hotspot* mundial de biodiversidade. A precipitação média anual deste bioma se aproxima dos 1500 mm e as temperaturas médias oscilam entre 22° e 27° C ao longo do ano. O grupo geológico Bambuí é o maior grupo carbonático da América do sul (Auler 2004), e nele se desenvolve a maior parte das cavernas amostradas no projeto (48 cavernas). No grupo geológico Macaúbas, composto em grande parte por formações ferríferas (Carmo 2012), foram amostradas somente três cavernas.



Figura 1: Municípios das cavernas amostradas no presente estudo, demonstrando a área de ocorrência do Bioma Cerrado e os grupos geológicos com cavernas amostradas na região Centro-norte de Minas Gerais.

Métodos

Métricas e variáveis ambientais das cavernas

O desenvolvimento linear das cavernas foi obtido a partir de mapas topográficos ou durante as visitas a campo. A área da entrada foi conseguida pela multiplicação entre os maiores valores de altura e largura (ambos medidos nas visitas às cavernas). Ao todo, cinco cavernas não tiveram toda sua extensão amostrada, especialmente em função de seus grandes desenvolvimentos, nestes casos, para as análises, utilizamos o desenvolvimento linear amostrado (Tabela 1).

Os corpos de água nas cavernas foram categorizados em: *poças* (com presença de depressões no substrato com acúmulo perene de água), *cursos d'água autogênicos* (quando os rios se originavam no interior da caverna) e *cursos d'água alogênicos* (rios epígeos que adentravam a caverna). As cavernas foram consideradas secas quando corpos d'água eram ausentes e/ou haviam apenas gotejamentos pontuais em espeleotemas

As distâncias geográficas entre as cavernas foram consideradas a partir de suas entradas, baseando-se nas coordenadas geográficas de cada caverna. As coordenadas geográficas foram registradas na entrada principal de cada cavidade utilizando GPS (GARMIN® 60CSX). O datum correspondente às coordenadas da Tabela 1 é WGS84. Para a análise de DistLM as coordenadas foram convertidas em UTM.

Amostragem e identificação da fauna cavernícola

Os invertebrados foram coletados através de busca visual e coleta manual ativa em toda a extensão acessível das cavernas. A coleta manual foi realizada por meio de pinças, pincéis, sugadores e redes de mão. A equipe de coleta foi composta por quatro biólogos experientes em amostragem de fauna subterrânea. Os indivíduos coletados foram armazenados em potes plásticos contendo álcool 70% e levados para o laboratório do Centro de Estudos em Biologia Subterrânea (CEBS) para triagem e identificação.

Todos os indivíduos coletados foram triados, comparados e identificados até o menor nível taxonômico acessível, com auxílio de estereomicroscópio óptico e chaves de identificação. Após a separação de todos os indivíduos em morfótipos, os táxons: Acari, Amblypygi, Amphipoda, Araneae, Collembola, Diplopoda, Opiliones e Palpigradi, foram enviados para especialistas, a fim de refinamento taxonômico.

Para a determinação das características consideradas troglomórficas, foram utilizados critérios mencionados em literatura (e.g.: Baptista & Giupponi 2003; Pinto-da-Rocha 1996; Ratton et al. 2012; Pellegrini & Ferreira 2011; Bastos-Pereira & Ferreira 2015; Iniesta & Ferreira 2013; Prevorcnik et al. 2012; Iniesta & Ferreira 2015; Souza & Ferreira 2010; Hoch & Ferreira 2012; Brescovit et al. 2012). Alguns troglomorfismos frequentemente observados em muitos grupos compreendem a redução ou ausência de olhos, alongamento de apêndices locomotores e sensoriais, redução ou perda da pigmentação, aumento do tamanho corporal e aumento do número de tricobótrias (Christiansen 1962, Barr 1968, Trajano e Bichuette 2010, Novak et al. 2012). No entanto, existem troglomorfismos específicos, como alongamento de flagelômeros e aumento no número de lâminas em órgãos laterais, em Palpigradi. Todas as morfo-espécies que apresentaram troglomorfismos específicos, foram consideradas troglóbias (Sket 2008).

Análises estatísticas

A soma das áreas das entradas, número de entradas, desenvolvimento linear amostrado, riqueza total e riqueza de troglóbios foram logaritimizadas, pois não apresentavam distribuição normal (Shapiro e Wilk 1965, Royston 1982).

Foram utilizados testes de regressão múltipla (Ripley 1977), para avaliar a relação da riqueza total e de troglóbios com: desenvolvimento linear amostrado, soma das áreas das entradas e número de entradas. Para testar se as médias de riqueza das cavernas com presença/ausência de cursos d'água e as médias de riqueza das que compõem as categorias dos recursos hídricos (poça, corpo d'água autogênico e corpo d'água alogênico) são significativamente distintas, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis (Hollander et al. 2013).

Para avaliar quais das variáveis melhor explicam a composição das comunidades associadas às cavernas inventariadas, utilizou-se o teste DistLM (Anderson 2004) baseado na matriz de similaridade de Jaccard (Magurran 2004). As variáveis utilizadas neste teste foram: desenvolvimento linear amostrado, soma da área das entradas e distância geográfica entre as entradas.

Para visualizar o agrupamento das cavernas de acordo com a similaridade (Jaccard) frente aos atributos hidrológicos, foram gerados gráficos com base na análise de nMDS (Kruskal 1964). Os atributos hidrológicos utilizados foram: “presença de cursos d’água”, formado por dois grupos, um contendo as cavernas secas ou com poça e outro contendo as cavernas com cursos d’água (lóticos - autogênicos ou alogênicos) e “atributos hidrológicos”, composto por quatro grupos de cavernas: um formado pelas cavernas secas, outro pelas com poça, outro pelas com curso d’água autogênicos e outro pelas cavernas com curso d’água alogênicos. Para testar se os grupos gerados na análise de nMDS foram significativamente distintos, realizou-se o teste ANOSIM one-way (Clarke 1993).

Para verificar se existe relação entre a composição da fauna epígea com a hipógea, o número de espécies ocorrentes de cada grande táxon presente nas cavernas deste estudo, foi correlacionado ao número de espécies conhecidas para cada um deste grupos no Brasil, por meio de um teste de regressão linear simples. Os dados utilizados para listar as espécies conhecidas no Brasil, de cada grupo, foram retirados de três referências: livro *Insetos do Brasil* (Rafael et al. 2012), livro *Amazonian Arachnida and Myriapoda* (Adis 2002) e Portal da Biodiversidade do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMbio 2016), dos quais foi considerado o maior valor apresentado para cada grande táxon. As ordens Siphonophorida e Microcoryphia (encontradas nas cavernas) foram excluídas da análise por não existirem espécies dessas ordens listadas nos bancos de dados utilizados. Os valores de resíduos positivos e negativos foram ranqueados, os grupos que se destacaram por possuírem altos valores de resíduos, na regressão linear, foram comparados aos grupos nos quais foram encontradas espécies troglóbias nas cavernas amostradas. Tal comparação teve como objetivo

verificar se grupos com espécies troglóbias são, de fato, os que possuem ocorrência maior que o esperado em cavernas, de acordo com esta análise.

RESULTADOS

Variações nos atributos físicos e hidrológicos das cavernas

O maior desenvolvimento linear amostrado foi na Lapa Sem Fim (2.200 metros - 14% do total da caverna), e o menor foi na caverna do Zezinho de Dionila (20m -100% do total da caverna). Ao todo foram amostrados 22.000 metros de extensão linear (Tabela 1). O número médio de entradas das cavernas foi de 2,18 ($dp \pm 1,58$) e a média da soma da área das entradas foi 60,77 metros quadrados ($dp \pm 75,63$) (Tabela 1).

Quanto aos atributos hidrológicos, 49% das cavernas foram categorizadas como secas, 17,6% apresentaram poças, 23,5% apresentaram curso d'água autogênicos e 9,8% apresentaram curso d'água alogênicos (Tabela 1).

Composição e riqueza da fauna

Foram registradas 1523 espécies, pertencentes à seis filos, 17 classes, 47 ordens e pelo menos 193 famílias. Dos 47 grandes táxons encontrados, os que apresentaram maior riqueza de espécies foram as ordens Coleoptera (257 espécies), Diptera (241 espécies) e Araneae (198 espécies) (Tabela 2) (Figura 2). A riqueza total média foi de 61,2 espécies por caverna ($dp \pm 30,6$). Foram registradas espécies troglóbias em 41 cavernas (Tabela 1). A caverna que apresentou maior riqueza de espécies foi a Lapa Sem Fim (158 spp), em seguida a Gruta do Engenho Velho (121 spp) e a Lapa do Saco Comprido (118 spp) (Tabela 1).

Ao todo, 94 espécies foram consideradas troglóbias (apresentaram evidentes troglomorfismos), o que representa 6,1% das espécies encontradas. A riqueza média de troglóbios foi de 2,75 espécies por caverna ($dp \pm 2,45$) Todas as espécies troglóbias pertencem ao filo Arthropoda e se distribuíram por treze ordens e ao menos 26 famílias (Tabela 3). Os grupos com a maior quantidade de espécies troglóbias

foram Isopoda (21 espécies), Araneae (17 espécies) e Polydesmida (12 espécies) (Tabela 3).

A Gruta do Nestor que se localiza no município de Itacarambi e a Lapa d'água de Montes Claros, foram as cavernas com maior número de espécies troglóbias (10 spp cada). As cavernas Boqueirão da Nascente (Montes Claros) e Lapa d'água do Zezé (Itacarambi) ocuparam a segunda posição quanto à riqueza de troglóbios, com sete espécies cada uma (Tabela 1).

Tabela 1: Localização, características métricas e a riqueza total e de troglóbios das cavernas do Centro-norte de Minas Gerais. Desenvolvimento linear total (DLT); desenvolvimento linear amostrado (DLA); número de entradas (NE); soma da área das entradas (Σ AE); riqueza total (S); riqueza de troglóbios (ST); atributo hidrológico (H₂O) S=seca, P=poça, AU=curso d'água autogênico, AL=curso d'água alogênico.

Nome da Caverna	Mun.	Latitude	Longitude	DLT	DLA	NE	Σ AE	S	ST	H ₂ O
Gruta Mamoneiras	8	-16.400322°	-44.493255°	450	450	2	11,5	57	1	S
Lapa do Coronel	15	-17.883887°	-44.129680°	40	40	1	32	42	0	S
Lapa da Lagoa	15	-17.938170°	-44.130059°	80	80	1	9	72	1	S
Lapa Cigana	9	-16.471524°	-44.370402°	150	150	1	7,5	59	3	S
Gruta Sumitumba	9	-16.663000°	-44.369000°	200	200	4	25	82	2	AU
Lapa do Espigão	9	-16.466653°	-44.348604°	750	750	5	15,5	73	2	S
Lapa de Maria Cobra	9	-16.752209°	-44.395385°	500	500	3	127,5	92	0	AL
Gruta do Espigão II	9	-16.467581°	-44.347542°	200	200	1	8	42	0	S
Gruta da Antonina II	16	-18.705144°	-44.403056°	150	150	3	44	64	0	P
Gruta Antonina	16	-18.706453°	-44.402521°	250	250	2	78	84	3	S
Saco Curto	16	-18.666239°	-44.406622°	50	50	2	26	64	5	S
Saco Comprido	16	-18.667236°	-44.409988°	537	537	3	46,5	118	2	P
Gruta São José I	3	-15.725375°	-44.207798°	200	200	3	338,6	92	0	AL
Gruta São José II	3	-15.725786°	-44.206214°	150	150	2	81,6	22	0	S
Gruta São José III	3	-15.725886°	-44.205272°	150	150	2	152	76	1	AU
Lapa do Baianinho	3	-15.765600°	-44.234100°	600	600	1	44	51	2	S
Lapa do Marmelo	1	-15.011380°	-44.129633°	80	80	2	9	27	2	S
Lapa d'água do Zezé	1	-15.006745°	-44.117087°	300	300	3	21,5	76	7	AU
Caverna da água do João Ferreira	1	-15.009719°	-44.132069°	150	150	1	25	30	5	AU
Lapa do Cipó	1	-15.056174°	-44.184377°	200	200	1	198	63	4	AU
Gruta do Nestor	1	-15.012456°	-44.121890°	500	500	3	136	70	10	S
Lapas da Lagoinha	11	-17.090244°	-44.564849°	420	420	8	16,85	48	0	P
Lapa do Dim	11	-17.087961°	-44.562505°	450	450	4	121	37	1	S
Lapa do Sol	11	-17.090967°	-44.564876°	25	25	2	4,15	39	1	S
Gruta Buraco da Chuva	11	-17.088939°	-44.563405°	40	40	1	7,5	40	1	S
Lapa d'água	14	-17.919191°	-44.612090°	100	100	2	20	68	2	AL
Gruta do Engenho Velho	14	-17.947182°	-44.639623°	300	300	3	33,6	121	3	P
Gruta do Apartamento	4	-15.894507°	-44.323164°	200	200	4	8,2	101	3	AU
Caverna da Fazenda de Joaquim Rodrigues	7	-16.217050°	-44.643736°	125	125	8	49	60	4	S
Lapa Sem Fim	7	-16.148575°	-44.627803°	11890	2200	2	31,9	158	5	P
Lapa d'água	10	-16.707038°	-43.920924°	1234	1234	1	78	105	10	AL
Lapa Claudina	10	-16.679251°	-43.994084°	550	550	4	59,5	82	4	S
Lapa dos Cristais	10	-16.704291°	-43.940288°	200	200	1	8	44	4	AU
Boqueirão da Nascente	10	-16.712649°	-43.941677°	620	620	1	195	68	7	AU
Lapa Grande	10	-16.706672°	-43.942910°	2200	2100	2	163	57	6	AU
Lapa da Santa	10	-16.681556°	-43.992281°		800	2	21	55	3	P
Lapa do Cedro	10	-16.917200°	-44.083700°	389	389	1	96	29	4	S
Lapa Encantada	10	-16.331289°	-43.994569°	3350	1600	3	276	82	5	AL
Lapa d'água	17	-18.563372°	-44.128192°	600	600	2	81	67	5	AU
Caverna do Morro Grande	13	-16.141209°	-42.784466°	94	94	1	4,2	41	4	S
Caverna do Lago	13	-16.082709°	-42.722937°	98	98	1	30	28	4	P
Caverna do Mocarorô	12	-16.010200°	-42.703600°	84	84	1	8,4	29	2	S
Gruta Mãe de Ná	5	-15.806633°	-44.001919°	150	150	1	2,4	29	1	P
Lapa do Nilsinho	6	-16.214083°	-44.706553°	60	60	2	1,6	99	0	AU
Sumiduro do Zezinho de Dionila	6	-16.215654°	-44.707148°	20	20	1	0,9	34	0	P
Gruta da Porteira	2	-15.623438°	-43.976243°	150	150	1	10	28	1	S
Caverna da Madeira	2	-15.621660°	-43.965252°	400	400	1	80	12	0	S
Gruta da Gameleira	2	-15.623442°	-43.977195°	250	250	1	4	32	1	S
Caverna do Morrinho	2	-15.622715°	-43.973832°	350	350	1	38	34	4	S
Lapa do Índio	2	-15.622800°	-43.965600°	600	600	1	4	25	1	S
Gruta Zé Avelino I	2	-15.607221°	-44.054907°	2563	2100	2	210	112	3	AU

Tabela 2: Táxons coletados nas cavernas amostradas no Centro-norte de Minas Gerais (N.I. = não identificado).

Táxons	Famílias
Acari	Acaridae, Ameroseiidae, Anystidae, Argasidae, Ascidae, Bdellidae, Coceupodidae, Cosmochthonidae, Cunaxidae, Diplogyniidae, Ereyinetidae, Euphthiracaridae, Heterozerconidae, Histiosomatidae, Hygrobatidae, Ixodidae, Labdostomatidae, Laelapidae, Macrochelidae, Macronyssidae, Microtrombidiidae, Neotenogyniidae, Ologamasidae, Opilioacaridae, Otopheidomaenidae, Podocinidae, Reginacharlottiidae, Rhagidiidae, Schizogyniidae, Scutacaridae, Smaridae, Teneriffiidae, Triophytydeidae, Veigaiidae, N.I.
Amblypygi	Charinidae, Phrynichidae, Phrynidae
Amphipoda	Artesiidae
Araneae	Araneidae, Caponiidae, Cavinidae, Clubionidae, Ctenidae, Dipluridae, Filistatidae, Gnaphosidae, Idiopidae, Linifidae, Nesticidae, Ochyroceratidae, Oecobiidae, Oonopidae, Pholcidae, Prodidomidae, Salticidae, Scytodidae, Sicariidae, Sparassidae, Symphytognathidae, Tetrablemmidae, Tetragnathidae, Theraphosidae, Theridiidae, Theridiosomatidae, Uloboridae, N.I.
Blattodea	N.I.
Coleoptera	Carabidae, Coccinellidae, Curculionidae, Dermestidae, Dryopidae, Dytiscidae, Elateridae, Elmidae, Eucnemidae, Histeridae, Hydrophilidae, Lampyridae, Leiodidae, Phengodidae, Ptiliidae, Ptilodactylidae, Ptinidae, Rhizophagidae, Scarabaeidae, Scirtidae, Scydmaenidae, Staphylinidae, Tenebrionidae, N.I.
Collembola	Arrhopalitidae, Dicyrtomidae, Entomobryidae, Hypogastruridae, Isotomidae, Katianidae, Neanuridae, Onychiuridae, Tomoceridae
Polydesmida	Chelodesmidae, Cyrtodesmidae, Fuhrmannodesmidae, Oniscodesmidae, Paradoxosomatidae, Pyrgodesmidae, N.I.
Siphonophorida	Siphonophoridae
Spirobolida	Rhinocricidae, Spirostreptidae, N.I.
Spirostreptida	Pseudonannolenidae
Diplura	Japygidae, N.I.
Gastropoda	N.I.
Diptera	Culicidae, Phoridae, Psychodidae, Sciaridae, n.i.
Ephemeroptera	N.I.
Geophilomorpha	Geophilidae
Haplotaxida	N.I.
Harpacticoida	N.I.
Hemiptera	Achilixiidae, Belostomatidae, Cicadellidae, Cixiidae, Cydnidae, Hebridae, Hydrometridae, Mesoveliidae, Naucoridae, Ortheziidae, Reduviidae, Veliidae, N.I.
Hirudinida	N.I.
Hymenoptera	Formicidae, N.I.
Isopoda	Armadillidiidae, Platyarthridae, Stylopicidae, N.I.
Isoptera	Termitidae, Rhinotermitidae
Lepidoptera	Erebidae, Tineidae, N.I.
Lithobiomorpha	N.I.
Microcoryphia	Machilidae
Nematoda	N.I.

Nematomorpha	N.I.
Neuroptera	Mantispidae, Myrmeleontidae, N.I.
Odonata	Coenagrionidae, N.I.
Opiliones	Cosmetidae, Escadabiidae, Gonyleptidae, Sclerosomatidae, N.I.
Táxons	Famílias
Orthoptera	Phalangopsidae, N.I.
Ostracoda	N.I.
Palpigradi	Eukoeneiidae
Pauropoda	N.I.
Protura	N.I.
Pseudoscorpiones	Chernetidae, Chthonidae, Bochicidae, N.I.
Psocodea	Lepidopsocidae, Liposcelididae, Prionoglarididae, Psyllipsocidae, N.I.
Scolopendromorpha	Cryptopidae, Scolopocryptopidae, N.I.
Scorpiones	Buthidae
Scutigermorpha	Scutigerae
Symphyla	N.I.
Thysanoptera	N.I.
Trichoptera	N.I.
Turbellaria	N.I.
Zygentoma	Lepismatidae, Nicoletiidae

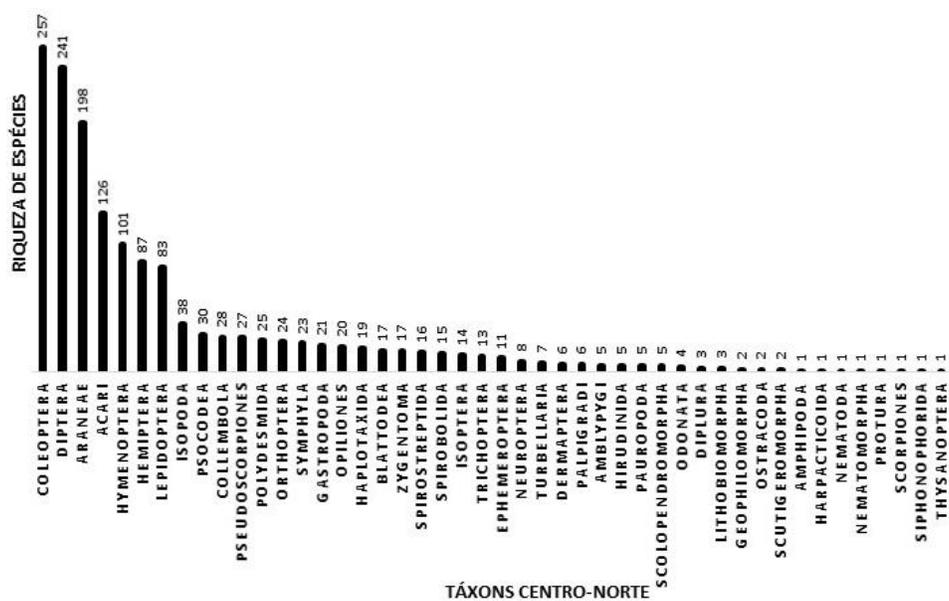


Figura 2: Distribuição da riqueza de espécies por ordem em 51 cavernas do Centro-norte de Minas Gerais.

Tabela 3: Relação dos táxons das espécies troglóbias encontradas no Centro-norte de Minas Gerais; famílias identificadas e entre parênteses o número de espécies troglóbias encontradas para a família.

Classe	Ordem	Famílias
Arachnida	Amblypygi	Charinidae (2)
	Araneae	Ochyroceratidae (6), Oonopidae (3), Prodidomidae (2), Symphytognatidae (1), Tetrablemmidae (2), N.I. (3)
	Opiliones	Escadabiidae (4), Gonyleptidae (4), N.I. (1)
	Palpigradi	Eukoeneiidae (5)
	Pseudoscorpiones	Chthonidae (9), Bochicidae (1)
Insecta	Collembola	Entomobryidae (3), Arrhopalitidae (1), Neanuridae (1)
	Coleoptera	Rhizophagidae (2), Staphylinidae (3)
	Hemiptera	Mesoveliidae (1)
	Orthoptera	Phalangopsidae (1)
Malacostraca	Amphipoda	Artesiidae (1)
	Isopoda	Armadillidiidae (1), Stylonicidae (7), Platyarthridae (3), N.I. (10)
Diplopoda	Polydesmida	Fuhrmannodesmidae (3), Oniscodesmidae (1), Pyrgodesmidae (7), N.I. (1)
	Spirostreptida	Pseudonannolenidae (5)

Relação da riqueza total e de espécies troglóbias com as características físicas e hidrológicas das cavernas

O desenvolvimento linear amostrado e número de entradas foram positiva e significativamente relacionados à riqueza total de espécies das cavernas ($F(2,48) = 9,47$; $p < 0,05$; $R^2 = 0,283$; $R^2_{ajustado} = 0,253$) (Figura 3 A e B). Já a riqueza de troglóbias, foi positiva e significativamente relacionada apenas ao desenvolvimento linear amostrado ($F(2,48) = 6,02$; $p < 0,05$; $R^2 = 0,201$; $R^2_{ajustado} = 0,167$) (Figura 3 C).

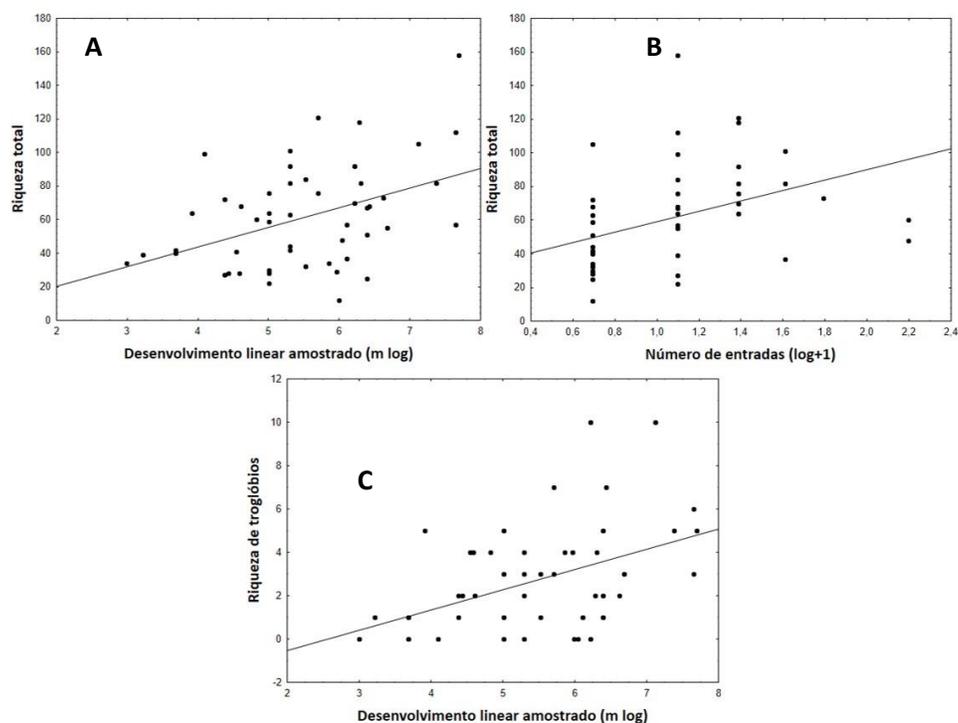


Figura 3: Relação da riqueza total com o desenvolvimento linear amostrado (A) e com o número de entradas (B). Relação da riqueza de troglóbios com o desenvolvimento linear amostrado (C).

Ao compararmos a média da riqueza total das cavernas que possuem curso d'água, seja ele autogênico ou alogênico (média = 77,29, $dp \pm 21,97$), com a média obtida para as cavernas secas ou que possuem poça (média = 53,09, $dp \pm 31,33$), observou-se que a média da riqueza total em cavernas com curso d'água é significativamente maior que a das cavernas secas ou com poça (KW-H (1;47) = 7,10; $p < 0,05$) (Figura 4 A). Em relação à média da riqueza de troglóbios, para as cavernas com curso d'água (média = 3,76, $dp \pm 2,82$) e para as cavernas secas ou com poça (média = 2,21, $dp \pm 2,10$), também foi observado que a média de riqueza das cavernas com curso d'água foi significativamente maior do que a das cavernas secas ou com poça (KW-H (1;47) = 10,00; $p < 0,05$) (Figura 4 B).

Analisando-se a relação dos atributos hidrológicos com a média das riquezas, observou-se que as cavernas com curso d'água alogênico, foram as que apresentaram maior média de riqueza total (Figura 4 C). Já em relação a média das riquezas de troglóbios, observou-se que nas cavernas com rios autogênicos ela foi maior, enquanto a menor foi obtida nas cavernas com poça (Figura 4 D).

A diferença nas médias das riquezas não foi significativa entre todas as classes de atributos hídricos. Para as riquezas totais, a média foi significativamente menor nas cavernas secas em relação às com cursos d'água autogênicos (KW-H (1;37) = 8,9148; $p < 0,05$) e em relação às com curso d'água alogênico (KW-H (1;30) = 9,7201; $p < 0,05$). A média de riqueza total encontrada para as cavernas secas foi de 46 espécies (dp \pm 19,99), para as cavernas com poça foi de 72,78 espécies (dp \pm 47,52), para as cavernas com curso d'água autogênico foi de 72,92 espécies (dp \pm 23,72) e para as cavernas com curso d'água alogênico a média foi de 87,80 espécies (dp \pm 13,76) (Figura 4 C). Para as riquezas dos troglóbios, apenas as médias das cavernas secas foram significativamente menores que as cavernas com curso d'água autogênico (KW-H (1;37) = 5,0044; $p < 0,05$). A média de riqueza de troglóbios nas cavernas secas foi de 2,28 espécies (dp \pm 2,21), nas cavernas com poça foi de duas espécies (dp \pm 1,87), nas cavernas com curso d'água autogênico foi de 3,92 (dp \pm 2,23) e nas cavernas com curso d'água alogênico foi de 3,4 (dp \pm 4,22) (Figura 4 D).

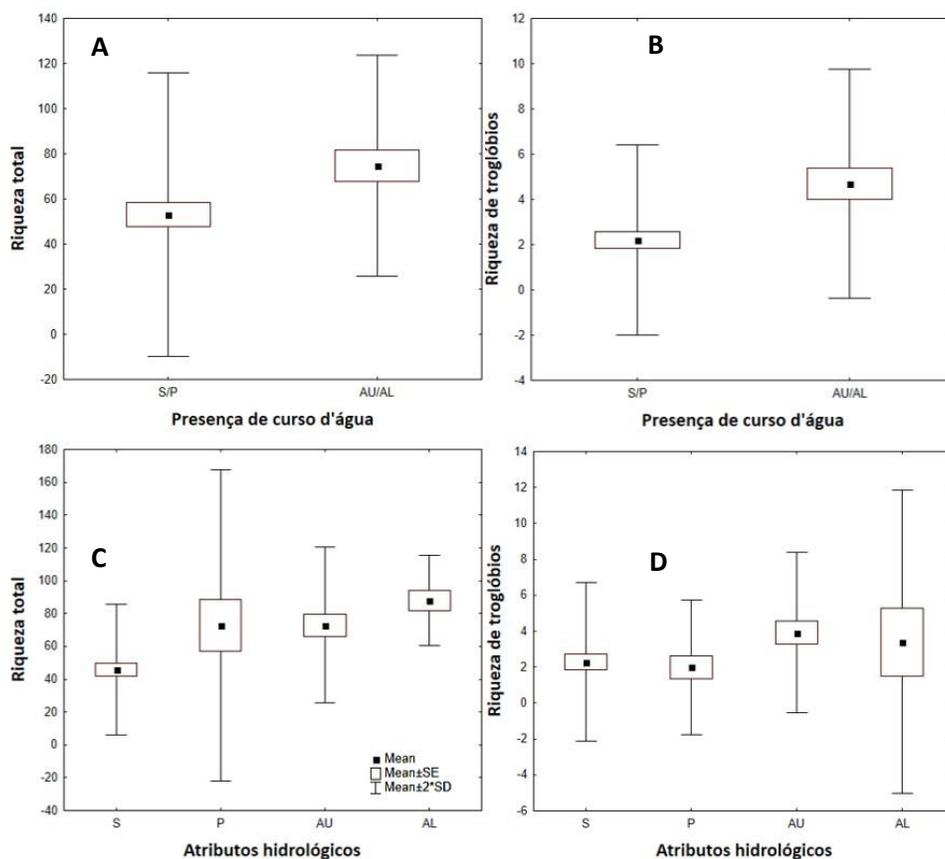


Figura 4: Comparação das médias de riqueza total (A) e de troglóbios (B) das cavernas secas ou com poça (S/P) e com curso d'água autogênico ou alogênico (AU/AL). Médias de riqueza total (C) e de troglóbios (D) nas cavernas classificadas secas (S), com poça (P), com curso d'água autogênico (AU) e com curso d'água alogênico (AL).

A composição da fauna e suas relações com as métricas, atributos hidrológicos e a distância entre as cavernas

O valor médio obtido para a similaridade entre as cavernas do presente estudo foi baixo, correspondendo a 4,27% ($dp \pm 3,37$). O maior valor de similaridade correspondeu a 26,37 %, observado entre as grutas do Espigão e do Espigão II, associadas a um mesmo maciço calcário e cujas entradas distam 149 metros.

No resultado obtido pelo teste DistLM, o melhor modelo utilizou as três variáveis e obteve R^2 ajustado = $4,2205E-2$. A ordem decrescente das variáveis que melhor explicam o modelo gerado com base na similaridade é: distância geográfica entre elas (DistLM Test, Pseudo-F: 1,7871, $p < 0,05$, $R^2 = 6,9304E-2$), soma da área das entradas (DistLM test, Pseudo-F: 1,329, $p < 0,05$, $R^2 = 2,6405E-2$) e desenvolvimento linear (DistLM test, Pseudo-F: 1,3283, $p < 0,05$, $R^2 = 2,6393E-2$).

Os modelos gráficos de nMDS (Kruskal 1964) gerados com base na matriz de similaridade de Jaccard, permitiram observar o agrupamento das cavernas em função de atributos hidrológicos e pela presença ou ausência de cursos d'água (Figura 5).

O teste ANOSIM one-way, detectou diferenças significativas entre o grupo formado pelas cavernas classificadas como secas ou com poça com relação ao grupo das cavernas com cursos d'água autogênicos ou alogênicos ($p < 0,05$) (Figura 5 A). Quanto aos atributos hidrológicos, o teste ANOSIM one-way detectou diferenças significativas apenas entre o grupo formado pelas cavernas secas e os dois grupos compostos por cavernas com curso d'água (Figura 5 B).

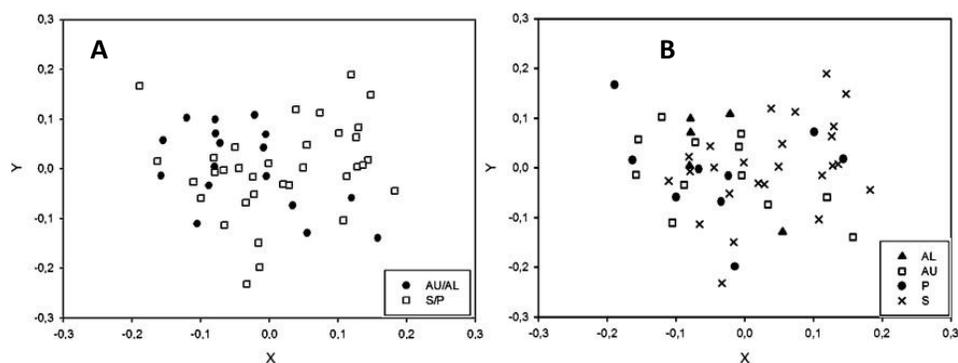


Figura 5: Gráficos de nMDS (2D stress = 0,33) demonstrando a distribuição da similaridade (Jaccard) para as cavernas, de acordo com a presença de cursos d'água (A) e os atributos hidrológicos (B) (AU = curso d'água autogênico, AL = curso d'água alogênico, S = seca, P = poça).

A composição da fauna cavernícola em relação à fauna epígea

Dos 47 grandes táxons encontrados nas cavernas da região Centro-norte de Minas Gerais, 45 foram utilizados na correlação com a fauna

geral Brasileira. Os táxons que apresentaram maior riqueza de espécies foram as ordens Coleoptera (257 espécies), Diptera (241 espécies) e Araneae (198 espécies) (Figura 2).

Os táxons mais ricos nas cavernas do presente estudo, também são os mais ricos na listagem de espécies do Brasil. O número de espécies de cada táxon encontrado nas cavernas, está positiva e significativamente correlacionado ao número de espécies registrado para cada um deles no Brasil ($p < 0,05$; $R = 0,67$; $R^2 = 0,45$) (Figura 6).

Os táxons que foram mais ricos em espécies troglóbias não coincidem com os mais ricos na fauna geral das cavernas estudadas e nem com os da fauna listada para o Brasil (Tabela 3). Apenas as ordens Araneae e Coleoptera fazem parte da listagem de ordens mais ricas tanto para espécies troglóbias, quanto para a fauna geral das cavernas e para a fauna total do Brasil.

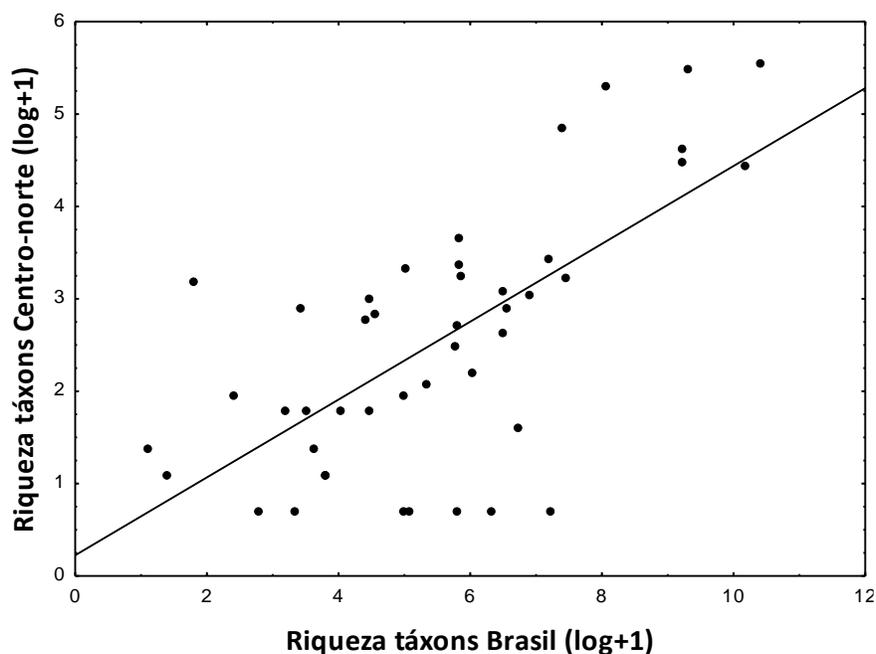


Figura 6: Relação da riqueza obtida para as ordens de artrópodes nas cavernas amostradas na região Centro-norte de Minas Gerais com a riqueza geral conhecida para o Brasil.

Dos resíduos obtidos para o gráfico de regressão apresentado na figura 6, apenas as ordens Orthoptera (resíduo -0,14) e Amphipoda (resíduo -1,98) possuem espécies troglóbias e obtiveram resíduos negativos, ou seja, apresentaram riqueza de espécies abaixo do esperado nas cavernas, em relação à fauna geral do Brasil. Entretanto, todas as outras onze ordens com ocorrência de troglóbios, apresentaram resíduos positivos, indicando uma riqueza acima do esperado nas cavernas, em relação à fauna geral do Brasil (Figura 7). Das ordens com ocorrência de troglóbios, apenas Amphipoda possui um dos oito menores resíduos. Já entre os oito maiores resíduos, observou-se quatro ordens com ocorrência de troglóbios.

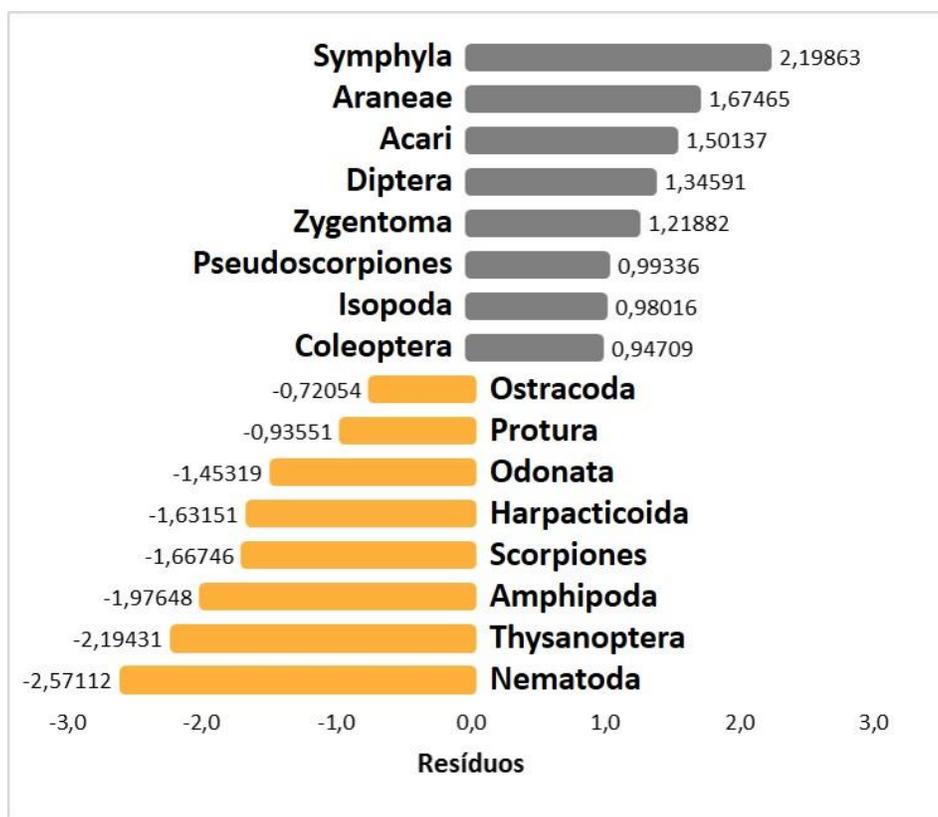


Figura 7: Resíduos extremos superiores e inferiores da regressão linear representada na figura 6.

DISCUSSÃO

Embora algumas das variáveis que estruturam as comunidades cavernícolas neotropicais sejam conhecidas, persiste um quadro de grande desconhecimento em relação à maioria das cavernas, especialmente em função da existência de extensas áreas que sequer foram devidamente prospectadas. Assim, ainda é prematuro se definir padrões de estruturação para comunidades de cavernas neotropicais como um todo. Estudos recentes apontam que as comunidades cavernícolas mais ricas, de forma geral, estão associadas às cavernas maiores (Culver et al. 2003, 2004, Souza-Silva et al. 2011b, Simões et al. 2015), com entradas maiores (ou

mais numerosas) ou com rios (Simões et al. 2015). No presente estudo, os resultados reforçam essas tendências. No entanto, além das variáveis já conhecidas na literatura, outras variáveis aparentemente possuem importância na determinação da composição destas comunidades, como a distância entre cavernas e a própria composição da fauna epígea.

Relação das riquezas totais e de troglóbios com as características físicas e hidrológicas das cavernas

Na natureza de forma geral, quanto maior a disponibilidade de energia, maior o número de espécies suportadas pelo ambiente (Gaston 2000). Esse padrão também é aplicado às cavernas (Christman et al. 2005). A grande maioria das comunidades cavernícolas, possui como base energética recursos orgânicos de origem alóctone, que são transportados do meio epígeo para o hipógeo por ação da água, vento, gravidade e animais que usam as cavernas como abrigo (Ferreira e Martins 1999, Ferreira et al. 2000, Poulson e Lavoie 2000, Culver e Pipan 2009b, Souza-Silva et al. 2011a, 2012). Em regiões quentes e úmidas a produtividade primária dos ambientes epígeos é maior, assim como a quantidade de espécies em comparação com ambientes secos e frios (Gaston 2000). Além disso, as chuvas mais frequentes, aumentam a proporção de matéria orgânica carregada para o interior das cavernas (Souza-Silva et al. 2011a). Isso favorece o estabelecimento de um maior número de espécies e explica a grande diversidade de invertebrados ocorrente nas cavernas neotropicais.

A relação apresentada pelo desenvolvimento linear e a riqueza de espécies é conhecida para cavernas de diversas partes do mundo (e.g.: América do Sul (Souza-Silva et al. 2011b, Simões et al. 2015) e América do Norte (Culver et al. 2003)). Cavernas maiores, quando comparadas às menores da mesma litologia, geralmente possuem uma fauna mais rica, provavelmente resultado da diversidade de micro-habitats e outros recursos disponíveis (Souza-Silva et al. 2011b). Cavernas maiores, além da maior área disponível para colonização, atraem colônias de morcegos (Brunet e Medellín 2001), que aumentam a heterogeneidade do hábitat, atuando diretamente na importação de recursos disponíveis à fauna, como sementes, folhas e outros restos alimentares, além do guano e de suas

próprias carcaças (Ferreira et al. 2000, Guimarães 2014). Quanto maior a variedade de recursos, maior a diversidade dos colonizadores associados à esses recursos (Smrž et al. 2015).

A quantidade de recursos de uma caverna também pode ser influenciada pela posição e tamanho das entradas, uma vez que o aporte de recursos por ação do vento, gravidade e água, dependem disso (Souza-Silva et al. 2013). Entradas compreendem locais de conexão das comunidades epígeas para com as comunidades hipógeas (Prous et al. 2004, 2015). Através delas, ocorre fluxo de nutrientes e espécies entre as cavernas e os ambientes superficiais (Souza-Silva et al. 2013). As riquezas obtidas para as cavernas do presente estudo, foram significativamente relacionadas ao número de entradas das cavernas, fato também observado por Simões e colaboradores (2015), demonstrando que aparentemente em regiões neotropicais, quanto maior a interface entre os ambientes epígeos e hipógeos, maior a riqueza de espécies da caverna.

As regiões ecotonais são zonas de transição entre dois ambientes distintos, como é o caso dos ambientes epígeos e hipógeos (Prous et al. 2004, 2015). Quando a região ecotonal divide ambientes muito ricos de ambientes muito pobres, como é o caso das cavernas, sua riqueza geralmente é maior que a apresentada pelos ambientes mais pobres e menor que a apresentada pelos ambientes mais ricos (Prous et al. 2015). As comunidades que compõem essas regiões ecotonais, em cavernas neotropicais, são compostas por espécies das comunidades epígeas, das comunidades hipógeas e, em grande parte, por espécies restritas ao próprio ecótono (Prous et al. 2015). Nas entradas, de forma geral, a quantidade de recursos orgânicos disponível é maior que no restante da caverna. Além de acumular detritos transportados pela água, vento e gravidade, a luz que adentra pelas entradas, possibilita o desenvolvimento de organismos fotossintetizantes. A proteção contra intempéries e insolação direta, também é um atrativo para muitas espécies (Prous et al. 2004, 2015).

Outro fator importante para as comunidades cavernícolas, são as águas subterrâneas. Por frequentemente estarem associadas aos sistemas hidrológicos locais, muitas cavernas apresentam cursos d'água ativos (Milanovic 2005). Em regiões neotropicais, cavernas que possuem cursos d'água ativos tendem a possuir uma fauna mais rica que as cavernas secas

(Simões et al. 2015). A elevada umidade proporcionada pelos cursos d'água aliada ao transporte de matéria orgânica para o interior das cavernas, favorecem tanto a riqueza total de espécies, como a riqueza de troglóbios. O principal recurso orgânico incorporado ao ambiente cavernícola por ação da água é material vegetal particulado (Souza-Silva et al. 2012). Os recursos orgânicos vegetais são de suma importância para a alimentação direta de diversas espécies e também permite o desenvolvimento de fungos e bactérias que fazem parte da dieta de diversas outras espécies, como colêmbolos, milípedes e ácaros (Srnž et al. 2015). Destaca-se que habitats com maior disponibilidade e diversidade de recursos orgânicos suportam um maior número de espécies (Poulson e Lavoie 2000, Schneider et al. 2011).

É notável a relação positiva da riqueza de espécies troglóbias com a disponibilidade de água nas cavernas, tanto em regiões neotropicais (Simões et al. 2015), como em regiões temperadas (Culver 1982). Porém, a maior riqueza de troglóbios no presente estudo ocorreu em uma caverna sem acúmulos de água perene. Apesar da reconhecida importância da disponibilidade de água para a fauna troglóbia, ainda é prematuro inferir sobre padrões ou tendências relacionando a riqueza de troglóbios a um tipo específico de atributo hidrológico para as regiões neotropicais. A tendência encontrada por Simões e colaboradores (2015), que consiste na maior média de riqueza de troglóbios em cavernas com poças, não foi observada no presente estudo. Apesar do valor da média das riquezas de troglóbios em cavernas com poça (média = 2) ser o mesmo para ambos os estudos, as cavernas com poça apresentaram a menor média de riqueza de troglóbios em relação às outras categorias hidrológicas nas cavernas do Centro-norte de Minas (Figura 4 D).

A composição da fauna e suas relações com as métricas, presença de corpos de água e a distância entre as cavernas

A similaridade da fauna subterrânea em regiões neotropicais, mesmo entre cavernas próximas, é frequentemente baixa (Souza-Silva et al. 2011c). Ainda assim, é a principal ferramenta utilizada na tentativa de compreender os padrões e as tendências das comunidades cavernícolas neotropicais em relação à variação do ambiente (Souza-Silva 2008,

Zampaulo 2010, Souza-Silva et al. 2011b, 2011c, Souza 2012, Simões 2013, Simões et al. 2014). O baixo número de espécies compartilhadas entre cavernas próximas, é provavelmente reflexo da megadiversidade das comunidades epígeas adjacentes, associada à heterogeneidade de habitats e recursos.

A distância geográfica foi o fator que melhor explicou os valores de similaridade entre as cavernas estudadas. Simões e colaboradores (2015), ao analisarem a influência da distância geográfica sobre a similaridade das cavernas do noroeste de Minas Gerais, não obtiveram relação significativa. Porém, diversos estudos em sistemas epígeos demonstram a existência de uma relação direta entre a similaridade com a distância dos pontos amostrados (Nekola e White 1999), de modo que os sistemas hipógeos, que compartilham boa parte de suas espécies com os sistemas epígeos, também podem responder de forma similar.

Apesar da distância geográfica ser o fator que melhor explica o modelo gerado, para algumas cavernas outros fatores se mostraram também relevantes. As cavernas com presença de curso d'água, mesmo estando geograficamente distantes, possuem comunidades mais similares entre si, do que quando comparadas às cavernas próximas geograficamente. Diversos fatores podem contribuir para o aumento da similaridade entre cavernas com curso d'água, dentre eles estão a seleção de espécies adaptadas à oscilação sazonal do nível da água (Simões et al. 2015) e a ocorrência de espécies com estágio larval bentônico (e.g.: Plecoptera, Ephemeroptera e Odonata), que se tornam adultas no interior da caverna.

A composição da fauna cavernícola em relação à fauna epígea

A correlação entre a riqueza dos grupos epígeos conhecidos para o Brasil, com os encontrados nas cavernas inventariadas, demonstra que a fauna associada às cavernas de fato tendem a representar, proporcionalmente, as riquezas epígeas. Assim, embora existam “filtros” ambientais que podem contribuir ou dificultar a colonização e estabelecimento de diferentes espécies em cavernas (Prous et al. 2015), a riqueza representada nos habitats subterrâneos tende a ser determinada pela riqueza externa. O que demonstra, que em cada grande grupo, há

uma parcela de espécies aptas a se estabelecer em habitats subterrâneos, que é proporcional à riqueza total de espécies do grupo.

No entanto, considerando os grupos com espécies troglóbias, o cenário modifica-se drasticamente. Não foi observada uma correlação entre a riqueza de espécies troglóbias em relação à riqueza epígea dos grupos às quais estas espécies pertencem. Tal fato demonstra que, diferentemente da fauna subterrânea geral, as espécies troglóbias advêm de grupos específicos, pré-adaptados, e que não são igualmente representados dentro dos grandes grupos epígeos. Corroborando com isto, os resíduos da análise realizada neste trabalho permitiram observar que 85% dos táxons com ocorrência de troglóbios possuem riqueza maior nas cavernas que o esperado. O que demonstra, que a grande maioria das espécies troglóbias deste estudo pertencem a grupos que provavelmente apresentam pré-adaptações ao ambiente subterrâneo.

Os grupos com espécies troglóbias neste estudo, são em grande parte os mesmo encontrados em diversas regiões de mundo, como por exemplo nos Estados Unidos (Hobbs III 2012), na Austrália (Guzik et al. 2010) e em regiões da Europa (Sket et al. 2004). Onze dos grupos aqui encontrados possuem mais de 50 espécies troglóbias descritas para o mundo (Culver e Pipan 2009c). Tal fato demonstra claramente a recorrência dos mesmos grupos troglóbios/estigóbios em cavernas do mundo, independentemente da escala ou região geográfica, o que indica claramente a importância da pré-adaptação para o estabelecimento e posterior evolução nestes ambientes (Culver e Pipan 2009c, Romero 2009). Os únicos dois táxons que apresentaram troglóbios e não são amplamente distribuídos no mundo, foram *Amblypygi* e *Palpigradi*.

Considerações finais

A biologia subterrânea neotropical, apesar de seu início tardio e da pouca proporção de cavernas estudadas, já consegue apontar alguns padrões e tendências. A relação positiva do tamanho das cavernas com o aumento da riqueza de espécies troglóbias e não troglóbias, assim como em outras regiões do globo, acontece em todas as litologias com ocorrência de cavernas (Souza-Silva et al. 2011b). A relação positiva da

riqueza total com o aumento das entradas e com a presença de cursos d'água, também é amplamente observada (Simões et al. 2015). Já para a riqueza de troglóbios a relação positiva com a presença de água é clara, porém o atributo hidrológico mais associado a alta diversidade de troglóbios ainda é obscuro. A relação da biodiversidade dos ambientes epígeos com os hipógeos, apesar de ter sido testada pela primeira vez, demonstra que em regiões cuja biodiversidade epígea é maior, espera-se também uma maior biodiversidade hipógea, possivelmente pela diferença na probabilidade de espécies, dos mais diversos grupos, conseguirem ultrapassar as barreiras impostas pelos filtros ambientais e colonizar, também, os ambientes subterrâneos. Entender melhor os diversos fatores que influênciam a similaridade entre as cavernas e a influência das espécies que compõem as comunidades adjacentes nas comunidades cavernícolas, ainda é um desafio. Por fim, é importante ressaltar que para diagnosticar padrões mais amplos, é necessário trabalhar com um banco de dados numeroso, com amostras heterogêneas e bem distribuídas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos taxonomistas que auxiliaram no refinamento taxonômico dos grupos (Acari: Leopoldo Bernardi, Amblypygi: Ana Carolina Vasconcelos, Araneae: Antônio Brescovit, Collembola: Douglas Zeppelini, Diplopoda: Luiz Felipe Moretti Iniesta, Opiliones: Ludson Ázara, Palpigradi: Maysa Villela); aos integrantes do Centro de Estudos em Biologia Subterrânea pelo auxílio nos trabalhos de campo; aos estagiários Gilson, Wagner e Júlia pelo auxílio na triagem, às pessoas que nos guiaram e acompanharam às cavernas amostradas (Santinho, Bira, Eduardo Gomes, Edson Veloso, Ronaldo Sarmiento, Lorão, Aldelice e Nilsinho); aos gestores e funcionários do Parque Estadual da Lapa Grande pela acolhida; aos funcionários do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu; às pessoas que colaboraram com indicação de cavernas e mapas (Frederico Gonçalves, Leda Zogbi, Augusto Auler e Ezio Rubioli); ao Instituto Pristino e seus membros pelo apoio logístico, acompanhamento e indicação de cavernas; aos amigos do LEMAF-UFLA pelo auxílio (Nathália Carvalho, Daniel Prado, Guilherme Leite e Liliano Rambaldi);

ao professor Paulo Pompeu pelas dicas e esclarecimentos, aos grupos de espeleologia que disponibilizaram mapas topográficos (EPL, GBPE e SEE), em especial o Espeleogrupo Peter Lund, que também nos acompanharam em vários trabalhos de campo e às instituições que fomentaram o projeto, a bolsa e a infraestrutura (FAPEMIG, CAPES, UFLA e VALE).

REFERÊNCIAS

- Adis, J. 2002. Taxonomical classification and biodiversity. Páginas 13 – 15 *em* J. Adis, editor. Amazonian Arachnida and Myriapoda. First edição. Pensoft Publishers, Sofia, Moscow.
- Anderson, M. J. 2004. DISTLM v.5: a fortran computer program to calculate a distance-based multivariate analysis for a linear model. Department of Statistics, University of Auckland, New Zealand 10:2016.
- Auler, A. 2004. America, South. Páginas 110 – 118 *em* J. Gunn, editor. Encyclopedia of Caves and Karst Science. Taylor & Francis e-Library, New York/London.
- Baptista, R. L. C., e A. D. L. P. Giupponi. 2003. A new troglomorphic Charinus from Minas Gerais state, Brazil (Arachnida: Charinidae). *Revista Ibérica de Aracnología* 7:79–84.
- Barr, T. C. 1968. Cave Ecology and the Evolution of Troglobites. Páginas 35–102 *em* T. Dobzhansky, M. K. Hecht, e W. C. Steere, editores. *Evolutionary Biology*. Plenum press, New York/London.
- Bastos-Pereira, R., e R. L. Ferreira. 2015. A new species of Spelaeogammarus (Amphipoda: Bogidielloidea: Artesiidae) with an identification key for the genus. *Zootaxa* 4021:418.
- Brescovit, A. D., R. L. Ferreira, M. S. Silva, e C. A. Rheims. 2012. Brasilomma gen. nov., a new prodidomid genus from Brazil (Araneae, Prodidomidae). *Zootaxa* 32:23–32.
- Brunet, A. K., e R. A. Medellín. 2001. the Species–Area Relationship in Bat Assemblages of Tropical Caves. *Journal of Mammalogy* 82:1114–1122.
- Carmo, F. F. do. 2012. Novo polo para conservação em geossistema ferruginoso na região do Rio Peixe bravo, norte de Minas Gerais. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Chapman, P. 1982. The Origin of Troglobites. *Proceedings of the University of Bristol Speleological Society* 16:133–141.
- Christiansen, K. 1962. Proposition pour la classification des animaux cavernicoles. *Spelunca* 2:75–78.
- Christman, M. C., D. C. Culver, M. K. Madden, e D. White. 2005. Patterns of endemism of the eastern North American cave fauna. *Journal of Biogeography* 32:1441–1452.
- Clarke, K. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in

- community structure. *Australian journal of ecology* 18:117–143.
- Culver, D. C. 1982. *Cave life: Evolution and Ecology*. Harvard University Press, Massachusetts and London.
- Culver, D. C., M. C. Christman, W. R. Elliott, H. H. H. Iii, e J. R. Reddell. 2003. The North American obligate cave fauna : regional patterns. *Biodiversity and Conservation* 12:441–468.
- Culver, D. C., M. C. Christman, I. Sereg, P. Trontelj, e B. Sket. 2004. The location of terrestrial species-rich caves in a cave-rich area. *Subterranean Biology* 2:27–32.
- Culver, D. C., e T. Pipan. 2009a. The subterranean domain. Páginas 1–22 *em* D. C. Culver e T. Pipan, editores. *The biology of caves an other subterranean habitats*. First edição. Oxford University Press, Oxford.
- Culver, D. C., e T. Pipan. 2009b. Sources of energy in subterranean environments. Páginas 23–39 *The Biology of Caves and Other Subterranean Habitats*. Oxford University Press, Oxford.
- Culver, D. C., e T. Pipan. 2009c. Survey of subterranean life. Páginas 40–74 *em* D. C. Culver e T. Pipan, editores. *The Biology of Caves and Other Subterranean Habitats*. Oxford University Press, Oxford.
- Culver, D. C., e T. Pipan. 2010. Climate , abiotic factors , and the evolution of subterranean life. *Acta Carsologica* 393:577–586.
- Culver, D. C., e T. Pipan. 2013. Subterranean Ecosystems. Páginas 49–62 *Encyclopedia of Biodiversity*. Elsevier Inc.
- Ferreira, R. L., e R. P. Martins. 1999. Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities, with special reference to Brazilian caves. *Tropical Zoology* 12:231–252.
- Ferreira, R. L., R. P. Martins, e D. Yanega. 2000. Ecology of bat guano arthropod communities in a Brazilian dry cave. *Ecotropica* 6:105–116.
- Ford, D., e P. Williams. 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. (D. Ford e P. Williams, Eds.). John Wiley & Sons, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex.
- Gaston, K. J. 2000. Global patterns in biodiversity. *Nature* 405:220–7.
- Gillieson, D. 1996. *Caves: Processes, Development and Management*. Second edição. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Guimarães, M. de M. 2014. *Morcegos Cavernícolas Do Brasil: Composição, Distribuição E Serviços Ambientais*. Universidade Federal de Lavras.
- Guzik, M. T., A. D. Austin, S. J. B. Cooper, M. S. Harvey, W. F.

- Humphreys, T. Bradford, S. M. Eberhard, R. A. King, R. Leys, K. A. Muirhead, e M. Tomlinson. 2010. Is the Australian subterranean fauna uniquely diverse? *Invertebrate Systematics* 24:407–418.
- Hobbs III, H. H. 2012. Diversity patterns in the United States. Páginas 251 – 264 em W. B. White e D. C. Culver, editores. *Encyclopedia of caves*. Second edição. Elsevier Academic Press, Oxford, San Diego.
- Hoch, H., e R. L. Ferreira. 2012. *Ferricixius davidi* gen. n., sp. n. – the first cavernicolous planthopper from Brazil (Hemiptera, Fulgoromorpha, Cixiidae). *Deutsche Entomologische Zeitschrift* 59:201–206.
- Hollander, M., A. Wolfe, e E. Chicken. 2013. *Nonparametric statistical methods*. Third edição. John Wiley & Sons, Canada.
- Howarth, F. G. 1987. The evolution of non-relictual tropical troglobites. *International Journal Of Speleology* 16:1–16.
- ICMbio. 2016. Portal da Biodiversidade. <https://portaldabiodiversidade.icmbio.gov.br/portal/>.
- Iniesta, L. F. M., e R. L. Ferreira. 2013. The first troglobitic Pseudonannolene from Brazilian iron ore caves (Spirostreptida: Pseudonannolenidae). *Zootaxa* 3669:85–95.
- Iniesta, L. F. M., e R. L. Ferreira. 2015. Pseudonannolene lundii n. sp., a new troglobitic millipede from a Brazilian limestone cave (Spirostreptida: Pseudonannolenidae). *Zootaxa* 3949:123–128.
- Kruskal, J. B. 1964. Nonmetric multidimensional scalling: A numerical method. *Psychometrika* 29:115–129.
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing, Malden, USA.
- Milanovic, P. T. 2005. *Water resources engineering in karst*. Igarss 2014. CRC Press Taylor & Francis Group, Bo.
- Nekola, J. C., e P. S. White. 1999. The distance decay of similarity in biogeography and ecology. *Journal of Biogeography* 26:867–878.
- Novak, T., M. Perc, S. Lipovšek, e F. Janžekovič. 2012. Duality of terrestrial subterranean fauna. *International Journal of Speleology Official Journal of Union Internationale de Spéléologie* 41:181–188.
- Pellegrini, T. G., e R. L. Ferreira. 2011. Ultrastructural analysis of *Coarazuphium formoso* (Coleoptera: Carabidae, Zuphiini), a new Brazilian troglobitic beetle. *Zootaxa* 49:39–49.
- Pinto-da-Rocha, R. 1996. *Iandumoema uai*, a new genus and species of troglobitic harvestman from Brazil (Arachnida, Opiliones,

- Gonyleptidae). *Revista Brasileira de Zoologia* 13:843–848.
- Poulson, L. T., e K. Lavoie. 2000. The trophic basis of subsurface ecosystems. Páginas 231–250 *em* W. Horst, D. C. Culver, e W. F. Humphreys, editores. *Ecosystems of the World: Subterranean Ecosystems*. Elsevier.
- Poulson, L. T., e B. W. White. 1969. The Cave Environment. *Science* 165:971–981.
- Prevorcnik, S., R. L. Ferreira, e B. Sket. 2012. Brasileirinidae, a new isopod family (Crustacea: Isopoda) from the cave in Bahia (Brazil) with a discussion on its taxonomic position. *Zootaxa* 65:47–65.
- Prous, X. 2005. Entradas de cavernas : interfaces de biodiversidade entre ambientes externos e subterrâneos. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Prous, X., R. L. Ferreira, e C. M. Jacobi. 2015. The entrance as a complex ecotone in a Neotropical cave. *International Journal of Speleology* 44:177–189.
- Prous, X., R. L. Ferreira, R. P. Martins, L. De Ecologia, e D. D. B. Geral. 2004. Ecotone delimitation : Epigeal – hypogean transition in cave ecosystems. *Austral Ecology* 29:374–382.
- Rafael, J. A., G. A. R. Melo, C. J. B. de Carvalho, S. A. Casari, e R. Constantino. 2012. Insetos do Brasil diversidade taxonômica. (J. A. Rafael, G. A. R. Melo, C. J. B. de Carvalho, S. A. Casari, e R. Constantino, Eds.). Holos editora, Ribeirão Preto.
- Ratton, P., V. Mahnert, e R. L. Ferreira. 2012. A new cave-dwelling species of Spelaeobochica (Pseudoscorpiones: Bochicidae) from Brazil. *Journal of Arachnology* 40:274–280.
- Ripley, B. D. 1977. Modelling Spatial Patterns. *Journal of the Royal Statistical Society* 39:172–212.
- Romero, A. 2009. The evolutionary biology of cave organisms. Páginas 130–158 *Cave Biology Life in Darkness*. First edição. Cambridge University Press, New York.
- Royston, J. P. 1982. An Extension of Shapiro and Wilk's W Test for Normality to Large Samples. *Journal Of The Royal Statistical Society Series C-Applied Statistics* 31:115–124.
- Schneider, K., M. C. Christman, e W. F. Fagan. 2011. The influence of resource subsidies on cave invertebrates: results from an ecosystem-level manipulation experiment. *Ecology* 92:765–776.
- Shapiro, S. S., e M. B. Wilk. 1965. An Analysis of Variance Test for

- Normality (Complete Samples). *Biometrika* 52:591–611.
- Simões, M. H. 2013. Invertebrados Cavernícolas: Subsídios para determinação de cavernas e áreas prioritárias para conservação no Noroeste de Minas Gerais. Universidade Federal de Lavras.
- Simões, M. H., M. Souza-silva, e R. L. Ferreira. 2014. Cave invertebrates in Northwestern Minas Gerais state, Brazil : endemism , threats and conservation priorities. *Acta Carsologica* 43:159–174.
- Simões, M. H., M. Souza-silva, e R. L. Ferreira. 2015. Cave physical attributes influencing the structure of terrestrial invertebrate communities in Neotropics. *Subterranean Biology* 16:103–121.
- Sket, B. 2008. Can we agree on an ecological classification of subterranean animals? *Journal of Natural History* 42:1549–1563.
- Sket, B., K. Paragamian, e P. Trontelj. 2004. A census of the obligate subterranean fauna of the Balkan Peninsula. Páginas 309 – 322 *em* H. I. Griffiths, B. Kryštufek, e J. M. Reed, editores. *Balkan Biodiversity - pattern and process in the European hotspots*. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Smrž, J., L. Kováč, J. Mikeš, V. Šustr, A. Lukešová, K. Tajovský, A. Nováková, e P. Režňáková. 2015. Food sources of selected terrestrial cave arthropods. *Subterranean Biology* 16:37–46.
- Souza, M. F. V. R. 2012. Diversidade de invertebrados subterrâneos da região de Cordisburgo, Minas Gerais: subsídios para definição de cavernas prioritárias para conservação e para o manejo biológico de cavidades turísticas. Universidade Federal de Lavras.
- Souza, M. F. V. R., e R. L. Ferreira. 2010. Eukoenenia (Palpigradi: Eukoeneniidae) in Brazilian caves with the first troglotrophic palpigrade from South America. *The Journal of Arachnology* 38:415–424.
- Souza-Silva, M. 2008. Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na mata atlântica brasileira. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Souza-Silva, M., L. F. O. Bernardi, R. P. Martins, e R. L. Ferreira. 2012. Transport and Consumption of Organic Detritus in a Neotropical Limestone Cave. *Acta Carstologica* 41:139–150.
- Souza-Silva, M., A. S. Júnior, e R. L. Ferreira. 2013. Food resource availability in a quartzite cave in the Brazilian montane Atlantic forest. *Journal of Cave and Karst Studies* 75:1 – 12.
- Souza-Silva, M., R. P. Martins, e R. L. Ferreira. 2011a. Trophic

- Dynamics in a Neotropical Limestone Cave. *Subterranean Biology* 9:127–138.
- Souza-Silva, M., R. P. Martins, e R. L. Ferreira. 2011b. Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest. *Biodiversity and Conservation* 20:1713–1729.
- Souza-Silva, M., J. C. Nicolau, e R. L. Ferreira. 2011c. Comunidades de invertebrados terrestres de três cavernas quartzíticas no vale do mandembe, luminárias, MG. *Espeleo-tema* 22:155–167.
- Trajano, E., e M. E. Bichuette. 2010. Diversity of Brazilian subterranean invertebrates , with a list of troglomorphic taxa. *Subterranean Biology* 7:1–16.
- Zampaulo, R. D. E. A. 2010. Diversidade de invertebrados cavernícolas na província espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG): Subsídios para a determinação de áreas prioritárias para conservação. Universidade Federal de Lavras.

ARTIGO 2

**ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO DA
BIODIVERSIDADE SUBTERRÂNEA NO EIXO CENTRO-NORTE DE
MINAS GERAIS**

Formatado de acordo com as normas da revista: *International Journal of
Speleology*

Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade subterrânea no eixo Centro-norte de Minas Gerais.

RESUMO

Nas regiões tropicais, principalmente nos países emergentes, grande parte das paisagens naturais foram e continuam sendo substituídas por minerações, atividades agropastoris e de geração de energia, para suprir as demandas desenvolvimentistas. Neste cenário, por estarem associadas geralmente às rochas de elevado valor econômico e intimamente associadas às paisagens superficiais, as cavernas têm sofrido impactos, muitas vezes irreversíveis. Nos últimos anos, diversos índices foram propostos a fim de nortear políticas de conservação do patrimônio espeleológico em diversas partes do mundo, entretanto poucos levam em consideração a biodiversidade cavernícola. Frente às crescentes ameaças ao patrimônio espeleológico, o presente estudo utiliza dados de 51 cavernas no eixo Centro-norte de Minas Gerais, Brasil, a fim de sugerir prioridades para conservação. Ao todo, foram sugeridas duas áreas prioritárias para conservação de cavernas e onze cavernas prioritárias para conservação nesta região, baseando-se no Índice de Prioridade para Conservação de Cavernas – iPCC. Também avaliamos a aplicabilidade de três índices, em relação à fauna de invertebrados das cavernas tropicais, para isto utilizamos dados de 578 cavernas e concluímos que o índice de maior versatilidade para grandes e pequenos grupos de cavernas é o iPCC, que calcula, de forma comparativa, a vulnerabilidade desses ambientes.

INTRODUÇÃO

As cavernas são ambientes caracterizados, de forma geral, pela ausência de luz nas regiões distantes das entradas, temperatura constante e umidade elevada (Poulson e White 1969, Culver e Pipan 2010). A ausência permanente de luz faz com que as comunidades cavernícolas sejam dependentes de recursos alóctones ou, em raros casos, de bactérias quimioautotróficas e raízes. (Poulson e Lavoie 2000, Culver e Pipan 2009, Souza-Silva et al. 2011a, 2012, Por et al. 2013). Grande parte dos

recursos alóctones são trazidos pela água, vento ou gravidade e por animais que transitam entre as cavernas e ambientes externos, tornando as comunidades cavernícolas altamente dependentes dos ambientes epígeos adjacentes (Poulson e Lavoie 2000, Culver e Pipan 2009).

As espécies que compõem as comunidades cavernícolas, podem ser categorizadas de acordo com o nível de dependência que apresentam em relação ao ambiente cavernícola. As espécies troglóbias, são aquelas restritas aos ambientes subterrâneos. Já as troglófilas, possuem populações viáveis tanto em ambientes subterrâneos, quanto epígeos. As espécies troglóxenas, se abrigam em cavernas, mas dependem do ambiente externo para completar seu ciclo de vida. Por fim, as espécies acidentais, são aquelas desprovidas de pré-adaptações ao ambiente subterrâneo, sendo incapazes de sobreviver nesses ambientes (Barr 1968).

Nas regiões tropicais, a demanda por recursos minerais e geração de energia têm crescido devido ao acelerado desenvolvimento e ao desenfreado crescimento populacional (Deharveng e Bedos 2012). No Brasil, conflitos entre políticas de desenvolvimento e conservação têm modificado a legislação e gerado cenários que ameaçam a integridade até mesmo de unidades de conservação (Ferreira et al. 2014) e também das cavernas que nelas se inserem (Sugai et al. 2015).

O cenário de substituição das paisagens naturais brasileiras é preocupante. O bioma Cerrado, um hotspot mundial para a conservação da biodiversidade (Myers et al. 2000), teve mais da metade de sua área natural substituída por paisagens antrópicas e ainda apresenta taxa de desmatamento anual bastante elevada (Klink e Machado 2005). Grande parte do estado de Minas Gerais é composta pelo bioma Cerrado, e boa parte desta paisagem (e suas cavernas) encontra-se impactada por diferentes atividades antrópicas (Klink e Machado 2005, Zampaulo 2010, Simões et al. 2014). As atividades minerárias do estado, responsáveis por metade da produção nacional (IBRAM 2014) se concentram na região Centro-sul e na região do quadrilátero ferrífero, onde ameaçam uma grande quantidade das cavernas presentes (Sugai et al. 2015). Já as atividades agropecuárias, em regiões com grande concentração de cavernas, ocorrem nas regiões Centro-sul (Zampaulo 2010) e noroeste do estado (Simões et al. 2014). No entanto, embora sejam conhecidas várias fontes de atividades que potencialmente geram impactos em cavernas para algumas regiões do estado, ainda há extensas lacunas de conhecimento para Minas Gerais, principalmente na região Centro-norte.

Na região Centro-norte de Minas Gerais, localiza-se boa parte do ramo leste do grupo geológico Bambuí, o maior grupo carbonático da América do Sul (Auler 2004), e uma das regiões com maior adensamento de cavernas de Minas Gerais. A escassez de informações acerca dos principais impactos que afetam as cavernas, bem como a paisagem de entorno, dificultam a proposição de ações de conservação. Atualmente, no Brasil, já existem unidades de conservação voltadas para a conservação do patrimônio espeleológico (e.g: Parque Nacional Cavernas do Peruaçu - MG, Parque Estadual do Sumidouro - MG, Parque Estadual da Lapa Grande - MG), embora nenhuma delas tenha se baseado em estudos de biodiversidade subterrânea. A atual legislação que rege o patrimônio espeleológico brasileiro (Brasil 2008), tem sido importante para a conservação das cavernas de forma geral. De acordo com esta legislação, cavernas de máxima relevância, mesmo situadas muito próximas a lavras de mineração já abertas, são obrigatoriamente preservadas, junto ao seu raio de influência (e.g.: Hoch e Ferreira 2012).

Diversas pesquisas têm buscado auxiliar as políticas de conservação, algumas destas propõem índices que avaliam diferentes atributos espeleológicos, muitas vezes incluindo a fauna ou mesmo outras áreas, como a arqueologia e paleontologia (Beynen e Townsend 2005, Donato et al. 2014, Souza-Silva et al. 2015). Um destes índices (iPCC), proposto por Souza-Silva e colaboradores (2015) permite definir de forma rápida cavernas prioritárias a receber ações de conservação através da definição de graus de vulnerabilidade. Cavernas mais vulneráveis e prioritárias para receber ações de conservação, seriam aquelas com elevada relevância biológica e extrema ameaça por alterações antrópicas. Diante disto, o presente estudo: *i*) utiliza o iPCC como ferramenta de valoração de cavernas, a fim de definir cavernas e áreas prioritárias para conservação da biodiversidade cavernícola na região Centro-norte de Minas Gerais e *ii*) avalia a aplicabilidade de três índices, que visam a conservação de cavernas, quanto a conservação da biodiversidade cavernícola em regiões megadiversas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido entre os anos de 2014 e 2015 em 51 cavernas distribuídas em 17 municípios da região Centro-norte do estado de Minas Gerais (Brasil), entre as latitudes 15°0'24''S e 18°42'23''S e longitudes 42°42'12''O e 44°42'26''O. Das cavernas inventariadas, 48 estão na porção sudeste do Grupo geológico Bambuí, possuem litologia calcária e fazem parte da bacia hidrográfica do Rio São Francisco, enquanto três pertencem à bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha, fazendo parte do Grupo geológico Macaúbas e se desenvolvendo em formação ferrífera (Figura 1) (Tabela 1). A vegetação predominante é caracterizada pelo bioma Cerrado e varia principalmente entre as fitofisionomias de Campo Cerrado, Campos e Floresta Estacional Decidual Montana (Carvalho et al. 2006).

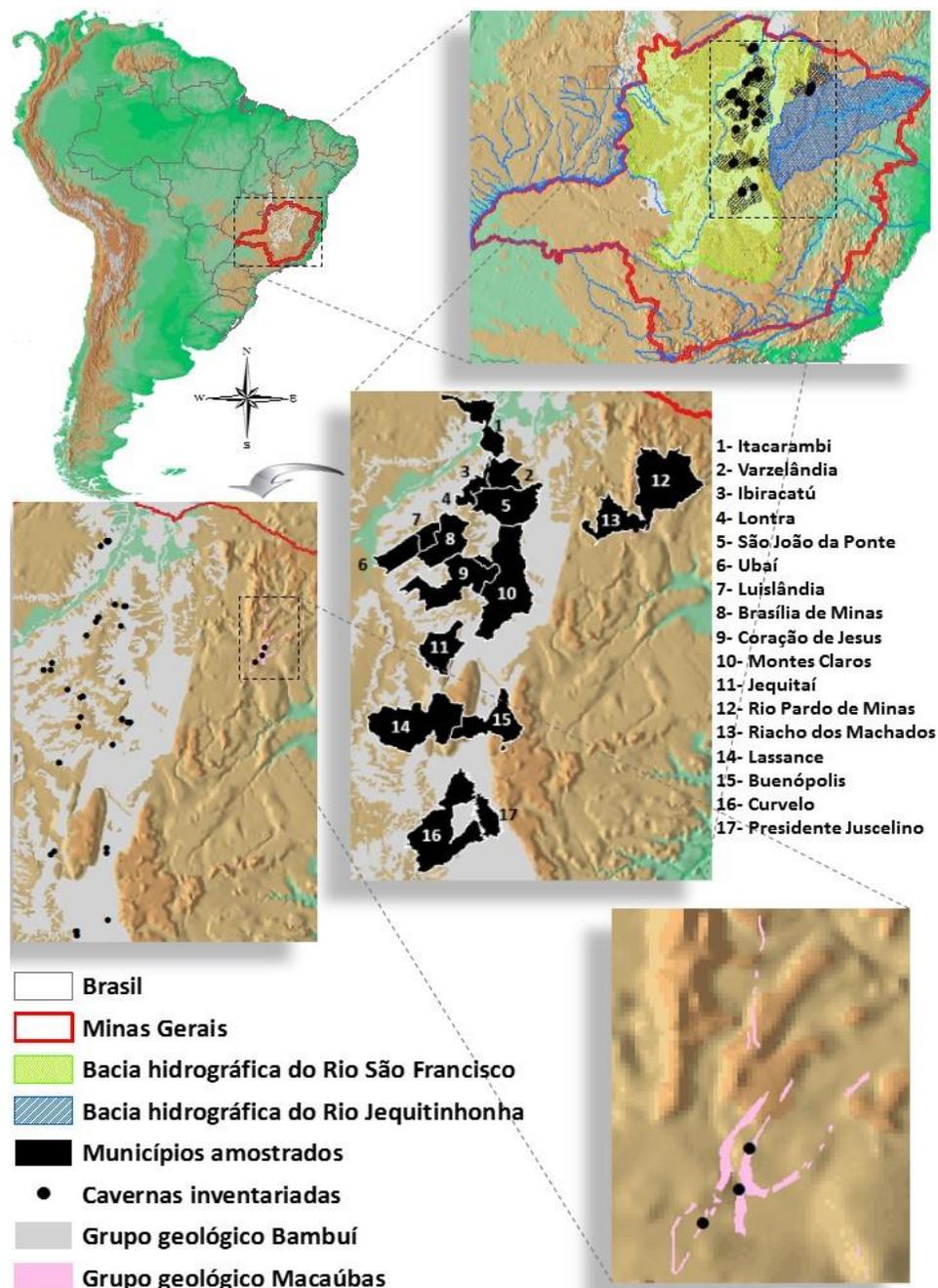


Figura 8: Distribuição das cavidades na região Centro norte de Minas Gerais, bacias dos rios São Francisco e Jequitinhonha. Em destaque o grupo carbonático Bambuí (cinza claro) e o grupo Macaúbas, ferruginoso (rosa).

Tabela 4: Número e nome da caverna, código do município (codM), localização geográfica e métricas das cavernas inventariadas (CodM= código do município de acordo com a figura 1) desenvolvimento linear total (DLT), desenvolvimento linear amostrado (DLA), número de entradas (NE), soma da área das entradas (\sum AE), unidades de conservação na qual se inserem (UC) N = nenhuma, PNCP = Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, PELG = Parque Estadual da Lapa Grande (*cavernas ferruginosas).

Nº - Nome da Caverna	CodM	Latitude	Longitude	DLT	DLA	NE	\sum AE	UC
1- Gruta Mamoneiras	8	-16.400322°	-44.493255°	450	450	2	11,5	N
2- Lapa do Coronel	15	-17.883887°	-44.129680°	40	40	1	32	N
3- Lapa da Lagoa	15	-17.938170°	-44.130059°	80	80	1	9	N
4- Lapa Cigana	9	-16.471524°	-44.370402°	150	150	1	7,5	N
5- Gruta Sumitumba	9	-16.663000°	-44.369000°	200	200	4	25	N
6- Lapa do Espigão	9	-16.466653°	-44.348604°	750	750	5	15,5	N
7- Lapa de Maria Cobra	9	-16.752209°	-44.395385°	500	500	3	127,5	N
8- Gruta do Espigão II	9	-16.467581°	-44.347542°	200	200	1	8	N
9- Gruta da Antonina II	16	-18.705144°	-44.403056°	150	150	3	44	N
10- Gruta Antonina	16	-18.706453°	-44.402521°	250	250	2	78	N
11- Saco Curto	16	-18.666239°	-44.406622°	50	50	2	26	N
12- Saco Comprido	16	-18.667236°	-44.409988°	537	537	3	46,5	N
13- Gruta São José I	3	-15.725375°	-44.207798°	200	200	3	338,6	N
14- Gruta São José II	3	-15.725786°	-44.206214°	150	150	2	81,6	N
15- Gruta São José III	3	-15.725886°	-44.205272°	150	150	2	152	N
16- Lapa do Baianinho	3	-15.765600°	-44.234100°	600	600	1	44	N
17- Lapa do Marmelo	1	-15.011380°	-44.129633°	80	80	2	9	PNCP
18- Lapa d'água do Zezé	1	-15.006745°	-44.117087°	300	300	3	21,5	PNCP
19- Caverna da água do João Ferreira	1	-15.009719°	-44.132069°	150	150	1	25	PNCP
20- Lapa do Cipó	1	-15.056174°	-44.184377°	200	200	1	198	PNCP
21- Gruta do Nestor	1	-15.012456°	-44.121890°	500	500	3	136	PNCP
22- Lapas da Lagoinha	11	-17.090244°	-44.564849°	420	420	8	16,85	N
23- Lapa do Dim	11	-17.087961°	-44.562505°	450	450	4	121	N
24- Lapa do Sol	11	-17.090967°	-44.564876°	25	25	2	4,15	N
25- Gruta Buraco da Chuva	11	-17.088939°	-44.563405°	40	40	1	7,5	N
26- Lapa d'água	14	-17.919191°	-44.612090°	100	100	2	20	N
27- Gruta do Engenho Velho	14	-17.947182°	-44.639623°	300	300	3	33,6	N
28- Gruta do Apartamento	4	-15.894507°	-44.323164°	200	200	4	8,2	N
29- Cav. da Faz. de Joaquim Rodrigues	7	-16.217050°	-44.643736°	125	125	8	49	N
30- Lapa Sem Fim	7	-16.148575°	-44.627803°	11890	2200	2	31,9	N
31- Lapa d'água	10	-16.707038°	-43.920924°	1234	1234	1	78	PELG
32- Lapa Claudina	10	-16.679251°	-43.994084°	550	550	4	59,5	N
33- Lapa dos Cristais	10	-16.704291°	-43.940288°	200	200	1	8	PELG
34- Boqueirão da Nascente	10	-16.712649°	-43.941677°	620	620	1	195	PELG
35- Lapa Grande	10	-16.706672°	-43.942910°	2200	2100	2	163	PELG
36- Lapa da Santa	10	-16.681556°	-43.992281°	----	800	2	21	N
37- Lapa do Cedro	10	-16.917200°	-44.083700°	389	389	1	96	N
38- Lapa Encantada	10	-16.331289°	-43.994569°	3350	1600	3	276	N
39- Lapa d'água	17	-18.563372°	-44.128192°	600	600	2	81	N
40- Caverna do Morro Grande*	13	-16.141209°	-42.784466°	94	94	1	4,2	N
41- Caverna do Lago*	13	-16.082709°	-42.722937°	98	98	1	30	N
42- Caverna do Mocarorô*	12	-16.010200°	-42.703600°	84	84	1	8,4	N
43- Gruta Mãe de Ná	5	-15.806633°	-44.001919°	150	150	1	2,4	N
44- Lapa do Nilsinho	6	-16.214083°	-44.706553°	60	60	2	1,6	N
45- Sumiduro do Zezinho de Dionila	6	-16.215654°	-44.707148°	20	20	1	0,9	N
46- Gruta da Porteira	2	-15.623438°	-43.976243°	150	150	1	10	N
47- Caverna da Madeira	2	-15.621660°	-43.965252°	400	400	1	80	N
48- Gruta da Gameleira	2	-15.623442°	-43.977195°	250	250	1	4	N
49- Caverna do Morrinho	2	-15.622715°	-43.973832°	350	350	1	38	N
50- Lapa do Índio	2	-15.622800°	-43.965600°	600	600	1	4	N
51- Gruta Zé Avelino I	2	-15.607221°	-44.054907°	2563	2100	2	210	N

Métricas e variáveis ambientais

Os valores de desenvolvimento linear total, desenvolvimento linear amostrado e as dimensões das entradas das cavernas, foram coletados em loco, com auxílio de trena à laser, ou através dos mapas das cavidades. Tais métricas foram utilizadas para calcular a riqueza relativa (Tabela 1).

Para realizar o cálculo do grau de impacto das cavernas, os usos e modificações antrópicas foram levantados para cada caverna e em suas respectivas áreas de entorno (considerando um raio de 250 metros a partir da entrada semelhante ao recomendado na legislação brasileira (Brasil 2004) durante as atividades de campo, através de observação e anotação em cadernetas, seguindo metodologia proposta por Souza-Silva e colaboradores (2015).

Coleta e identificação dos invertebrados cavernícolas

A amostragem de cada caverna foi realizada uma única vez entre os anos de 2014 e 2015, com equipe de coleta composta por quatro biólogos experientes em amostragem de fauna de invertebrados cavernícolas (Souza-Silva et al. 2015)

A coleta se deu por busca e coleta ativa em toda a extensão acessível das cavernas, incluindo micro-habitats com acúmulo de recursos orgânicos, espaços sob rochas, espeleotemas e poças. Devido às grandes dimensões, algumas cavernas não tiveram todo o seu desenvolvimento linear amostrado (Tabela 1). A captura dos organismos foi realizada com auxílio de peças, pincéis e redes de mão, sendo que os indivíduos coletados foram armazenados em recipientes contendo álcool 70%.

Todos os indivíduos foram separados em morfótipos, que, com auxílio de chaves de identificação, foram identificados ao menor nível taxonômico acessível. Os grupos Acari, Amblypygi, Amphipoda, Araneae, Collembola, Diplopoda, Opiliones e Palpigradi, foram enviados a especialistas, a fim de refinamento taxonômico.

A determinação de características consideradas troglomórficas foi feita utilizando critérios definidos em artigos de descrição de espécies aparentadas aos organismos encontrados. (Pinto-da-Rocha 1996, Baptista e Giupponi 2003, Souza e Ferreira 2010, Pellegrini e Ferreira 2011, Brescovit et al. 2012, Hoch e Ferreira 2012, Prevorecnik et al. 2012,

Ratton et al. 2012, Iniesta e Ferreira 2013, 2015, Bastos-Pereira e Ferreira 2015). Os troglomorfismos são específicos para cada grupo, porém algumas convergências são frequentemente observadas, como: ausência de olhos, alongamento de apêndices locomotores e sensoriais, despigmentação, redução de asas, aumento do tamanho corporal e aumento do número de tricobótrias (Christiansen 1962, Barr 1968, Hoch e Ferreira 2012, Novak et al. 2012).

Relevância biológica, grau de impactos e vulnerabilidade das cavernas

Para definir as cavernas prioritárias para receber ações de conservação, foi utilizado o Índice de Prioridade para Conservação de Cavernas – iPCC (Souza-Silva et al. 2015), com adaptações para o cálculo da riqueza relativa.

O iPCC é calculado com base na relevância biológica e no grau de impacto antrópico ao qual a caverna está sujeita, sendo seu resultado a categoria de vulnerabilidade das cavernas e sua fauna.

Relevância biológica

A relevância biológica de cada caverna é resultado de diferentes “modalidades” de riqueza; riqueza de espécies troglóbias, riqueza total de espécies e riqueza relativa ((riqueza total / desenvolvimento linear amostrado) / soma da área das entradas.). Tais modalidades de riqueza foram categorizadas em baixa, média, alta e extremamente alta, e definidas de acordo com o maior valor da modalidade de riqueza, que foi dividido por quatro e o valor obtido, utilizado como intervalo entre as categorias (Tabela 2). Deste modo, riqueza total foi categorizada com base na maior riqueza encontrada (158 espécies). Os intervalos definidos foram: de zero a 39 espécies (baixa riqueza), de 40 a 79 espécies (média riqueza), 80 a 119 espécies (alta riqueza) e 120 a 158 espécies (extremamente alta riqueza) (Tabela 2).

Para categorizar a riqueza de espécies troglóbias, os intervalos também foram definidos com base na maior riqueza (dez espécies). As cavernas de baixa riqueza de troglóbios foram aquelas que apresentaram zero ou uma espécie, com média riqueza as que apresentaram de duas a

quatro espécies, de alta as que apresentaram de cinco a sete espécies e de extremamente alta as que apresentaram de oito a dez espécies (Tabela 2).

Por fim, o maior valor obtido para a riqueza relativa foi de 1,89 e as classes foram: 0 a 0,47 (baixa); 0,48 a 0,94 (média); 0,95 a 1,41 (alta) e 1,42 a 1,89 (extremamente alta).

Para calcular a relevância biológica, foram atribuídos pesos às categorias. A riqueza de troglóbios e a riqueza relativa ganharam peso “1” quando foram categorizadas como baixas, “2” quando categorizadas como média, “3” quando alta e “4” quando extremamente alta. Já em relação à riqueza total, a categoria baixa recebeu peso “2”, média recebeu peso “4”, alta peso “6” e extremamente alta peso “8”.

Para acessar a relevância biológica final, cada caverna teve o peso das categorias das três riquezas somado e o resultado foi reclassificado nas categorias baixa, média, alta e extremamente alta. Os pesos atribuídos para a relevância biológica final foram um, dois, três e quatro. As cavernas categorizadas como de baixa relevância biológica final foram as que obtiveram a soma três para os pesos das riquezas, as com relevância biológica média obtiveram a soma quatro, cinco ou seis, com relevância biológica alta obtiveram soma sete, oito ou nove e relevância biológica extremamente alta as que obtiveram soma dez, onze ou doze.

Tabela 5: Categorias das riquezas utilizadas para acessar a relevância biológica, onde: Rt = riqueza total, PRt = peso da riqueza total, Rtr = riqueza de troglóbios, PRtr = peso da riqueza de troglóbios, Rr = riqueza relativa (espécies / m²), PRr = peso da riqueza relativa.

Categorias	Relevância Biológica					
	Rt	PRt	Rtr	PRtr	Rr	PRr
Extremamente alta	120 - 158	8	8 - 10	4	1,42 - 1,89	4
Alta	80 - 119	6	5 - 7	3	0,95 - 1,41	3
Média	40 - 79	4	2 - 4	2	0,48 - 0,94	2
Baixa	0 - 39	2	0 - 1	1	0 - 0,47	1

Grau de impacto

Para determinar o grau de impacto, foram levantados os impactos gerados por usos ou modificações antrópicas no interior e entorno das cavernas.

Cada impacto teve seus efeitos classificados e pontuados quanto ao potencial (intenso - peso 2 - ou tênue - peso 1), extensão espacial

(local - peso 1 - ou geral - peso 2) e permanência (ocasional - peso 1- ou constante - peso 3). Para a obtenção do peso final de cada impacto, foi realizada a soma dos pesos distribuídos de acordo com seus efeitos (Tabela 4).

O grau de impacto de cada caverna foi calculado com base na soma do peso final dos seus impactos. Foram criadas quatro categorias com base na caverna que obteve maior valor para a soma dos impactos. A primeira categoria (baixo) foi de zero a 12,5% do maior valor obtido para a soma dos impactos e recebeu peso "1"; a segunda categoria (médio) recebeu peso "2" e vai de 12,6 a 25% do maior valor obtido; a terceira categoria (alto) recebeu peso "3" e vai de 25,1% a 50% do maior valor, e finalmente a quarta categoria (extremamente alto) recebe peso "4" e enquadra todas as cavernas que somam 50,1% ou mais do valor de referência.

Categoria de Vulnerabilidade das cavernas e sua fauna

Para definir as categorias de vulnerabilidade em que as cavernas e sua fauna se inserem, a relevância biológica e o grau de impacto foram somados e redistribuídos em quatro categorias. As cavernas que somaram dois pontos foram categorizadas como de baixa vulnerabilidade, as que somaram três ou quatro pontos foram categorizadas como de média vulnerabilidade, cinco ou seis pontos de alta vulnerabilidade e sete ou oito pontos extremamente alta vulnerabilidade.

Definição das cavernas e áreas prioritárias para conservação

As cavernas prioritárias para conservação foram definidas com base nos valores de extremamente alta vulnerabilidade, apontadas pelo Índice de Prioridade para Conservação de Cavernas - iPCC. As áreas prioritárias para conservação, por sua vez, foram baseadas nas cavernas que apresentaram vulnerabilidade extremamente alta, possuem destaque regional ou são frequentemente utilizadas por espeleólogos e pela comunidade de entorno.

Optamos por utilizar o mesmo critério adotado por Simões e colaboradores (2014) para definir as cavernas prioritárias para conservação do Centro-norte de Minas Gerais, para facilitar as medidas práticas e políticas de conservação, uma vez que os dois trabalhos

abordam regiões justapostas, pertencentes a um mesmo grupo carbonático e à mesma bacia hidrográfica.

Comparação de índices

A fim de analisar a aplicabilidade dos três últimos índices utilizados para a conservação de cavernas no Brasil, que foram propostos por Donato et al. (2014) (Índice de Status de Conservação), Simões et al. (2014), Souza-Silva et al. (2015) (Índice de Prioridades para Conservação de Cavernas), utilizamos informações do presente estudo, que contempla 51 cavernas na região centro-norte de Minas Gerais e dez outros estudos que englobam cavernas de Norte a Sul do Brasil (Zeppelini Filho et al. 2003, Rheims e Franco 2003, Zampaulo 2010, Bento 2011, Souza-Silva et al. 2011b, 2011c, Souza 2012, Donato et al. 2014, Simões et al. 2014, Gallão e Bichuette 2015). No total obtivemos a riqueza de 578 cavernas inventariadas de norte a sul do Brasil, das quais, mais da metade se concentra nos estados da região sudeste do país.

RESULTADOS

Relevância biológica

Foram encontradas 1523 espécies pertencentes à 47 ordens e distribuídas em pelo menos 193 famílias. De todas as espécies, 94 foram consideradas troglóbias e estão distribuídas em 13 ordens e pelo menos 26 famílias (Tabela 3) (Figura 2). Dos troglóbios encontrados, 9% são aquáticos (oito espécies) e pertencem às famílias Arthesiidae (Amphipoda) e Stytonicidae (Isopoda).

Tabela 6: Táxons e famílias aos quais as espécies encontradas pertencem e as famílias dos troglóbios encontrados com suas respectivas riquezas entre parênteses.

Táxons	Famílias	Troglóbios
Acari	Acaridae, Ameroseiidae, Anystidae, Argasidae, Ascidae, Bdellidae, Cocceupodidae, Cosmochthonidae, Cunaxidae, Diplogyniidae, Ereyneidae, Euphthiracaridae, Heterozerconidae, Histiotomatidae, Hygrobatidae, Ixodidae, Labdostomatidae, Laelapidae, Macrochelidae, Macronyssidae, Microtrombidiidae, Neotenogyniidae, Ologamasidae, Opilioacaridae, Otopheidomaenidae, Podocinidae, Reginacharlottiidae, Rhagidiidae, Schizogyniidae, Scutacaridae, Smaridae, Teneriffiidae, Triophytydeidae, Veigaiidae, N.I.	
Amblypygi	Charinidae, Phrynichidae, Phryniidae	Charinidae (2)
Amphipoda	Artesiidae	Artesiidae (1)
Araneae	Araneidae, Caponiidae, Cavinidae, Clubionidae, Ctenidae, Dipluridae, Filistatidae, Gnaphosidae, Idiopidae, Linifidae, Nesticidae, Ochyroceratidae, Oecobiidae, Oonopidae, Pholcidae, Prodidomidae, Salticidae, Scytodidae, Sicariidae, Sparassidae, Symphytognathidae, Tetrablemmidae, Tetragnathidae, Theraphosidae, Theridiidae, Theridiosomatidae, Uloboridae, N.I.	Ochyroceratidae (6), Oonopidae (3), Prodidomidae (2), Symphytognathidae (1), Tetrablemmidae (2), N.I. (3)
Blattodea	N.I.	
Coleoptera	Carabidae, Coccinellidae, Curculionidae, Dermestidae, Dryopidae, Dytiscidae, Elateridae, Elmidae, Eucnemidae, Histeridae, Hydrophilidae, Lampyridae, Leiodidae, Phengodidae, Ptiliidae, Ptilodactylidae, Ptinidae, Rhizophagidae, Scarabaeidae, Scirtidae, Scydmaenidae, Staphylinidae, Tenebrionidae, N.I.	Rhizophagidae (2), Staphylinidae (3)
Collembola	Arrhopalitidae, Dicyrtomidae, Entomobryidae, Hypogastruridae, Isotomidae, Katianidae, Neanuridae, Onychiuridae, Tomoceridae	Entomobryidae (3), Arrhopalitidae (1), Neanuridae (1)
Diplura	Japygidae, N.I.	
Diptera	Culicidae, Phoridae, Psychodidae, Sciaridae, Cecidomyiidae, Agromyzidae, Ceratopogonidae, Drosophilidae, Agromyzidae, Tipulidae, Dixidae, Xylomyidae, N.I.	
Ephemeroptera	N.I.	
Gastropoda	N.I.	
Geophilomorpha	Geophilidae	
Haplotaaxida	N.I.	
Harpacticoida	N.I.	
Hemiptera	Achilixiidae, Belostomatidae, Cicadellidae, Cixiidae, Cydnidae, Hebridae, Hydrometridae, Mesoveliidae, Naucoridae, Ortheziidae, Reduviidae, Veliidae, N.I.	Mesoveliidae (1)
Hirudinida	N.I.	
Hymenoptera	Formicidae, N.I.	
Isopoda	Armadillidiidae, Platyarthridae, Stylonicidae, N.I.	Armadillidiidae (1), Stylonicidae (7), Trichorhina (3), N.I. (13)
Isoptera	Termitidae, Rhinotermitidae	
Lepidoptera	Erebidae, Tineidae, N.I.	
Lithobiomorpha	N.I.	
Microcoryphia	Machilidae	
Nematoda	N.I.	
Nematomorpha	N.I.	
Neuroptera	Mantispidae, Myrmeleontidae, N.I.	
Odonata	Coenagrionidae, N.I.	
Opiliones	Cosmetidae, Escadabiidae, Gonyleptidae, Sclerosomatidae, N.I.	Escadabiidae (4), Gonyleptidae (4), N.I. (1)
Orthoptera	Gryllotalpidae, Phalangopsidae, N.I.	Phalangopsidae (1)
Ostracoda	N.I.	
Palpigradi	Eukoeneiidae	Eukoeneiidae (5)
Paupoda	N.I.	
Polydesmida	Chelodesmidae, Cyrtodesmidae, Fuhrmannodesmidae, Oniscodesmidae, Paradoxosomatidae, Pyrgodesmidae, N.I.	Fuhrmannodesmidae (3), Oniscodesmidae (1), Pyrgodesmidae (7), N.I. (1)
Protura	N.I.	
Pseudoscorpiones	Chernetidae, Chthonidae, Bochicidae, N.I.	Chthonidae (9), Bochicidae (1)
Psocodea	Lepidopsocidae, Liposcelidae, Prionoglaridae, Psyllipsocidae, N.I.	
Scolopendromorpha	Cryptopidae, Scolopocryptopidae, N.I.	
Scorpiones	Buthidae	
Scutigermorpha	Scutigerae	
Siphonophorida	Siphonophoridae	
Spirobolida	Rhinocricidae, Spirostreptidae, N.I.	
Spirostreptida	Pseudonannolenidae	Pseudonannolenidae (5)
Symphyla	N.I.	
Thysanoptera	N.I.	
Trichoptera	N.I.	
Turbellaria	N.I.	
Zygentoma	Lepismatidae, Nicoletiidae	



Figura 9: Algumas das espécies troglóbias encontradas na região Centro-norte de Minas Gerais, entre parênteses o número da caverna onde a fotografia foi registrada, de acordo com a tabela 1: A) *Trichorhina* sp. (16); B) *Mesoveliidae* sp.1 (18); C) *Zalmoxidae* sp.1 (21); D) *Styloniscidae* sp.1 (10); E) *Trichopolidesmidae* sp.1 (9); F) *Charinus* sp. (39);

G) Escadabiidae sp.1 (9); H) *Pseudonannolene lundi* (30); I) *Iandumoema* sp.1 (19); J) Pyrgodesmidae sp.1 (39); K) *Spelaeogammarus* sp.1 (18); L) Isopoda sp. (35); M) Styloniscidae sp.2 (18); N) Ochiroceratidae sp.1 (10); O) *Spelaeobochica* spn. (3); P) Styloniscidae sp.3 (18); Q) Ochiroceratidae sp.2 (49); R) *Endecous* sp. (30); S) *Iandumoema* sp.2 (39); T) Pselaphinae sp. (34); U) Isopoda sp. (21), V) *Eukoenia* sp.1 (35); W) Styloniscidae sp.4 (43); X) Styloniscidae sp.5 (10); Y) Polydesmida spn. (28); Z) Styloniscidae sp.6 (19); α) Gonyleptidae spn. (37); β) Ochiroceratidae sp.3 (40).

A maior riqueza total (Rt) foi 158 espécies, registrada na Lapa Sem Fim em Luislândia. A menor riqueza total foi 12 espécies, encontrada na caverna da Madeira em Varzelândia (Tabela 5). A média obtida para a riqueza total foi de 61,2 (dp = 30,6). Apenas a Lapa Sem Fim e a Gruta do Engenho Velho foram categorizadas como de extremamente alta riqueza total (PRt = 8), enquanto onze cavernas foram categorizadas como de alta riqueza total (PRt = 6), 23 categorizadas como de média riqueza total (PRt = 4) e 15 categorizadas como de baixa riqueza total (PRt = 2) (Tabela 5).

A maior riqueza de troglóbios (Rtr) foi dez espécies, encontrada na Gruta do Nestor em Itacarambi e na Lapa d'água em Montes Claros. Não houve registro de espécies troglóbias em 20% das cavernas inventariadas (Tabela 5). A média de troglóbios por caverna na região foi de 2,75 (dp = 2,45). Duas cavernas foram categorizadas como de extremamente alta riqueza de espécies troglóbias (PRtr = 4), enquanto oito foram categorizadas como de alta (PRtr = 3), 21 foram categorizadas como de média (PRtr = 2) e 20 categorizadas como de baixa (PRtr = 1) (Tabela 5).

Ao todo, 81% das espécies troglóbias foram *uniques* (76 espécies), ou seja, possuem apenas um registro de ocorrência. A Gruta do Nestor foi a caverna com maior número de *uniques* troglóbios (6), seguida pela Lapa d'água do Zezé (5), ambas no município de Itacarambi (Tabela 5). 21% das cavernas com ocorrência de *uniques* troglóbios estão dentro de unidades de conservação (Tabela 1).

Em relação à riqueza relativa (Rr), o maior valor obtido foi 1,89 espécies por metro quadrado, observada no Sumidouro do Zezinho de Dionila em Ubaí, que foi a única caverna categorizada como de extremamente alta Riqueza relativa (PRr = 4). A Lapa do Nilsinho foi categorizada como de alta riqueza relativa (PRr = 3), enquanto as outras 49 cavernas foram categorizadas como de baixa riqueza relativa (PRr = 1). Nenhuma caverna se enquadrou na categoria de média riqueza relativa (PRr = 2) (Tabela 5).

O maior valor obtido na soma dos pesos das riquezas (ΣPR) foi doze, que corresponde às riquezas da Lapa Sem Fim em Luislândia (Tabela 5). Ao todo, cinco cavernas foram categorizadas como de extremamente alta relevância biológica (RB = 4), 24 foram categorizadas como de alta relevância biológica (RB = 3) e 22 categorizadas como de média relevância biológica (RB = 2). Nenhuma caverna foi considerada de baixa relevância biológica (RB = 1) (Tabela 5).

Impactos observados

Ao todo foram registradas 14 alterações antrópicas ocorrentes nas cavernas estudadas. O impacto mais frequente foi o desmatamento da região de entorno, que foi observado em todas as cavernas estudadas. Na maioria das vezes, o desmatamento estava associado a práticas agropastoris, que foi o segundo impacto mais frequente, ocorrendo em 80% das áreas de entorno das cavernas (Tabelas 4 e 5). A soma dos pesos obtidos para cada impacto, após avaliação de efeito, potencial, permanência e extensão, variou de um a nove (Tabela 4) (Figura 3).

Tabela 7: Lista dos impactos observados nas 51 cavernas do estudo; percentual de ocorrência do impacto nas cavernas (Cav.I.), número de referência (Ref); efeitos causados por cada impacto (Ef) onde a = depleção, b = enriquecimento, c = modificação; Potencial (Pot) onde T = tênue e I = intenso; permanência (Perm) onde O = ocasional e C = constante; Extensão (Ext) onde L = local e G = geral. As colunas P indicam o peso referente aos atributos apontados pela coluna imediatamente à esquerda e P final representa o peso acumulado pelos efeitos de cada impacto.

Impactos observados	Cav.I.	Ref	Ef	Pot	P	Perm	P	Ext	P	P final
Extração mineral antiga	25%	1	c+a	T	1+1	C	3	L	1	6
Locais com construção	12%	2	c	I	2	O	1	L	1	4
Desmatamento do entorno	100%	3	c	-	-	-	-	-	-	1
Práticas agropastoris	80%	4	c	-	-	-	-	-	-	1
Exploração de drenagem	12%	5	a	I	2	C	3	L	1	6
Poluição de drenagem	6%	6	c	I	2	C	3	G	2	7
Erosão	16%	7	a+c	T	1+1	C	3	G	2	7
Lixo / entulho	75%	8	c	I	2	C	3	G	2	7
Pichação	69%	9	c	T	1	O	1	L	1	3
Atividade de mineração próxima	6%	10	a+c	I	2+2	C	3	G	2	9
Estradas nas proximidades	25%	11	c	T	1	C	3	L	1	5
Assoreamento	22%	12	c	I	2	C	3	L	1	6
Atropelamento de fauna / compactação do solo	43%	13	c	I	2	C	3	G	2	7
Vandalismo aos espeleotemas	14%	14	c	T	1	O	1	L	1	3

A caverna que somou o maior número de pesos para os impactos foi a Gruta Sumitumba, localizada em Coração de Jesus, que acumulou nove impactos e somou 40 pontos de peso (Tabela 5). A relação de impactos observados em cada caverna é exposta na tabela 5.

Ao todo, 20 cavernas foram categorizadas com grau de impacto extremamente alto, 19 com grau de impacto alto, oito com grau de impacto médio e quatro com grau de impacto baixo (Tabela 5).

Destacam-se as cavernas Lapa d'água do Zezé e Caverna da água do João Ferreira, ambas situadas no município de Itacarambi. Estas duas cavernas estão nos limites do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, entretanto, suas entradas apontam para propriedades vizinhas ao parque. Grande parte do entorno destas cavernas, foi substituído por pastagens. Observamos também, captação de água no interior das cavernas, que aparentemente é praticada à anos da mesma maneira. Entretanto, é importante que estudos, voltados ao monitoramento dos efeitos da captação de água para estas comunidades, sejam realizados a fim de evitar impactos severos às populações (Figura 3 E e G).

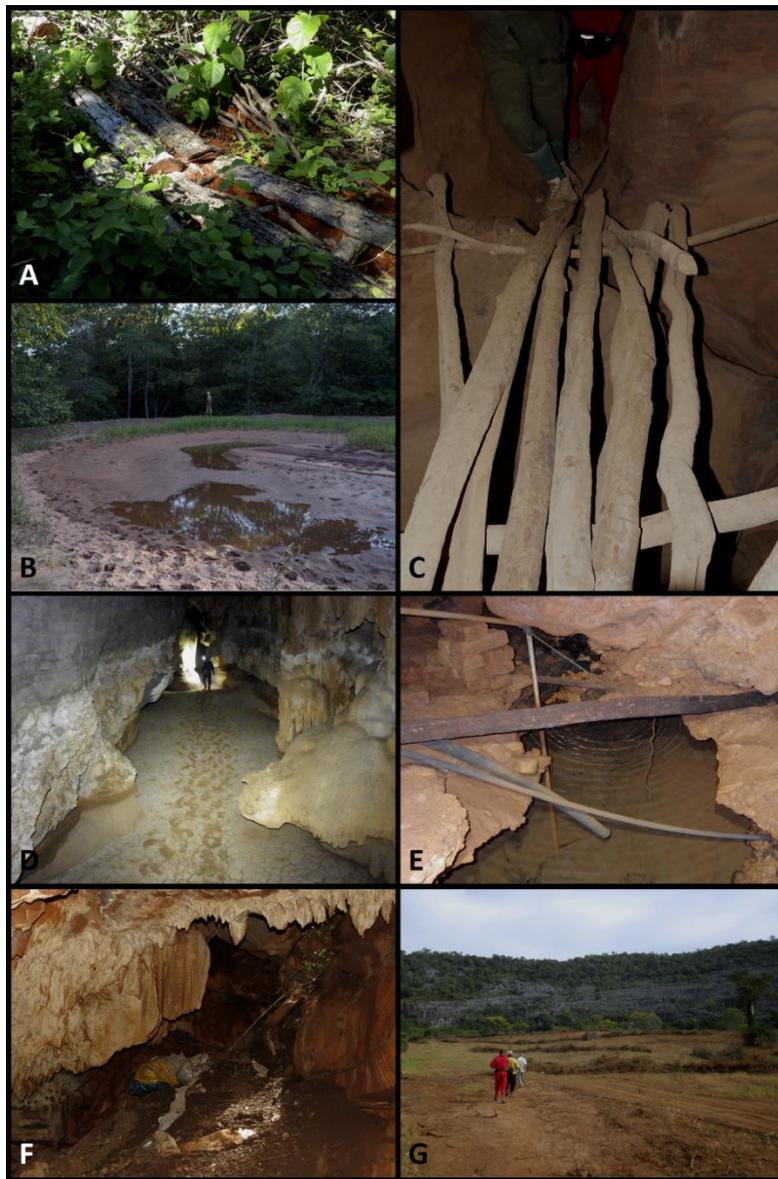


Figura 10: Alguns exemplos de impactos observados nas cavernas e seu entorno. A = Corte seletivo de madeira no entorno das cavernas de Jequitaí; B = Bebedouro para gado próximo à entrada da Lapa Sem Fim; C = Ponte de madeira antiga instalada por mineradores na Caverna da Madeira; D = Intenso pisoteamento na Lapa d'água de Montes Claros ; E = Captação de água na Caverna da água do João Ferreira; F = Lixo descartado em uma das entradas da Gruta Mamoneiras; G = substituição da vegetação nativa do entorno por pasto próximo às cavernas Lapa d'água do Zezé, Gruta do Nestor e Caverna da água do João Ferreira.

Tabela 8: Dados utilizados para a aplicação do IPCC, vulnerabilidade das cavernas de acordo com o IPCC e a riqueza de unives troglóbios. (CodM = município da caverna inventariada de acordo com figura 1, Rt = riqueza total, CRt = categoria da riqueza total, Rtr = riqueza de troglóbios, CRtr = categoria da riqueza de troglóbios, Rr = riqueza relativa, CRr = categoria da riqueza relativa, Σ PR = soma dos pesos das categorias obtidas para as riquezas, RB = relevância biológica da caverna, I (Ref) = impactos observados na caverna de acordo com a referência da tabela 4, Σ PI = soma dos pesos dos impactos observados, GI = grau de impacto da caverna, RB+GI = soma da relevância biológica ao grau de impacto, IPCC = Vulnerabilidade das cavernas, RUtr = riqueza de unives troglóbios.

Nome da Caverna	CodM	Rt	CRt	Rtr	CRtr	Rr	CRr	Σ PR	RB	I (Ref)	Σ PI	GI	RB+GI	IPCC	RUtr
Gruta Mamoneiras	8	57	M	1	B	0,0110	B	6	M	3,4,8,9,12,14,15	27	EA	6	A	0
Lapa do Coronel	15	42	M	0	B	0,0328	B	6	M	3,4,8,14	16	A	5	A	0
Lapa da lagoa	15	72	M	1	B	0,1000	B	6	M	3,4,9,14,15	15	A	5	A	1
Lapa Cigana	9	59	M	3	M	0,0524	B	7	A	1,3,4,8,9,14	25	EA	7	EA	2
Gruta Sumitumba	9	82	A	2	M	0,0164	B	9	A	1,2,3,4,5,7,8,9,12	40	EA	7	EA	2
Lapa do Espigão	9	73	M	2	M	0,0063	B	7	A	1,3,4,8,9,12,14,15	33	EA	7	EA	2
Lapa de Maria Cobra	9	92	A	0	B	0,0014	B	8	A	3,4,5,6	15	A	6	A	0
Gruta do Espigão II	9	42	M	0	B	0,0263	B	6	M	1,3,4,8,9,12,14,15	33	EA	6	A	0
Gruta da Antonina II	16	64	M	0	B	0,0097	B	6	M	3,4,8,9,13,14	25	EA	6	A	0
Gruta Antonina	16	84	A	3	M	0,0043	B	9	A	3,4,8,9,13	18	A	6	A	0
Saco Curto	16	64	M	5	A	0,0492	B	8	A	3,4,8,9,11	21	A	6	A	3
Saco Comprido	16	118	A	2	M	0,0047	B	9	A	3,4,8,9,11,14	28	EA	7	EA	0
Gruta São José I	3	92	A	0	B	0,0014	B	8	A	3,8	8	M	5	A	0
Gruta São José II	3	22	B	0	B	0,0018	B	4	M	3,4,8	9	M	4	M	0
Gruta São José III	3	76	M	1	B	0,0033	B	6	M	3,8,9	11	M	4	M	1
Lapa do Baianinho	3	51	M	2	M	0,0019	B	7	A	3,4,8,9	12	A	6	A	1
Lapa do Marmelo	1	27	B	2	M	0,0375	B	5	M	3,4,8	9	M	4	M	0
Lapa d'água do Zezé	1	76	M	7	A	0,0118	B	8	A	2,3,4,5,8,14	26	EA	7	EA	5
Cav. da água do J. Ferreira	1	30	B	5	A	0,0080	B	6	M	1,2,3,4,5,8,9,14	35	EA	6	A	4
Lapa do Cipó	1	63	M	4	M	0,0016	B	7	A	2,3,8,9,11	24	EA	7	EA	2
Gruta do Nestor	1	70	M	10	EA	0,0010	B	9	A	1,3,4,8,9	18	A	6	A	6
Lapas da Lagoinha	11	48	M	0	B	0,0068	B	6	M	3,4,8,9	12	A	5	A	0
Lapa do Dim	11	37	B	1	B	0,0007	B	4	M	3,4,9	5	B	3	M	1
Lapa do Sol	11	39	B	1	B	0,3759	B	4	M	3,4	2	B	3	M	0
Gruta Buraco da Chuva	11	40	M	1	B	0,1333	B	6	M	3,4,13	8	M	4	M	1
Lapa d'água	14	68	M	2	M	0,0340	B	7	A	3,4,7,9,13	18	A	6	A	0
Gruta do Engenho Velho	14	121	EA	3	M	0,0120	B	11	EA	3,4,9,13	11	M	6	A	1
Gruta do Apartamento	4	101	A	3	M	0,0616	B	9	A	3,4,8,9,13	18	A	6	A	2
Cav. Faz. de J. Rodrigues	7	60	M	4	M	0,0098	B	7	A	3,4,8,9,12,14	24	EA	7	EA	3
Lapa Sem Fim	7	158	EA	5	A	0,0023	B	12	EA	3,4,7,8,9,13,14	32	EA	8	EA	3
Lapa Dágua	10	105	A	10	EA	0,0011	B	11	EA	3,8,9,14,15	21	A	7	EA	4
Lapa Claudina	10	82	A	4	M	0,0025	B	9	A	3,4,8,9,14	19	A	6	A	2
Lapa dos Cristais	10	44	M	4	M	0,0275	B	7	A	3,9,12,14	16	A	6	A	3
Boqueirão da Nascente	10	68	M	7	A	0,0006	B	8	A	2,3,5	11	M	5	A	0
Lapa Grande	10	57	M	6	A	0,0002	B	8	A	1,2,3,8,9,14	28	EA	7	EA	2
Lapa da Santa	10	55	M	3	M	0,0033	B	7	A	3,4,8,9,14	19	A	6	A	1
Lapa do Cedro	10	29	B	4	M	0,0008	B	5	M	3,4,8,9,12,14	24	EA	6	A	3
Lapa Encantada	10	82	A	5	A	0,0002	B	10	EA	3,4,5,6,7,8,9,13,14	45	EA	8	EA	2
Lapa d'Água	17	67	M	5	A	0,0014	B	8	A	3,4,9,12	10	M	5	A	4
Caverna do Morro Grande	13	41	M	4	M	0,1039	B	7	A	3,4,7,12	14	A	6	A	2
Caverna do Lago	13	28	B	4	M	0,0095	B	5	M	3,4	2	B	3	M	2
Caverna do Mocarorô	12	29	B	3	M	0,0411	B	5	M	3,4,9	5	B	3	M	1
Gruta Mãe de Ná	5	29	B	1	B	0,0806	B	4	M	1,3,4,8,12,15	23	EA	6	A	1
Lapa do Nilsinho	6	99	A	0	B	1,0313	A	10	EA	3,4,7,8,12	21	A	7	EA	0
Cav.do Zezinho de Dionila	6	34	B	0	B	1,8889	EA	7	A	3,4,7,8,12	21	A	6	A	0
Gruta da Porteira	2	28	B	1	B	0,0187	B	4	M	1,3,4,8,9	18	A	5	A	1
Caverna da Madeira	2	12	B	0	B	0,0004	B	4	M	1,3,8,13,14	27	EA	6	A	0
Gruta da Gameleira	2	32	B	1	B	0,0320	B	4	M	1,3,4,9,8	18	A	5	A	1
Caverna do Morrinho	2	34	B	4	M	0,0026	B	5	M	1,3,8,9,12,15	25	EA	6	A	4
Lapa do Índio	2	25	B	1	B	0,0104	B	4	M	1,3,8,13,14	27	EA	6	A	1
Gruta Zé Avelino I	2	112	A	3	M	0,0003	B	9	A	3,4,6,7,8,9,13,14	39	EA	7	EA	2

Vulnerabilidade das cavernas e áreas prioritárias para conservação

Ao todo, 13 cavernas foram categorizadas como de extremamente alta vulnerabilidade, 30 como de alta e oito como de média, de acordo com o IPCC (Tabela 5) (Figura 4).

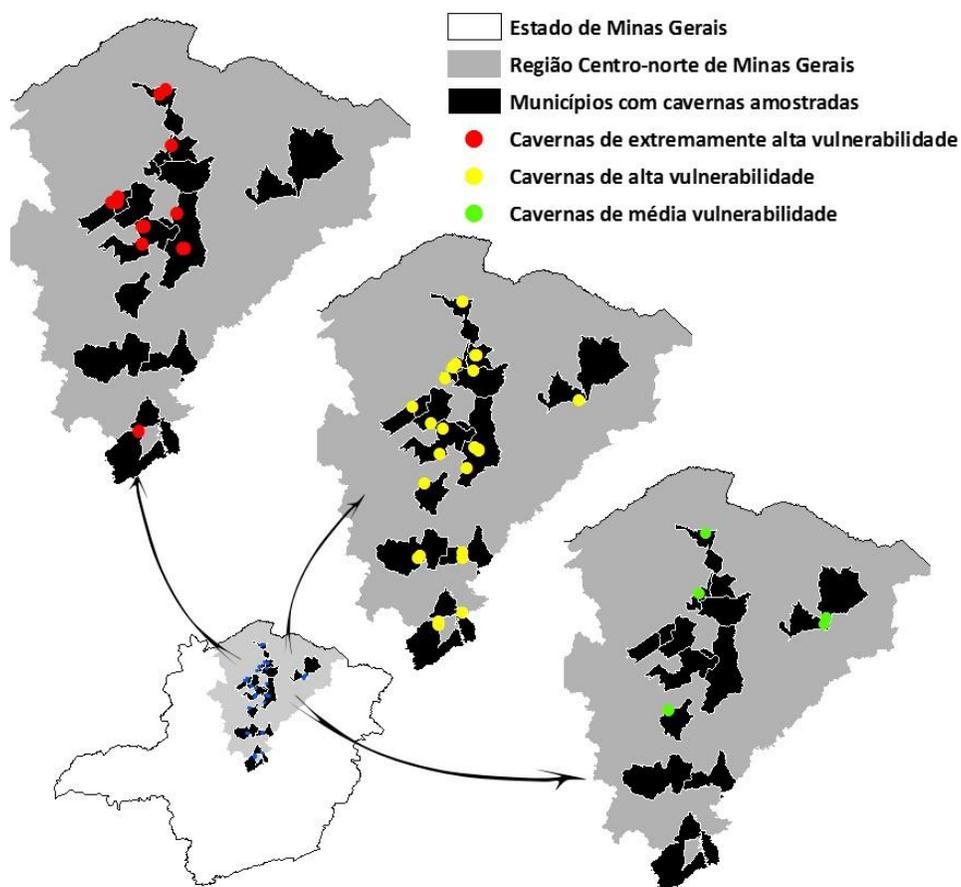


Figura 11: Distribuição das cavernas que foram diagnosticadas como de extremamente alta, alta e média prioridade para conservação na região Centro-norte de Minas Gerais.

Os municípios que apresentaram cavernas de extremamente alta vulnerabilidade foram Montes Claros e Coração de Jesus, com três cavernas cada. Itacarambi e Luislândia apresentaram duas, Curvelo, Ubaí e Varzelândia apenas uma (Tabela 6). As 13 cavernas de vulnerabilidade extremamente alta foram consideradas prioritárias para conservação e estão na bacia do São Francisco. Quatro destas já estão inseridas em

unidades de conservação, sendo duas no Parque Estadual da Lapa Grande (Lapa Grande e Lapa d'água) e duas no Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (Lapa d'água do Zezé e Lapa do Cipó). As outras nove cavernas necessitam de medidas emergenciais de conservação. Algumas medidas foram sugeridas, levando em consideração as peculiaridades observadas em cada caverna (Tabela 6).

Duas áreas prioritárias para conservação foram sugeridas. Estas, além de apresentarem elevada relevância biológica, elevado grau de impacto e conseqüentemente vulnerabilidade extremamente alta, são frequentemente visitadas por espeleólogos e pelas comunidades locais.

A região da Lapa do Espigão, no município de Coração de Jesus, contempla duas cavernas cadastradas cuja distância das entradas é de aproximadamente 150 m. Provavelmente, existem outras cavernas ainda não cadastradas na região de entorno, que precisa ser prospectada. Duas espécies de *uniques* troglóbios foram encontradas na Lapa do Espigão. A Lapa Sem Fim, maior caverna de Minas Gerais, com mais de 11.000 metros de condutos, apresentou a maior riqueza do estudo, sendo que somente cerca de 20% de sua extensão foi amostrada. Das cinco espécies troglóbias encontradas, três são *uniques*. Para ambas áreas seria recomendável a criação de alguma unidade de conservação, como RPPN ou Monumento Natural.

Tabela 9: Prioridades para conservação e as recomendações necessárias à cada uma delas (CodM = código do município, de acordo com a figura 1).

CodM	Áreas de extrema prioridade para conservação	Recomendações
10	Região da Lapa Grande e Lapa d'água	- Plano de manejo individual para as cavernas abertas à visitação; - Educação ambiental, abordando patrimônio espeleológico, nas comunidades do município; - Estudo da fauna cavernícola nas outras cavernas do Parque Estadual da Lapa Grande.
	Região da Lapa encantada	- Monitorar a bacia que direciona água para a caverna; - Reflorestar a área de entorno com espécies nativas; - Estudar o impacto da captação de água para as comunidades da caverna; - Educação ambiental abrangendo o patrimônio espeleológico nas comunidades do município.
9	Região da Lapa Cigana	- Reflorestar a área de entorno com espécies nativas; - Educação ambiental, abordando patrimônio espeleológico, nas comunidades do município.
	Região da Gruta Sumitumba	- Reflorestar a área de entorno com espécies nativas; - Monitorar a influência do barramento de água e da captação para as comunidades da caverna; - Educação ambiental, abordando patrimônio espeleológico, nas comunidades do município;
	Região da Lapa do Espigão	- Criar uma unidade de conservação municipal, categoria sugerida: Parque; - Reflorestar a área de entorno com espécies nativas; - Educação ambiental, abordando patrimônio espeleológico, nas comunidades do município.
1	Região da Lapa d'água do Zezé	- Aumentar a fiscalização nos limites do parque; - Reflorestar a área de entorno com espécies nativas; - Educação ambiental, abordando patrimônio espeleológico, nas comunidades do município; - Estudar o impacto da captação de água para as comunidades da caverna; - Instalar filtros que impeçam a passagem da fauna aquática pelos tubos de captação ou captar água de local apropriado.
	Região da Lapa do Cipó	- Plano de manejo individual para as cavernas cuja visitação é permitida; - Educação ambiental, abordando patrimônio espeleológico, nas comunidades do município; - Aumentar a fiscalização nos limites do parque.
7	Região da Lapa Sem Fim	- Criar unidade de conservação, categorias sugeridas: Monumento natural ou Reserva Particular do Patrimônio Natural; - Reflorestar a área de entorno com espécies nativas; - Educação ambiental, abordando patrimônio espeleológico, nas comunidades do município;
	Região da Cav. da Faz. do Joaquim Rodrigues	- Plano de manejo detalhado, com roteiros variados para os públicos diversos. - Reflorestar a área de entorno com espécies nativas; - Educação ambiental, abordando patrimônio espeleológico, nas comunidades do município; - Plano de manejo detalhado.
2	Região da Gruta Zé Avelino	- Monitorar a bacia que direciona água para a caverna; - Reflorestar a área de entorno com espécies nativas; - Educação ambiental abrangendo o patrimônio espeleológico nas comunidades do município.
6	Região da Lapa do Nilsinho	- Reflorestar a área de entorno com espécies nativas; - Educação ambiental abrangendo o patrimônio espeleológico nas comunidades do município.
16	Região da Lapa do Saco Comprido	- Reflorestar a área de entorno com espécies nativas; - Educação ambiental voltada à importância do patrimônio espeleológico nas comunidades do município; - Plano de manejo detalhado.

DISCUSSÃO

As cavernas tropicais são em grande parte ameaçadas por atividades minerárias (Zampaulo 2010, Donato et al. 2014), que podem até mesmo ocasionar a destruição completa destes ambientes, e atividades agropastoris, que frequentemente substituem a vegetação de entorno por monoculturas (Simões et al. 2014, Souza-Silva et al. 2015). Tais ameaças, podem ocasionar grandes perdas para a ainda pouco conhecida biodiversidade subterrânea, que de forma geral apresenta elevado grau de endemismos (Christman et al. 2005). Além das diversas espécies troglóbias, as cavernas também abrigam muitas espécies que exercem importantes serviços ecossistêmicos, como por exemplo controladores de pragas, dispersores de sementes e polinizadores (Boulton et al. 2008, Kunz et al. 2011, Guimarães 2014), o que torna a conservação das cavernas e das características fundamentais à manutenção de sua fauna, ainda mais importante.

Relevância Biológica

Diversas cavernas foram amostradas com metodologias similares em diferentes regiões do Brasil, os resultados destas amostragens demonstram que a riqueza da fauna das cavernas é heterogênea de região para região do Brasil. Em Altinópolis, na região norte do estado de São Paulo, a média obtida foi de 19 espécies (dp = 11,32) por caverna (Zeppelini Filho et al. 2003). Em Pains, região Centro-oeste do estado de Minas Gerais, a média obtida foi de 35 espécies (dp = 19,04) por caverna (Zampaulo 2010). Em Luminárias, Centro-sul de Minas Gerais, a média obtida foi de 31 espécies (dp = 14,57) (Souza-Silva et al. 2011c). Em Cordisburgo, região Central de Minas Gerais, a média de riqueza obtida foi de 80 espécies (dp = 47,86) (Souza 2012). Na região Noroeste do estado de Minas Gerais, a média de riqueza encontrada foi de 63 espécies (dp = 19,09) (Simões et al. 2014). Na região Oeste do estado do Rio Grande do Norte, a média de riqueza obtida foi de 38 espécies 9 (dp = 13,83) (Bento 2011). A média de riqueza obtida nas cavernas da região Centro-norte de Minas Gerais se aproxima da obtida na região noroeste, encontrada por Simões e colaboradores (2014), também em Minas Gerais. Possivelmente, essa semelhança é influência do grupo litológico e da proximidade das áreas, uma vez que as duas regiões abrangem, em grande parte, o Grupo Bambuí e são justapostas. Em relação às espécies

troglóbias, a região estudada apresentou a terceira maior média de riqueza para troglóbios do Brasil, perdendo apenas para a região de Cordisburgo, que apresentou em média 3,8 espécies por caverna (Souza 2012) e para a região do quadrilátero ferrífero, onde as cavernas ferruginosas apresentaram, em média, 5,79 espécies (Souza-Silva et al. 2011b).

Mais de 80% das cavernas inventariadas neste estudo apresentaram registros únicos para troglóbios (*uniques*). Espécies troglóbias, em geral, apresentam alto grau de endemismos (Christman et al. 2005), embora existam raros casos de espécies desta categoria com ampla distribuição (Christman et al. 2005). Das espécies troglóbias que obtiveram registros de ocorrência em mais de uma cavidade, apenas 22% foram encontradas em cavernas de diferentes municípios (3 colêmbolos e 1 pseudoescorpião). Todos os demais troglóbios não *uniques*, ocorreram em cavernas geograficamente próximas, o que corrobora com o padrão observado por Christman e colaboradores (2005), que mencionaram que quanto mais densa a amostragem de cavernas em uma mesma região, menor a probabilidade de ocorrência de *uniques*, e mais verídico o diagnóstico dos endemismos. Corroborando o elevado grau de endemismo das espécies troglóbias, as duas cavernas que mais apresentaram *uniques* troglóbios estão geograficamente muito próximas, inseridas na mesma borda de maciço, no município de Itacarambi (distanto cerca de 800 metros). Por outro lado, deve-se considerar que o número de cavernas inventariadas é reduzido em comparação com o número de registros conhecidos para a área de estudo (404 cavernas). Assim, alternativamente, o elevado grau de registros únicos observados para os troglóbios na região Centro-norte de Minas Gerais, pode ser reflexo da distância geográfica entre as cavernas inventariadas. Desta forma, somente com a intensificação de amostragens nas cavernas desta região, será possível diagnosticar, com acurácia, o real grau de endemismo das diferentes espécies encontradas neste trabalho.

Impactos observados

Por mais que em muitas regiões do Brasil, as atividades minerárias sejam frequentemente responsáveis por diversos impactos nas cavernas (Zampaulo 2010, Donato et al. 2014), tais atividades não foram observadas no presente estudo. O impacto mais frequentemente

observado nas cavernas inventariadas foi o desmatamento, seguido das atividades agropastoris.

A substituição da paisagem de entorno por atividades agropastoris, além de reduzir a heterogeneidade da matriz, diminui a diversidade de espécies e ocasiona, potencialmente, a utilização de químicos controladores de pragas e fertilizantes (Parise e Pascali 2003, Neill et al. 2004). Os químicos utilizados nas paisagens adjacentes às cavernas, podem ser lixiviados para o interior da caverna pela água das chuvas, ou penetrar o solo, atingindo o lençol freático que se conecta às águas subterrâneas podendo chegar aos ambientes cavernícolas. A alteração dos padrões físico-químicos da água, muitas vezes altera a estrutura das comunidades subterrâneas, podendo até mesmo levar espécies endêmicas à extinção (Neill et al. 2004).

A presença de lixo, constatada em grande parte das cavernas deste estudo, é também recorrente em diferentes regiões do Brasil. Em todos os estudos supracitados que avaliaram impactos antrópicos em cavernas brasileiras foi constatada a presença de lixo em algumas cavernas (Zampaulo 2010, Bento 2011, Souza 2012, Simões et al. 2014). Cavernas turísticas, além de apresentarem lixo aparentemente descartado pelos visitantes, podem possuir resíduos da própria adequação da caverna para visitação, como é relatado por Souza (2012), que encontrou lâmpadas, restos de fiação e de construções de alvenaria. Descarte de materiais e carcaças de animais em cavernas, ou até mesmo o transporte de lixo para o interior da caverna por ação da água, é relatado em diversos países (Beynen e Townsend 2005). O lixo, dependendo de sua composição, pode contaminar micro-habitats, aumentar os recursos orgânicos (eutrofizando sistemas primordialmente oligotróficos) e alterar a estrutura das comunidades.

Outro impacto recorrente, observado em 12% das cavernas inventariadas, é a exploração dos recursos hídricos das cavernas. De maneira geral, as cavernas fazem parte do sistema hidrológico da região que se desenvolvem (Milanovic 2005, Ford e Williams 2007). Atuam no escoamento da água das chuvas, recarga de drenagens, aquíferos e frequentemente, possuem drenagens ativas (Beynen e Townsend 2005, Milanovic 2005). A exploração dos recursos hídricos de uma caverna pode resultar em modificações dos padrões de fluxo e nível da água devido ao barramento das drenagens, muitas vezes construídos para viabilizar a exploração da água. Além disso, pode reduzir ou aumentar

fluxo de nutrientes, interromper a passagem de indivíduos de jusante para montante, restringindo ou até mesmo interrompendo o fluxo gênico de populações, além de modificar o hábitat de condutos adjacentes que anteriormente eram secos e passam a ser submersos (Beynen e Townsend 2005).

Quase metade das cavernas apresentaram trechos com compactação do solo. Praticamente todas as atividades que exigem visita à caverna, mesmo a pesquisa, contribuem para a compactação dos sedimentos em diferentes regiões de uma caverna. Na caverna turística Lapa d'água (Montes Claros), é notável a existência de grandes extensões de solo compactado. A compactação do solo reduz sua permeabilidade, favorecendo alagamentos na superfície e condições anóxicas no subsolo, que prejudicam várias espécies, principalmente microrganismos (Beynen e Townsend 2005). A compactação do solo na porção epígea dos sistemas cársticos também prejudica o ambiente hipógeo, pois reduz potencialmente o fluxo de água para o epicarste, podendo alterar a taxa de recarga do aquífero e a taxa de crescimento dos espeleotemas (Beynen e Townsend 2005). Compactação do solo, depredação de espeleotemas e pichações são impactos frequentemente observados em cavernas turísticas (Lobo 2006).

Conservação e prioridades para conservação no eixo Centro-norte de Minas Gerais

Dos municípios amostrados, apenas Buenópolis, Itacarambi, Montes Claros e Rio Pardo de Minas possuem unidades de conservação (Brasil 2016). No entanto, foram inventariadas cavernas apenas no Parque Nacional Cavernas do Peruaçu e no Parque Estadual da Lapa Grande. Das cavernas cadastradas para os municípios do estudo (404 cavernas) 28% encontram-se inseridas em unidades de conservação (113) (CECAV 2016). É válido lembrar, no entanto que, como já mencionado, as cavernas cadastradas representam um número ínfimo da real quantidade existente (Auler e Piló 2011) e que os parques citados, são voltados para o espeleoturismo, o que os torna melhor prospectados que o restante das áreas amostradas. Das 94 espécies troglóbias encontradas, 40,4% ocorrem em cavernas já inseridas em unidades de conservação, o que não significa que estejam integralmente protegidas.

Em algumas cavernas de Itacarambi, a água tem sido explorada para fins de consumo humano, animal ou para irrigação, o que pode trazer risco às populações de espécies estigóbias. Algumas destas cavernas localizam-se nos limites do PARNA Cavernas do Peruaçu, e estudos deveriam ser conduzidos no intuito de se verificar a viabilidade de tais práticas e o seu potencial impacto sobre populações subterrâneas. Nas cavernas do Parque Estadual da Lapa Grande, as espécies presentes em cavernas turísticas estão ameaçadas pela visitação, uma vez que tais cavernas não possuem ainda plano de manejo detalhado, que leve em consideração sua fauna. Para tal, é necessário avaliar a mudança sazonal da distribuição das populações e seus recursos tróficos, para que, com uma margem segura, sejam mapeadas as áreas ideais para visitação.

Para as cavernas de extremamente alta vulnerabilidade é importante que seja realizado reflorestamento das paisagens adjacentes com espécies nativas; educação ambiental à população dos municípios, mas principalmente das comunidades de entorno e, em casos de cavernas influenciadas por drenagens alogênicas, monitoramento das microbacias adjacentes. As duas áreas prioritárias para conservação, ocorrem em municípios que não possuem unidades de conservação. Tanto a Lapa do Espigão, quanto a Lapa Sem Fim, estão com a paisagem adjacente completamente modificada, e necessitam de reflorestamento.

Apesar de ter sido utilizado neste trabalho o índice de vulnerabilidade para definir as cavernas prioritárias, a legislação brasileira, desde 2008, utiliza outros critérios para valorar as cavernas (Brasil 2008). Quanto aos atributos biológicos avaliados pela legislação, o principal para impedir que uma caverna sofra impactos irreversíveis é a presença de espécies troglóbias com acentuado grau de endemismo (Brasil 2009). Os troglóbios considerados “raros”, nas diretrizes da legislação, são aqueles que ocorrem em até três cavernas. Este limite arbitrário, surgiu do consenso de pesquisadores e empreendedores do setor minerário em 2011.

Se o presente estudo tivesse a finalidade de valorar as cavernas inventariadas como estabelecido por lei, apenas pela raridade das espécies troglóbias, 37 das 51 cavernas seriam categorizadas como de relevância máxima (Brasil 2009). A legislação brasileira estabelece que cavernas de máxima relevância e seu raio de influência, não podem sofrer quaisquer impactos irreversíveis (Brasil 2008). O raio de influência sugerido pela legislação é de 250m tomados a partir da projeção da caverna no

ambiente externo (Brasil 2004), que, em alguns casos, pode garantir a conservação de um maior número de cavernas. A conservação de cavernas e seu raio de influência protege pequenos fragmentos de paisagem, que permitem que o aporte de matéria orgânica aos organismos cavernícolas não seja interrompido. Além disso, estes fragmentos servem de refúgio também para diversas espécies epígeas, principalmente de invertebrados e facilitam a dispersão da biodiversidade regional (Tschardt et al. 2002).

Aplicabilidade de índices para a conservação do patrimônio espeleológico brasileiro

Nos últimos anos, diversos índices foram criados com a finalidade de nortear a conservação do patrimônio espeleológico. Os três mais recentes, que levam em consideração a biodiversidade dos sistemas cavernícolas, são: *Índice de status de conservação* (Donato et al. 2014), o índice utilizado por Simões e colaboradores para definir áreas prioritárias para conservação no noroeste de Minas Gerais (Simões et al. 2014) e o *Índice de cavernas prioritárias para conservação* (Souza-Silva et al. 2015). Das três metodologias de avaliação, a que melhor avaliou e distribuiu pesos à biodiversidade de invertebrados cavernícolas, de acordo com o enfoque desse trabalho, foi o Índice de cavernas prioritárias para conservação (Souza-Silva et al. 2015).

A biodiversidade de invertebrados, obtida através de amostragem sistêmica nas cavernas, é pouco contributiva para o resultado final do índice proposto por Donato e colaboradores (2014), uma vez que o mesmo pontua a presença de espécies com características troglomórficas e a riqueza de invertebrados. Esta última é categorizada, arbitrariamente, em intervalos de uma a cinco espécies, seis a dez espécies e onze ou mais espécies. Caso este índice tivesse sido utilizado neste trabalho, em relação à fauna de invertebrados, as cavernas seriam diferenciadas apenas pela presença e ausência de espécies troglomórficas, uma vez que todas as cavernas apresentaram mais de onze espécies de invertebrados.

As classes de riqueza de invertebrados propostas por Donato e colaboradores (2014), não se adequam aos padrões de riqueza observados para as cavernas Neotropicais. Ao revisar os resultados de onze estudos, que, ao todo, informam a riqueza de 578 cavernas brasileiras (Zeppelini Filho et al. 2003, Rheims e Franco 2003, Zampaulo 2010, Bento 2011,

Souza-Silva et al. 2011b, 2011c, Souza 2012, Donato et al. 2014, Simões et al. 2014, Gallão e Bichuette 2015), percebe-se que apenas 5,7% destas cavernas apresentam riqueza de invertebrados menor ou igual a dez. Assim, dentro deste universo de 578 cavernas, 545 delas seriam consideradas extremamente ricas pelos critérios de Donato, o que não condiz com a realidade. Portanto, o índice proposto por Donato e colaboradores não é adequado aos trabalhos que objetivam nortear a conservação da biodiversidade cavernícola na região Neotropical. Outro aspecto que merece menção é a abrangência deste índice que também considera a fauna de vertebrados, além de atributos paleontológicos, arqueológicos, cênicos, dentre outros (Donato et al. 2014). Uma preocupação real sobre um índice multiparâmetros é a sua viabilidade ou aplicabilidade em relação à coleta acurada das informações necessárias ao seu cálculo. Como o índice de Donato e colaboradores (2014) considera aspectos geológicos, biológicos, paleontológicos, arqueológicos, dentre outros, para que as variáveis sejam coletadas de forma robusta, é essencial uma equipe multidisciplinar, composta de profissionais de cada uma destas áreas. É improvável que um único avaliador seja capaz de qualificar, de forma precisa e segura, todos estes aspectos, que dependem de uma ampla experiência prévia em cada uma destas áreas. Assim, em termos práticos, a aplicabilidade deste índice é bastante restrita.

O índice de Simões et al. (2014), para o cálculo da vulnerabilidade das cavernas, se assemelha muito ao proposto por Souza-Silva et al. (2015). A diferença básica entre esses dois métodos é o cálculo da relevância biológica, que no caso de Simões et al. (2014), a riqueza de troglóbios não participa da relevância biológica e é somada na parte no final da análise junto à relevância biológica e ao grau de impacto. Tal método, apesar de mais sensível à riqueza de espécies troglóbias, em casos de grande discrepância nesta variável, reduz o número de cavernas categorizadas como de vulnerabilidade extremamente alta. Tanto no índice de Simões e colaboradores (2014), quanto no índice de Souza-Silva e colaboradores (2015), a riqueza relativa favorece as pequenas cavernas, que mesmo com uma riqueza total não muito expressiva, se tornam *outliers*. No presente estudo, apenas as duas menores cavernas não foram categorizadas como de baixa riqueza relativa. Nestes métodos, principalmente no IPCC, as cavernas categorizadas na mais alta vulnerabilidade nem sempre possuem espécies troglóbias, e a alta vulnerabilidade se deve ao grande número de espécies concentradas em

uma área proporcionalmente pequena, como o caso da Caverna da Fazenda do Joaquim Rodrigues (Luislândia) e/ou com grande quantidade de impactos observados.

É importante salientar, no entanto, que existem cavernas importantes de serem conservadas do ponto de vista biológico e que não possuem espécies troglóbias. Muitas cavernas, mesmo que de reduzida extensão, podem ser refúgio para diversas populações de espécies não troglóbias, que, devido ao desmatamento e diversas outras modificações na paisagem, não conseguem mais habitar a matriz adjacente à caverna. Tal situação pode ocorrer até mesmo em cavidades artificiais (Ázara et al. 2016).

Cavernas presentes no bioma Mata Atlântica, no estado do Espírito Santo e na região noroeste de Minas Gerais (Cerrado), já foram avaliadas em relação às áreas prioritárias para conservação destes ambientes (Simões et al. 2014, Silva e Ferreira 2015, Souza-Silva et al. 2015). Nestes três estudos, os critérios utilizados para a definição das áreas prioritárias para conservação foram distintos, e a própria vulnerabilidade calculada pelo iPCC (ou índice similar) foi utilizada de forma diferenciada em cada estudo. Se os critérios propostos, para definir áreas prioritárias para conservação, pelo trabalho de Souza-Silva et al. (2015), referentes às cavernas da Mata Atlântica fossem empregados neste trabalho, apenas dez cavernas seriam consideradas de extrema prioridade para conservação. Por outro lado, se os critérios propostos por Souza-Silva e Ferreira (2015), para cavernas do Espírito Santo, tivessem sido empregados, 32 cavernas seriam consideradas de extrema prioridade para conservação.

Dentre os três trabalhos citados, que abordam áreas prioritárias para conservação, o de Simões et al. (2014) foi o único a utilizar diretamente as categorias de vulnerabilidade das cavernas para elencar as áreas prioritárias para conservação, mesma metodologia utilizada no presente estudo. Entretanto é importante ressaltar que o índice utilizado por Simões et al. (2014) no cálculo da vulnerabilidade é um pouco diferente do iPCC. Como os limites das categorias do iPCC são baseados na heterogeneidade das amostras, eles podem variar de região para região e até mesmo de um conjunto de cavernas para outro relativamente próximo. Se adotássemos a metodologia do iPCC, com os intervalos das categorias propostos no estudo de Simões et al. (2014), que contempla a região noroeste de Minas Gerais, apenas a Lapa Sem Fim e a Lapa

Encantada seriam de extremamente alta vulnerabilidade. Adotando os intervalos das categorias de Simões et al. (2014) junto à sua metodologia de cálculo da vulnerabilidade das cavernas, oito cavernas seriam de extremamente alta vulnerabilidade (Sumitumba, Lapa d'água do Zezé, Nestor, Sem Fim, Claudina, Encantada, Zé Avelino e Lapa d'água de Montes Claros), sendo que destas, todas possuiriam espécies troglóbias.

As categorias do IPCC se baseiam nos valores superiores obtidos para as riquezas e impactos, sendo adequados para cada contexto específico, portanto, é necessário cautela ao analisar cavernas de diferentes litologias, uma vez que as riquezas de suas comunidades se relacionam de forma distinta às dimensões das cavernas (Souza-Silva et al. 2011b).

A melhoria dos índices de conservação de cavernas deve ser constante. Como sugerido por Donato e colaboradores (2014), a incorporação de novas ferramentas podem contribuir muito, por exemplo, na diagnose dos impactos da área de entorno das cavernas. As ferramentas de SIG e geoprocessamento, já são consideradas aliadas fundamentais para o delineamento de estratégias que visam elevar a eficiência na conservação (Moura e Magalhães 2011). Imagens de satélite permitem avaliar matematicamente o cenário de inserção da caverna na paisagem, como por exemplo, calculando uma determinada área desmatada (e.g.: Reis et al. 2013).

É crescente, em todo o mundo, a preocupação com ações de conservação para a manutenção da diversidade biológica (Alho 2008, Drummond et al. 2010). Uma das melhores maneiras de conservar as áreas cársticas e conseqüentemente as cavernas é através da educação (Gillieson 1996). No entanto, apesar da criação de novas unidades de conservação ser um dos principais desafios da atualidade (Olivato e Junior 2008), tais unidades mostram-se de extrema importância (Cavalcanti et al. 2012), tendo em vista o aumento da exploração de recursos e o desenfreado crescimento populacional. Portanto, para garantir às futuras gerações a oportunidade de estudar a fauna associada a estas cavernas e um ambiente mais adequado a elas, é necessário que pelo menos parte das sugestões aqui apresentadas sejam acatadas, por meio de ações efetivas dos órgãos governamentais competentes.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos taxonomistas que auxiliaram no refinamento taxonômico dos grupos (Acari: Leopoldo Bernardi, Amblypygi: Ana Carolina Vasconcelos, Araneae: Antônio Brescovit, Collembola: Douglas Zeppelini, Diplopoda: Luiz Felipe Moretti Iniesta, Opiliones: Ludson Ázara, Palpigradi: Maysa Villela); aos integrantes do Centro de Estudos em Biologia Subterrânea pelo auxílio nos trabalhos de campo; aos estagiários que auxiliaram na triagem (Gilson, Júlia e Wagner) às pessoas que nos guiaram e acompanharam às cavernas amostradas (Santinho, Bira, Eduardo Gomes, Edson Veloso, Ronaldo Sarmiento, Lorão, Aldelice e Nilsinho); aos gestores e funcionários do Parque Estadual da Lapa Grande pela acolhida; aos funcionários do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu; às pessoas que colaboraram com indicação de cavernas e mapas (Frederico Gonçalves, Leda Zogbi, Augusto Auler e Ezio Rubioli); ao Instituto Pristino e seus membros pelo apoio logístico, acompanhamento e indicação de cavernas; aos grupos de espeleologia que disponibilizaram mapas topográficos (EPL, GBPE e SEE), em especial o Espeleogrupo Peter Lund, que também nos acompanharam em vários trabalhos de campo e às instituições que fomentaram o projeto, a bolsa e a infraestrutura (FAPEMIG, CAPES, UFLA e VALE).

REFERÊNCIAS

- Alho, C. 2008. The value of biodiversity. *Brazilian Journal of Biology* 68:1115–1118.
- Auler, A. 2004. America, South. Páginas 110 – 118 *em* J. Gunn, editor. *Encyclopedia of Caves and Karst Science*. Taylor & Francis e-Library, New York/London.
- Auler, A., e L. B. Piló. 2011. Introdução à Espeleologia. Páginas 07 – 23 *III Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental*. Instituto Terra Brasilis, Belo Horizonte.
- de Ázara, L. N., L. Bernardi, e R. L. Ferreira. 2016. The first survey on harvestmen in Brazilian artificial cavities, with notes on distribution and natural history. *Subterranean Biology* 17:31–53.
- Baptista, R. L. C., e A. D. L. P. Giupponi. 2003. A new troglomorphic *Charinus* from Minas Gerais state, Brazil (Arachnida: Charinidae). *Revista Ibérica de Aracnología* 7:79–84.

- Barr, T. C. 1968. Cave Ecology and the Evolution of Trogllobites. Páginas 35–102 *em* T. Dobzhansky, M. K. Hecht, e W. C. Steere, editores. *Evolutionary Biology*. Plenum press, New York/London.
- Bastos-Pereira, R., e R. L. Ferreira. 2015. A new species of *Spelaeogammarus* (Amphipoda: Bogidielloidea: Artesiidae) with an identification key for the genus. *Zootaxa* 4021:418.
- Bento, D. D. M. 2011. Diversidade de Invertebrados em Cavernas: Calcárias do Oeste Potiguar: Subsídios para a Determinação de áreas prioritárias para conservação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Beynen, P., e K. Townsend. 2005. A Disturbance Index for Karst Environments. *Environmental Management* 36:101–116.
- Boulton, A. J., G. D. Fenwick, P. J. Hancock, e M. S. Harvey. 2008. Biodiversity, functional roles and ecosystem services of groundwater invertebrates. *Invertebrate Systematics* 22:103–116.
- Brasil. 2004. Resolução CONAMA Nº 347, de 10 de setembro de 2004. Diário oficial da união. Brasil.
- Brasil. 2008. Decreto Nº 6.640, de 07 de novembro de 2008. Diário Oficial da União, Brasil.
- Brasil. 2009. Instrução Normativa Nº2, de 20 de agosto de 2009. Ministério do Meio Ambiente, Brasil.
- Brasil. 2016. Registro nacional de unidades de conservação. <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>.
- Brescovit, A. D., R. L. Ferreira, M. S. Silva, e C. A. Rheims. 2012. *Brasilomma* gen. nov., a new prodidomid genus from Brazil (Araneae, Prodidomidae). *Zootaxa* 32:23–32.
- Carvalho, L. M. T., A. D. Oliveira, J. M. Mello, F. W. Acerbi Junior, H. C. Cavalcanti, e R. Vargas Filho. 2006. Projeto monitoramento 2005. Páginas 58 – 63 *em* Jose Roberto Soares Scolforo e Luis Marcelo Tavares de Carvalho, editores. Mapeamento e inventario da flora nativa e reflorestamentos de Minas Gerais. First edição. Editora UFLA, Lavras - MG.
- Cavalcanti, L. F., M. F. de Lima, R. de C. S. de Medeiros, e I. Meguerditchian. 2012. Plano De Ação Nacional Para Conservação Do Patrimônio Espeleológico Nas Áreas Cársticas Da Bacia Do Rio São Francisco. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Brasília.
- CECAV. 2016. Base de Dados Geoespacializados das Cavidades Naturais

- Subterrâneas do Brasil. <http://www.icmbio.gov.br/cecav/>.
- Christiansen, K. 1962. Proposition pour la classification des animaux cavernicoles. *Spelunca* 2:75–78.
- Christman, M. C., D. C. Culver, M. K. Madden, e D. White. 2005. Patterns of endemism of the eastern North American cave fauna. *Journal of Biogeography* 32:1441–1452.
- Culver, D. C., e T. Pipan. 2009. Sources of energy in subterranean environments. Páginas 23–39 *The Biology of Caves and Other Subterranean Habitats*. Oxford University Press, Oxford.
- Culver, D. C., e T. Pipan. 2010. Climate , abiotic factors , and the evolution of subterranean life. *Acta Carsologica* 39:577–586.
- Deharveng, L., e A. Bedos. 2012. Diversity patterns in the tropics. Páginas 238–250 *em* W. B. White e D. C. Culver, editores. *Encyclopedia of caves*. Second edição. Elsevier Academic Press, Oxford, San Diego.
- Donato, C. R., A. de S. Ribeiro, e L. de S. Souto. 2014. A conservation status index, as an auxiliary tool for the management of cave environments. *International Journal of Speleology* 43:315–322.
- Drummond, J. A., D. De Oliveira, J. L. de A. Franco, e D. De Oliveira. 2010. Uma análise sobre a história e a situação das unidades de conservação no Brasil. Páginas 341–385 *em* R. S. Ganem, editor. *Conservação da Biodiversidade: Legislação e Políticas Públicas*. First edição. Edições câmara, Brasília.
- Ferreira, J., L. E. O. C. Aragão, J. Barlow, P. Barreto, E. Berenguer, M. Bustamante, T. A. Gardner, A. C. Lees, C. A. Peres, P. S. Pompeu, M. Tabarelli, e J. Zuanon. 2014. Brazil's environmental leadership at risk. *Science* 346:706–707.
- Ford, D., e P. Williams. 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. (D. Ford e P. Williams, Eds.). John Wiley & Sons, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex.
- Gallão, J. E., e M. E. Bichuette. 2015. Taxonomic distinctness and conservation of a new high biodiversity subterranean area in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 87:209–217.
- Gillieson, D. 1996. *Caves: Processes, Development and Management*. Second edição. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Guimarães, M. de M. 2014. *Morcegos Cavernícolas Do Brasil: Composição, Distribuição E Serviços Ambientais*. Universidade Federal de Lavras.

- Hoch, H., e R. L. Ferreira. 2012. *Ferricixius davidi* gen. n., sp. n. – the first cavernicolous planthopper from Brazil (Hemiptera, Fulgoromorpha, Cixiidae). *Deutsche Entomologische Zeitschrift* 59:201–206.
- IBRAM. 2014. Informações sobre a Economia Mineral do Estado de Minas Gerais Estatísticas Mineraias sobre MG.
- Iniesta, L. F. M., e R. L. Ferreira. 2013. The first troglobitic *Pseudonannolene* from Brazilian iron ore caves (Spirostreptida: Pseudonannolenidae). *Zootaxa* 3669:85–95.
- Iniesta, L. F. M., e R. L. Ferreira. 2015. *Pseudonannolene lundii* n. sp., a new troglobitic millipede from a Brazilian limestone cave (Spirostreptida: Pseudonannolenidae). *Zootaxa* 3949:123–128.
- Klink, C. A., e R. B. Machado. 2005. Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology* 19:707–713.
- Kunz, T. H., E. Braun de Torrez, D. Bauer, T. Lobova, e T. H. Fleming. 2011. Ecosystem services provided by bats. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1223:1–38.
- Lobo, H. A. S. 2006. Caracterização dos impactos ambientais negativos do espeleoturismo e suas possibilidades de manejo. Página 15 IV SeminTUR - Seminário de Pesquisa em Turismo do MERCOSUL. IV SeminTUR, Caxias do Sul, RS, Brasil.
- Milanovic, P. T. 2005. Water resources engineering in karst. Igarss 2014. CRC Press Taylor & Francis Group, Bo.
- Moura, A. C. M., e D. M. Magalhães. 2011. A produção de informações sobre a ocorrência de áreas antropizadas como base para análises espaciais urbanas e regionais. Páginas 1 – 22 XIII Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (CONFIBSIG).
- Myers, N., R. a Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. a da Fonseca, e J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853–8.
- Neill, H., M. Gutiérrez, e T. Aley. 2004. Influences of agricultural practices on water quality of Tumbling Creek cave stream in Taney County, Missouri. *Environmental Geology* 45:550–559.
- Novak, T., M. Perc, S. Lipovšek, e F. Janžekovič. 2012. Duality of terrestrial subterranean fauna. *International Journal of Speleology Official Journal of Union Internationale de Spéléologie* 41:181–188.
- Olivato, D., e H. G. Junior. 2008. Unidades de conservação: conservando

- a vida, os bens e os serviços ambientais. Acqua Gráfica, São Paulo.
- Parise, M., e V. Pascali. 2003. Surface and subsurface environmental degradation in the karst of Apulia (southern Italy). *Environmental Geology* 44:247–256.
- Pellegrini, T. G., e R. L. Ferreira. 2011. Ultrastructural analysis of *Coarazuphium formoso* (Coleoptera: Carabidae, Zuphiini), a new Brazilian troglobitic beetle. *Zootaxa* 49:39–49.
- Pinto-da-Rocha, R. 1996. *Iandumoema uai*, a new genus and species of troglobitic harvestman from Brazil (Arachnida, Opiliones, Gonyleptidae). *Revista Brasileira de Zoologia* 13:843–848.
- Por, F. D., C. Dimentman, A. Frumkin, e I. Naaman. 2013. Animal life in the chemoautotrophic ecosystem of the hypogenic groundwater cave of Ayyalon (Israel): A summing up. *Natural Science* 05:7–13.
- Poulson, L. T., e K. Lavoie. 2000. The trophic basis of subsurface ecosystems. Páginas 231–250 em W. Horst, D. C. Culver, e W. F. Humphreys, editores. *Ecosystems of the World: Subterranean Ecosystems*. Elsevier.
- Poulson, L. T., e B. W. White. 1969. The Cave Environment. *Science* 165:971–981.
- Prevorcnik, S., R. L. Ferreira, e B. Sket. 2012. *Brasileirinidae*, a new isopod family (Crustaceae: Isopoda) from the cave in Bahia (Brazil) with a discussion on its taxonomic position. *Zootaxa* 65:47–65.
- Ratton, P., V. Mahnert, e R. L. Ferreira. 2012. A new cave-dwelling species of *Spelaeobochica* (Pseudoscorpiones: Bochicidae) from Brazil. *Journal of Arachnology* 40:274–280.
- Reis, A. A. dos, F. W. A. Júnior, M. D. Teixeira, J. M. F. de S. Diniz, e T. A. Resende. 2013. Análise espacial das ocorrências de desmatamento na região norte de Minas Gerais. Páginas 7016 – 7023 *Anais XVI Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*. INPE, Foz do Iguaçu - PR.
- Rheims, C. A., e F. P. Franco. 2003, Outubro. Invertebrados terrestres de cavernas da área cárstica de São Domingos, Nordeste de Goiás. *O Carste*:132 – 137.
- Silva, M. S., e R. L. Ferreira. 2015. Cave invertebrates in Espírito Santo state, Brazil: A primary analysis of endemism, threats and conservation priorities. *Subterranean Biology* 16:79–102.
- Simões, M. H., M. Souza-silva, e R. L. Ferreira. 2014. Cave invertebrates in Northwestern Minas Gerais state, Brazil : endemism , threats and

- conservation priorities. *Acta Carsologica* 43:159–174.
- Souza, M. F. V. R. 2012. Diversidade de invertebrados subterrâneos da região de Cordisburgo, Minas Gerais: subsídios para definição de cavernas prioritárias para conservação e para o manejo biológico de cavidades turísticas. Universidade Federal de Lavras.
- Souza, M. F. V. R., e R. L. Ferreira. 2010. *Eukoeningenia* (Palpigradi: Eukoeneniidae) in Brazilian caves with the first troglotrophic palpigrade from South America. *The Journal of Arachnology* 38:415–424.
- Souza-Silva, M., L. F. O. Bernardi, R. P. Martins, e R. L. Ferreira. 2012. Transport and Consumption of Organic Detritus in a Neotropical Limestone Cave. *Acta Carstologica* 41:139–150.
- Souza-Silva, M., R. P. Martins, e R. L. Ferreira. 2011a. Trophic Dynamics in a Neotropical Limestone Cave. *Subterranean Biology* 9:127–138.
- Souza-Silva, M., R. P. Martins, e R. L. Ferreira. 2011b. Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest. *Biodiversity and Conservation* 20:1713–1729.
- Souza-Silva, M., R. P. Martins, e R. L. Ferreira. 2015. Cave Conservation Priority Index to Adopt a Rapid Protection Strategy: A Case Study in Brazilian Atlantic Rain Forest. *Environmental Management* 55:279–295.
- Souza-Silva, M., J. C. Nicolau, e R. L. Ferreira. 2011c. Comunidades de invertebrados terrestres de três cavernas quartzíticas no vale do mandembe, luminárias, MG. *Espeleo-tema* 22:155–167.
- Sugai, L. S. M., J. M. Ochoa-Quintero, R. Costa-Pereira, e F. O. Roque. 2015. Beyond aboveground. *Biodiversity and Conservation* 24:2109–2112.
- Tscharntke, T., I. Steffan-dewenter, A. Kruess, e C. Thies. 2002. Contribution of Small Habitat Fragments to Conservation of Insect Communities of Grassland -Cropland Landscapes. *Ecological Applications* 12:354–363.
- Zampaulo, R. D. E. A. 2010. Diversidade de invertebrados cavernícolas na província espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG): Subsídios para a determinação de áreas prioritárias para conservação. Universidade Federal de Lavras.
- Zeppelini Filho, D., A. Cunha Ribeiro, G. Cunha Ribeiro, M. Paula

Aguiar Fracasso, M. Monetti Pavani, O. Müller Patrão Oliveira, S. DE Adriano Oliveira, e A. Carlos Marques. 2003. Faunistic survey of sandstone caves from Altinópolis region, São Paulo state, Brazil. *Papéis Avulsos de Zoologia* 43:93–99.