

Universidade Federal de São João del-Rei

Departamento de Ciências Naturais

Programa de Pós-Graduação em Ecologia

Ecologia e conservação de cavernas na região cárstica de Iuiú – BA

Rafael Costa Cardoso

São João del-Rei

2017

Rafael Costa Cardoso

**Ecologia e conservação de invertebrados cavernícolas da região
cárstica de Iuiú - BA**

Orientador: Dr. Marconi Souza Silva

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial à obtenção do título de mestre.

São João del-Rei

2017

Nome: Rafael Costa Cardoso

Título: Ecologia e conservação de invertebrados cavernícolas da região cárstica de Iuiú -

BA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial à obtenção do título de mestre.

Aprovado em: 28/07/2017

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marconi Souza Silva (Orientador)

Universidade Federal de Lavras

(Assinatura)

Prof. Dr. Andrey Leonardo Fagundes de Castro (membro titular)

Universidade Federal de São João del Rei

(Assinatura)

Prof. Dra. Thais Giovannini Pellegrini (membro titular)

Universidade Federal de Lavras

(Assinatura)

Prof. Dra. Iara Freitas Lopes (membro suplente)

Universidade Federal de São João del Rei

(Assinatura)

**“De lá vou indo pro Ramalho
pro vale verde do Yuyú”
*‘Canto do Guerreiro Mongoió’***

Elomar Figueira de Melo

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer a meus pais que por terem me colocado no mundo, me deram a oportunidade de conhecer tantas cavernas neste Brasil, e tantas ainda por vir. Aos avós (Diná, Angélica, Zélito (In memoriam) e Gastão (In memoriam)), irmãos (André e João) e família e amigos de Prados com quem aprendi muito. A Débora Morgan, por estar sempre do meu lado, me apoiando e acompanhado nas aventuras Agradecimentos especiais aos amigos e professores Marconi Souza Silva e Rodrigo Lopes Ferreira (Drops), que sem eles o trabalho não seria possível e com quem aprendi muito nestes dois anos. A todos os amigos do laboratório que auxiliaram em campo (Lucas, Pirilo, Cachelfa, Gilson, Pepa, Denizar, Jennifer) e sem eles o trabalho também não seria possível. A todos iuiuenses que nos guiaram em campo pelo sertão, com muita boa vontade e disposição (Joãozinho, Sr. Tião, Sr. Chico, Sr. Honorato). A Sociedade Excursionista Espeleológica que tem dedicado há tempos aos trabalhos espeleológicos na região cárstica de Iuiú e por terem disponibilizado estes dados tão valiosos para este trabalho. A professora Tatiana Cornelissen por estar sempre à disposição para atender os alunos do PGE, e aos colegas de sala. A república Cativeiro (João e Cadeia e às vezes a Tati, por terem me hospedado todo este tempo). Ao Angélico, Leopoldo, Luana, Lucas, Maysa e Rafaela pela ajuda na identificação do material. Ao Luiz e ao Augusto pela ajuda nas estatísticas.

Sumário

Resumo Geral	8
Abstract.....	9
Introdução Geral	10

Capítulo 1: Efeito da escala de amostragem na diversidade dos invertebrados cavernícolas em um carste neotropical semiárido

Resumo	13
Abstract.....	14
Introdução.....	15
Materiais e Métodos	17
Resultados.....	22
Discussão	29
Considerações finais	34
Referências	35

Capítulo 2: Biodiversidade subterrânea em um afloramento calcário tropical: o papel das características ambientais das cavernas e da paisagem na estruturação das comunidades de invertebrados cavernícolas

Resumo	51
Abstract.....	52
Introdução.....	53
Materiais e métodos.....	55
Resultados.....	62
Discussão	67
Considerações gerais	71
Referências	72
Anexos	81

Capítulo 3: Prioridade de Conservação em cavernas carbonáticas na Serra de Iuiú, Sub-região do Rio São Francisco

Resumo	86
--------------	----

Abstract.....	87
Introdução.....	88
Metodologia.....	89
Resultados.....	93
Discussão.....	101
Considerações Finais.....	105
Referências.....	106
Conclusões Finais.....	114
Referências.....	114

Resumo Geral

Esta Dissertação é o resultado de um estudo realizado em cavernas da região cárstica de Iuiú, no estado da Bahia, Brasil. O trabalho está dividido em três capítulos.

O primeiro capítulo consiste em um estudo de como a escala espacial influencia na quantificação da biodiversidade nos ambientes cavernícolas, analisando as diferenças na composição, riqueza, diversidade, similaridade da fauna de invertebrados entre diferentes escalas espaciais de amostragem nas cavernas e verificando se a similaridade entre as comunidades está relacionada à distribuição espacial das cavernas em diferentes maciços cársticos. Os resultados indicam que as comunidades de invertebrados subterrâneos se estruturam de maneiras diferentes quando se altera a escala amostral, tornando a combinação de metodologias, que consideram diferentes escalas espaciais, eficiente em amostrar a diversidade de invertebrados cavernícolas, incrementando o número de espécies observadas.

O segundo capítulo consiste no estudo dos efeitos da estrutura de habitat físico e da paisagem sobre as comunidades de invertebrados cavernícolas em diferentes escalas de espaciais. Os resultados mostram que os substratos orgânicos e inorgânicos podem influenciar a estruturação das comunidades de invertebrados de forma distinta nas diferentes escala espaciais, sendo que a consideração de micro habitats e recursos orgânicos essenciais para ações de conservação dos ecossistemas subterrâneos. Além disto, a influência da paisagem indica que áreas preservadas em um raio mais extenso do que aqueles constantes na legislação brasileira, podem ser importantes na manutenção da biodiversidade cavernícola.

O terceiro capítulo buscou avaliar a prioridade de conservação da fauna de invertebrados em 18 cavernas da região cárstica de Iuiú, através do Cave Conservation Priority index (CCPi), que considera a relevância biológica e o grau de impacto de cavernas. Como resultado do CCPi, cinco cavernas foram categorizadas como de extremamente alta vulnerabilidade (27,8%) e oito como de alta vulnerabilidade (44,4%). Além da singularidade da região em relação a riqueza e diversidade taxonômica de espécies troglóbias, o CCPi revelou uma elevada proporção de cavernas com necessidades de ações emergenciais para a conservação.

Abstract

This dissertation is the result of a study carried out in caves in the karstic region of Iuiú, state of Bahia, Brazil. The work is divided into three chapters.

The first chapter consists of a study on how the spatial scale influences the quantification of biodiversity in cave dwellers, analyzing how richness, diversity and similarity of invertebrate fauna differ between two spatial sampling scales in the caves and verifying if the similarity between communities is related to the spatial distribution of caves in different karst massifs. The results suggest that communities of subterranean invertebrates are structured in different ways when the sample scale changes, making a combination of methodologies, which consider different spatial scales, efficient in sampling the diversity of cave invertebrates. The karst massifs can present a singular fauna, being important in the cave conservation.

The second chapter presents the study on the effects of physical habitat structure and landscape on cave invertebrate communities at different spatial scales. The results show that the organic and inorganic substrates can influence the structure of the invertebrate communities in different ways for different spatial scales. The quantification of microhabitats and organic resources are essential for the conservation strategies for subterranean ecosystems. In addition, the influence of the landscape indicates that areas preserved in a wider radius than those included in Brazilian legislation may be necessary in the maintenance of cave biodiversity.

The third chapter aimed to evaluate the conservation priority of the invertebrate fauna in 18 caves of the karstic region of Iuiú, using the Cave Conservation Priority Index (CCPi), which considers biological relevance and the degree of impact of caves. As a result of the CCPi, five caves were categorized as extremely high vulnerability (27.8%) and eight as high vulnerability (44.4%). In addition to the uniqueness of the region in terms of the richness and taxonomic diversity of troglobite species, the CCPi revealed a high proportion of caves with needs for emergency actions for conservation.

Introdução Geral

Cavernas estão geralmente inseridas em sistemas cársticos, caracterizados por apresentarem suas formas e feições geológicas moldadas predominantemente pela dissolução da rocha. Os relevos cársticos que compõe a maior parte das cavidades naturais subterrâneas mundiais são formados por rochas carbonáticas (calcários e dolomitos). As cavernas, portanto, são partes ou subunidades do carste formando uma matriz de espaços vazios que controla a infiltração de água e os processos de armazenamento de materiais aluviais, contribuindo para o transporte e estoque de recursos no interior das cavidades subterrâneas (Gibert et al. 1994).

Além da importância hidro-geológica dos sistemas cársticos e das cavernas, os ambientes subterrâneos podem funcionar como complexos ecossistemas, fornecendo local de nidificação e abrigo para diversas espécies de invertebrados e vertebrados, além de apresentar muitas vezes importantes centros de endemismo.

Características intrínsecas aos ambientes subterrâneos, como uma maior estabilidade ambiental, a ausência permanente de luz e a tendência ao oligotrofismo, limitam a ocorrência dos grupos que os colonizam, baseados principalmente em cadeias de detritívoros dependentes de recursos alóctones (Culver & Pipan, 2009).

A movimentação de nutrientes e detritos do meio epígeo para o meio hipógeo pode se dar por agentes físicos e biológicos (Souza-Silva 2011, Simon et al 2007). A matéria orgânica pode ser carregada por rios, enxurradas e outros cursos d água que percolam no teto ou parede, através de aberturas ou fraturas que eventualmente existam nas cavernas (Gibert et al. 1994), ou através do crescimento de raízes, animais que utilizam as cavernas (e. g. morcegos) ou mesmo pelos animais que lá entram acidentalmente.

Diversos estudos já demonstraram a importância das raízes vegetais como recursos alimentares para os organismos que vivem em cavidades naturais (Howarth 1983, Jasinska et al. 1996, Arechavaleta et al. 1999, Souza-Silva 2011, Ferreira, 2005, Howarth et al 2007, Ferreira et al., 2015). Fezes de quirópteros e outros animais se mostraram importantes fontes de recursos alimentares para espécies de microorganismos e artrópodes, principalmente em cavernas permanentemente secas (Ferreira & Martins 1998; Ferreira & Martins 1999, Bahia 2007).

Segundo Holsinger & Culver (1988) modificado do sistema Schiner-Racovitza (Racovitza 1907, Schiner 1954, apud Camacho 1992), os organismos cavernícolas podem ser classificados nas categorias ecológico-evolutivas de troglóxenos, troglófilos e troglóbios. Invertebrados troglófilos podem completar seus ciclos de vida tanto no meio hipógeo quanto no meio epígeo. Os troglóxenos necessitam do meio epígeo para completar seu ciclo de vida (em geral deixam as cavernas em busca de alimentos). Muitos destes organismos (e.g. morcegos) são responsáveis pela importação de recursos alimentares provenientes do meio epígeo, sendo muitas vezes os principais responsáveis pelo fluxo energético em cavernas. Os troglóbios são organismos restritos ao ambiente cavernícola, podendo apresentar diversos tipos de especializações morfológicas, fisiológicas e comportamentais (troglomorfismos) em resposta às pressões seletivas presentes em cavernas e/ou à ausência de pressões seletivas típicas do meio epígeo (Romero & Green 2005).

No Brasil há aproximadamente 16.000 cavidades naturais (cavernas) cadastradas, mas estima-se que o potencial brasileiro seja de aproximadamente 100 mil cavernas. (Auler et al. 2001, ICMBIO/CECAV 2017). Para o estado da Bahia existem pouco mais de 1.000 cavernas cadastradas (ICMBIO/CECAV 2017), porém o estado apresenta extensas regiões cársticas ainda pouco exploradas (Auler et al., 2001).

O Decreto Federal nº6640/08, a IN/MMA nº2/09 e a IN/ICMBIO nº1/17 regulamentam o uso do patrimônio espeleológico brasileiro, estabelecendo categorias de relevância com base nas características físicas e biológicas de cavernas, para regulamentar a interferência humana nestes ambientes. No entanto, a conservação das cavernas no Brasil apresenta uma ampla problemática no que diz respeito a metodologias de coleta e ao conhecimento até então incipiente da fauna cavernícola brasileira (Souza-Silva et al., 2014). O mapeamento da diversidade subterrânea, buscando entender seus padrões de estruturação, distribuição e abundância das espécies e identificação das ameaças é essencial para o planejamento de ações conservação, manejo e monitoramento da fauna em regiões naturais ou alteradas pelo homem, possibilitando selecionar áreas biologicamente representativas (Margules & Pressey 2000; Trajano 2000, Culver & Sket 2000, Sessegolo et al. 2001, Culver & Sket 2002, Elliott 2005, Christman, 2005).

Poucos estudos amostraram a fauna cavernícola na região de Iuiú e áreas cárstica próximas como a serra do Ramalho (Trajano et al., 2016) e já revelaram elementos da fauna endêmicos e ameaçados de extinção (Ratton et al. 2012, Souza et al. 2015, Hoch & Ferreira 2016, Vasconcelos & Ferreira, 2016), tornando necessário que mais estudos sejam realizados nessa região, buscando compreender a dinâmica da fauna, como ela se estrutura e definir áreas prioritárias para a conservação.

Área de estudo

A área de estudo compreende a região cárstica de Iuiú, localizada nos municípios de Iuiú e Malhada, ambos no estado da Bahia, Brasil. Segundo Silva & Casteleti (2005) a região compõe parte da sub-região biogeográfica do Rio São Francisco nos domínios da Mata Atlântica brasileira. Esta sub-região é caracterizada como uma área de transição entre Caatinga e Mata Atlântica, formada por complexos de mosaicos vegetacionais com histórias evolutivas distintas. A vegetação da região cárstica de Iuiú é caracterizada por florestas decíduas e semidecíduas, além de campos rupestres sobre afloramentos carbonáticos (Apagua et al., 2014).

Os maciços carbonáticos que formam a região cárstica de Iuiú encontram-se sobre as rochas sedimentares da Bacia do São Francisco, que constituem o supergrupo São Francisco (Neoproterozóico). Os carbonatos que afloram por toda a região pertencem ao grupo Bambuí, a maior formação carbonática do Brasil, abrangendo a maioria das cavernas de calcário brasileiras (Auler et al., 2001). O endocarste, ainda pouco explorado, é representado por diversas cavidades, com apenas 36 cavernas conhecidas. Os fluxos d'água subterrâneos na região são esparsos (Santos et al, 2007).

Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o clima na região é do tipo Bsh (tropical semiárido), o qual a evapotranspiração potencial largamente excede a precipitação, levando em alguns casos a situações de extrema aridez, e uma estação chuvosa, onde a precipitação é sempre superior à evapotranspiração potencial, permitindo a reposição das reservas hídricas na biomassa, nos solos e nos aquíferos. A pluviosidade média anual é de 798 mm e temperatura anual média de 26 °C (INMET, 2017).

Capítulo 1: Análise da escala de amostragem dos invertebrados cavernícolas em um carste neotropical semiárido

Rafael Costa Cardoso¹, Marconi Souza-Silva², Rodrigo Lopes Ferreira²

¹Universidade Federal de São João Del Rei, ² Universidade Federal de Lavras

Formatado de acordo com as normas da revista: *Biota Neotropica*

Resumo

A diversidade de espécies pode variar quando se considera diferentes escalas espaciais. Tal variação se deve às diferenças nas características das espécies, como mobilidade, à disponibilidade de recursos, dentre outros fatores. Desta forma, o presente estudo buscou compreender se e como a escala espacial de amostragem pode determinar diferenças na quantificação da biodiversidade nos ambientes cavernícolas. Para tal, analisamos as diferenças na composição, riqueza, diversidade e similaridade da fauna de invertebrados entre diferentes escalas espaciais de amostragem nas cavernas. Além disso, verificamos se a similaridade entre as comunidades está relacionada à distribuição espacial das cavernas em diferentes maciços cársticos. Foram amostrados 125 quadrantes (microescala) e 25 transectos (mesoescala) em 16 cavernas localizadas na região cárstica de Iuiú, Bahia. Ao todo foram observados 6.870 indivíduos pertencentes a 258 espécies de invertebrados, das quais 20 foram consideradas troglóbias. Nos quadrantes foram registrados 684 indivíduos de 117 espécies, com 51 espécies exclusivas. Nos transectos foram registrados 6.186 indivíduos de 206 espécies, com 140 espécies exclusivas. No total, 66 espécies foram compartilhadas entre as duas escalas amostrais. A riqueza e abundância relativa média das espécies nos quadrantes foram significativamente maiores do que nos transectos. Apenas a análise em mesoescala permitiu observar que houve agrupamento entre as cavernas de um mesmo maciço. Entre as cavernas, a dissimilaridade foi explicada, em ambas as escalas amostrais e considerando-as em conjunto, pela substituição de espécies. As comunidades de invertebrados subterrâneos se estruturam de maneiras diferentes quando se altera a escala amostral, de modo que a combinação de metodologias que consideram diferentes escalas espaciais se mostra eficiente em amostrar a diversidade de invertebrados cavernícolas. Maciços cársticos diferentes podem apresentar faunas singulares, sendo importantes na conservação da biodiversidade cavernícola. A região cárstica de Iuiú apresenta uma elevada riqueza de elementos da fauna endêmicos e ameaçados se destacando entre as regiões cársticas brasileiras.

Palavras Chave: cavidade natural, fauna subterrânea, troglóbios, escala espacial

Chapter 1: Sampling scale affecting diversity of cave invertebrates in a semi-arid neotropical karst

Rafael Costa Cardoso¹, Marconi Souza-Silva², Rodrigo Lopes Ferreira²

¹ Federal University of São João Del Rei, ² Federal University of Lavras

Abstract

The diversity of species can vary when considering different spatial scales. Such variation may be due to differences in species characteristics such as mobility, availability of resources, and other factors. Thus, the present study aimed to understand if and how spatial scale can determine differences in the quantification of biodiversity in cave environments. For this, we analyzed the differences in the composition, richness, diversity and similarity of the invertebrate fauna among different spatial sampling scales in the caves. In addition, we verified if the similarity between the communities is related to the spatial distribution of the caves in different karst massifs. A total of 125 quadrants (microscale) and 25 transects (mesoscale) were sampled in 16 caves located in the karstic region of Iuiú, Bahia. In all, 6870 individuals belonging to 258 invertebrate species were observed, of which 20 were considered as troglobites. In the quadrants were registered 684 individuals of 117 species, with 51 exclusive species. In mesoscale were registered 6186 individuals of 206 species, with 140 exclusive species. In total, 66 species were shared between the two sample scales. The relative richness and relative abundance of the species in the quadrants were significantly higher. Only the analysis in mesoscale allowed to observe that the caves of the same massif were more similar. Among the caves, the dissimilarity was explained, in both sample scales and considering them together, by the turnover of species. Subterranean invertebrate communities structure in different ways when changing the sample scale, so that the combination of methodologies that consider different spatial scales is efficient in sampling the diversity of cave invertebrates. Different karst massifs can present singular faunas, being important in the conservation of the cave biodiversity. The karstic region of Iuiú presents a high richness of endemic and endangered fauna elements standing out among the Brazilian karst regions.

Keywords: natural cavity, subterranean fauna, troglobites, spatial scale

Introdução

Habitats subterrâneos compreendem sistemas dinâmicos e complexos com ampla gama de variações em sua estrutura física e funcional (Ferreira 2005; Culver & Pipan 2009, Ortuño et al. 2013, Culver & Pipan 2014). Tais habitats incluem as cavernas, os habitats subterrâneos superficiais coluvionares e aluvionares, canalículos na canga, lençóis freáticos, habitats hipotelminorréicos e hiporréicos, habitats subterrâneos marinhos, dentre outros (Ferreira 2005, Pipan et al. 2006, Romero 2009, Souza-Silva et al. 2011a, Ortuño et al. 2013, Culver & Pipan 2014). A heterogeneidade desses espaços subterrâneos em termos de tamanho, profundidade, dinâmica hidrológica e produtividade pode influenciar a biodiversidade, levando, algumas vezes, ao surgimento de áreas com alta diversidade subterrânea (Culver & Holsinger 1992, Culver & Sket 2000, Gibert & Deharveng 2002, Romero 2009, Souza-Silva & Ferreira 2016).

Nas cavernas (macro espaços subterrâneos), as comunidades animais encontram-se sob condições ambientais de permanente escuridão, tendência à oligotrofia e isolamento em relação aos ambientes de superfície (Culver & Pipan 2009). Condições de elevada umidade e temperatura constante favorecem a ocorrência de micro habitats estáveis e, conseqüentemente, de inúmeras espécies endêmicas e com distintos graus de especializações morfológicas, fisiológicas, comportamentais e reprodutivas (Sket 2008, Culver & Pipan 2009, Romero 2009).

Dentre os organismos encontrados em cavernas, os invertebrados costumam ser os mais ricos e abundantes, participando da dinâmica de processamento e transferência da matéria orgânica na cadeia trófica (Gibert & Deharveng 2002, Culver & Pipan 2009, Souza-Silva et al. 2012). Porém, devido à dificuldade de amostrar e identificar espécies de invertebrados em comparação com vertebrados ou plantas, eles ainda são sub-representados no que diz respeito a estudos relacionados ao entendimento de padrões de biodiversidade tanto fora quanto dentro de cavernas (Gibert & Deharveng 2002, Freijeiro & Baselga 2016). O mapeamento da biodiversidade subterrânea ao longo do mundo, realizada através de dados de riqueza, abundância, diversidade e distribuição, tem se tornado uma ferramenta fundamental para se entender as relações das espécies com o seu ambiente (Christman et al. 2016). Estas medidas de diversidade frequentemente são aplicadas a uma grande variedade de análises ecológicas, biogeográficas e de conservação e manejo de comunidades biológicas, podendo

inclusive ser utilizadas para prever as alterações de mudanças climáticas (Elith & Leathwick 2009, Souza-Silva et al. 2015, Christman et al. 2016).

Entretanto, a diversidade de espécies pode variar quando se considera diferentes escalas espaciais, o que pode se dever às diferenças nas características biológicas como mobilidade das espécies e/ou disponibilidade de recursos (Fleishman et al. 2003, Summerville et al. 2006). Neste contexto, a identificação de padrões de diversidade em múltiplas escalas espaciais é importante não só para o entendimento de processos que moldam esta biodiversidade (Loreau 2000), sendo também essencial para a elaboração de estratégias eficientes de conservação de comunidades biológicas (Summerville et al. 2003). Apesar disto, poucos estudos têm buscado entender como a escala espacial influencia nos padrões de diversidade em ambientes cavernícolas no Brasil e no mundo (Gibert & Deharveng 2002, Culver & Pipan 2009, Romero 2009, Bento 2011, Bichuette et al. 2015, Gomes 2017, Pellegrini et al. 2016). A utilização de métodos combinados de amostragem é essencial para investigar a riqueza de uma comunidade de invertebrados (Culver 1982, Culver & Pipan 2009, Souza-Silva & Ferreira 2016) pelo fato de promover aumento da acurácia e auxiliar de forma mais concreta em decisões sobre conservação de habitats subterrâneos (Oliveira 2014, Bichuette et al. 2015).

Mudanças na composição e riqueza de espécies podem ocorrer ao longo do tempo e do espaço, podendo ser consequência da substituição ou ao aninhamento das espécies (Baselga, 2010). Para isto diferentes métodos têm sido propostos para tentar avaliar a dissimilaridade entre as comunidade em relação a gradientes ambientais ou métodos de amostragem distintos, a partir da partição dos componentes da diversidade beta (Whittaker 1960, Baselga 2007, 2010, Carvalho et al. 2012, 2013, Cardoso et al. 2015).

Embora tenha crescido o número de trabalhos referentes à ecologia de comunidades de cavernas tropicais, revelando a existência de cavernas com uma alta riqueza de espécies troglófilas (Chapman 1980, Humphreys 1993, Gnaspini & Trajano 1994, Deharveng & Bedos 2000, Sharratt et al. 2000, Trajano 2000, Deharveng 2005, Moulds et al. 2007, Trajano & Bichuette 2010, Simões et al. 2012, Souza-Silva & Ferreira 2015), são extremamente escassos aqueles que tratam de áreas associadas ao clima semiárido, o que pode ter grande influência sobre as comunidades subterrâneas (Bento et al. 2016). Deste modo, o presente estudo objetivou avaliar a riqueza, diversidade, similaridade e endemismos da fauna de invertebrados em cavernas

inseridas em uma área cárstica associada ao clima semiárido brasileiro avaliando diferentes escalas espaciais de amostragem. Para tal foram elaboradas as seguintes questões:

- Há diferenças na composição, riqueza, diversidade, similaridade da fauna de invertebrados ao se utilizar diferentes escalas espaciais de amostragem em cavernas?
- A similaridade entre as comunidades está relacionada à distribuição espacial das cavernas em diferentes maciços cársticos?

Materiais e Métodos

Local de Estudo

A área de estudo compreende os maciços calcários da região cárstica de Iuiú localizados nos municípios de Iuiú e Malhada, à margem direita do Rio São Francisco no sudoeste do estado da Bahia, (14°28'2.41" S e 43°34'31.38" W a 794 m de altitude acima do nível do mar). A geologia local é caracterizada por calcários do grupo Bambuí, que formam uma área cárstica de amplas extensões (Santos et al. 2007). O clima na região é do tipo tropical semiárido (Bsh) de acordo com a classificação de Köppen . A precipitação anual média é de 788 mm e temperatura anual média de 24,3 °C com os meses chuvosos ocorrendo de março a outubro e os secos de novembro a fevereiro (BIOCLIM versão 1.4) (Hijmans et al. 2005). A região compreende, segundo Silva & Casteleti (2005), ao domínio da Mata Atlântica, estando localizado na sub-região biogeográfica do Rio São Francisco que possui área de 125.452km² e inclui as florestas sazonais decíduas e semidecíduas ao longo do vale do Rio São Francisco, nos estados de Minas Gerais e Bahia (Pennington et al. 2000). A sub-região São Francisco é considerada uma área de transição, caracterizada pela ocorrência de biotas com histórias evolutivas distintas (Silva & Casteleti 2005).

As cavernas estudadas

O estudo foi desenvolvido em 16 cavidades na região cárstica de Iuiú, distribuídas nos maciços denominados de Serra de Iuiú, Serrinha, Vai Quem Quer e Sepultamento (Figura 1). A Tabela 1 apresenta as coordenadas geográficas e altitude das cavernas, além do desenvolvimento linear de cada uma das cavidades estudadas.

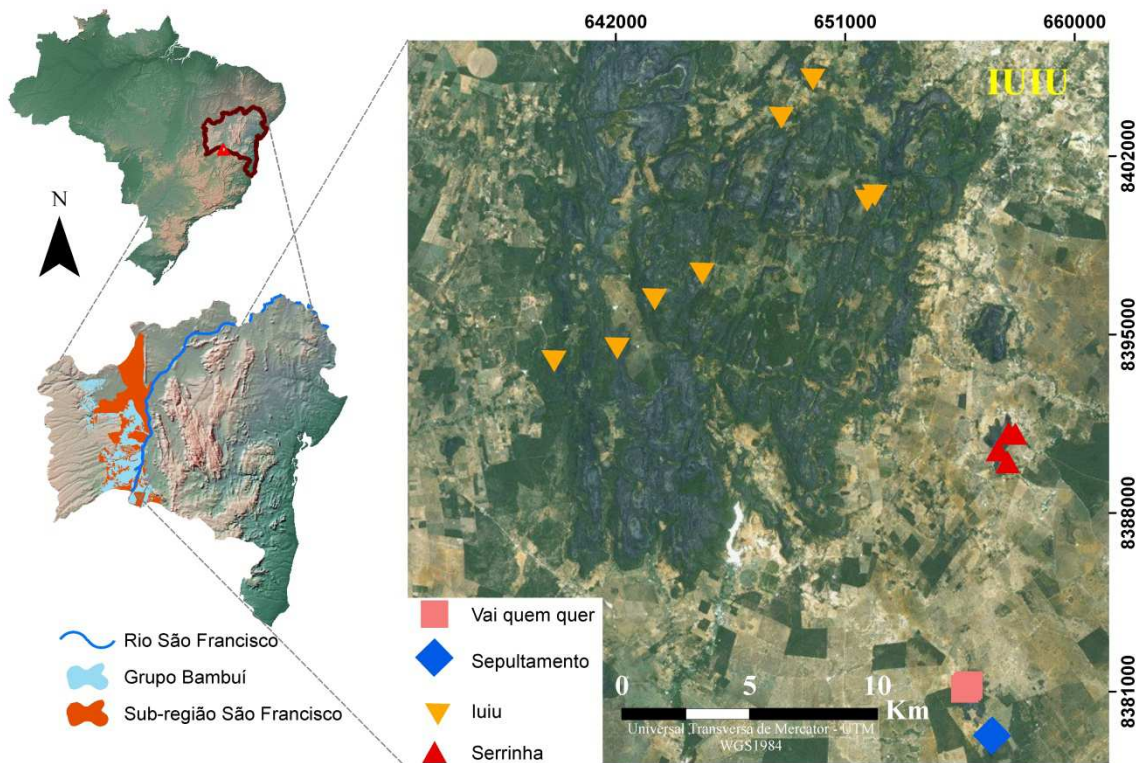


Figura 1 - Localização das cavidades amostradas na região cárstica de Iuiú nos diferentes maciços residuais.

Tabela 1- Localização em UTM e desenvolvimento linear estimado (DLE) das cavernas amostradas na região cárstica de Iuiú – BA.

Cavernas	Maciço	UTM X	UTM Y	Altitude (m)	Zona	DLE (m)
Abrigo do Honorato I	Iuiú	652031	8400651	517	23K	100
Lajedo da Veredinha	Iuiú	649597	8405204	618	23K	60
Sumidouro das Vacas	Iuiú	643391	8396582	808	23K	150
Toca Valada	Iuiú	645260	8397588	850	23K	450
Lapa do Honorato I	Iuiú	651726	8400447	863	23K	200
Baixão	Iuiú	648359	8403701	630	23K	150
Tocão	Iuiú	639456	8394151	561	23K	80
Tapera d' Água	Iuiú	641928	8394656	627	23K	150
Sepultamento	Sepultamento	656761	8379281	469	23K	510
Gruta da Raiz	Serrinha	657372	8389988	505	23K	100
Garganta do Macaco	Serrinha	656986	8390458	502	23K	400
Toca Fria	Serrinha	657667	8391107	504	23K	2500
Toca do Urubu-Jatobá	Serrinha	657396	8391132	507	23k	3000
Picoteamento	Vai Quem Quer	655776	8381186	491	23K	30
Vai Quem Quer	Vai Quem Quer	655678	8381105	500	23K	45
Toca da Onça	Vai Quem Quer	655847	8381251	489	23K	150

Amostragem da fauna de invertebrados nas cavernas

A amostragem dos invertebrados foi realizada no mês de setembro de 2016 em apenas uma visita a cada caverna. Métodos combinados de amostragem, ao nível de microescala e mesoescala, foram utilizados para acessar a diversidade da fauna de invertebrados.

Para as coletas em microescala, utilizou-se 125 quadrantes de 1m², com treliças que limitavam 100 quadrículas com áreas similares (Figura 2). Nestas foram realizadas buscas visuais e coletas ativas manuais exaustivas dos invertebrados, executadas por dois coletores (Figura 2) que utilizaram pincel umedecido em álcool 70%, aspiradores e pinças.

Em mesoescala, foram realizadas buscas ativas visuais e coletas manuais, com uso de pincel e pinças, ao longo de transectos de 100 metros limitado pela área do conduto amostrado, dispostos a cada 500 metros de desenvolvimento linear da cavidade (para cavernas com mais de 500 metros). Cavernas com desenvolvimento linear menor que 100 metros o transecto compreendeu a toda extensão da cavidade. Nos transectos as coletas preferenciaram biótopos de maior probabilidade à ocorrência de invertebrados, como locais com acúmulos de matéria orgânica vegetal, depósitos de guano e espaços sob rochas, além de troncos, locais úmidos e poças d'água, conforme metodologia descrita por Ferreira (2004) (Figura 2). Ferreira (2004) não recomendou a coleta excessiva de organismos nas cavernas pelo fato de potencialmente prejudicar a manutenção de populações viáveis na caverna, pela retirada excessiva de indivíduos de populações muitas vezes pequenas.

Durante a amostragem nos transectos, cada organismo observado teve sua posição registrada em um croqui de planta baixa com grau de precisão BCRA 1B, de forma que, ao final de cada coleta, foi possível a obtenção de informações concernentes às abundâncias de cada espécie (Ferreira 2004, Oliveira 2014). A área de amostragem do transecto foi estimada com base na extensão e largura plotadas no croqui.

Ambos os métodos citados acima (microescala e mesoescala) não foram limitados pelo tempo, de modo que a coleta era finalizada quando o coletor julgava que todos os espécimes presentes haviam sido amostrados e/ou contabilizados (Ferreira 2004, Oliveira 2014).



Figura 2 - Coleta dos invertebrados nas cavernas da região cárstica de Iuiú - BA. A) Coleta em quadrante na microescala de amostragem. B) Coleta no transecto, em mesoescala de amostragem.

Triagem e identificação da fauna e depósito em coleção

Todos os organismos coletados foram conservados em álcool 70%, posteriormente identificados até o menor nível taxonômico possível e separados em morfoespécies, sendo parte deste material encaminhado a especialistas. Todos os espécimes encontram-se depositados na coleção de invertebrados subterrâneos de Lavras (ISLA), da Universidade Federal de Lavras (UFLA) (www.biologiasubterranea.com.br).

Determinação de espécies troglóbias

Para a determinação de espécies troglóbias foram consideradas características consideradas troglomórficas (troglomorfismos), utilizando critérios mencionados em literatura (e.g.: Baptista & Giupponi 2003, Pinto-da-Rocha 1996, Souza & Ferreira, 2010, Pellegrini & Ferreira 2011, Ratton et al. 2012, Prevorcnik et al. 2012, Hoch & Ferreira 2012, Iniesta & Ferreira 2013, Bastos-Pereira & Ferreira 2015, Iniesta & Ferreira 2015, Brescovit et al. 2012, Hoch & Ferreira 2016). 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 & 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 espécies que apresentaram troglomorfismos específicos foram consideradas troglóbias (Sket 2008).

Análise dos dados

A riqueza (diversidade alfa) e abundância das espécies foram contabilizadas para cada unidade e escala amostral. A somatória das amostras presentes em cada caverna gerou, para cada escala de amostragem (quadrante e transecto), dados de riqueza e abundância para as cavidades.

Para a obtenção da riqueza e abundância relativa das espécies para as cavernas nas diferentes escalas, os valores foram divididos pela área amostrada. Para cavernas com mais de um transecto foi realizada uma média aritmética das riquezas relativas encontradas entre as unidades de uma mesma caverna. O teste não paramétrico de Mann-Whitney foi usado para testar diferenças significativas na riqueza e abundância relativa entre as escalas amostrais (microescala e mesoescala) e entre os maciços cársticos.

A diversidade de cada escala amostral foi calculada para cada caverna por meio do índice de Shannon-Wiener (Magurran 2004).

O escalonamento multidimensional não métrico (n-MDS) foi utilizado para visualizar a similaridade das comunidades cavernícolas entre as escalas amostrais e entre os diferentes maciços cársticos em cada escala amostral. Foi utilizado o índice de similaridade de Bray-Curtis para comparações entre as mesmas escalas e o de Jaccard para a comparação entre as diferentes escalas (Magurran 2004). A significância dos agrupamentos foi testada pelo teste ANOSIM one-way (Clarke 1993). As análises foram realizadas no software Primer 6.0.

Como proposto por Cardoso et al. (2015), a diversidade beta das comunidades de invertebrados das cavernas foi calculada utilizando o pacote *BAT* do programa R 2.15.3. Esta análise nos permite avaliar se a dissimilaridade entre as comunidades é influenciada pela substituição ou por aninhamento das espécies, nas diferentes escalas de amostragem. A diversidade beta total (β_{sor}) varia de 0 a 1 e representa a soma da diversidade beta por substituição (β_{sim}) e da diversidade beta por aninhamento (β_{nes}).

A suficiência amostral foi avaliada para microescala, mesoescala e para ambas as escalas através de curvas de acumulação de espécies, que consiste na plotagem do número acumulativo de espécies em cada evento amostral nas cavernas. A curva acumulativa de espécies foi comparada à tendência esperada, segundo os dados gerados pelo modelo Jack-Knife 1 e 2 (Magurran 2004), que se mostraram como os melhores estimadores pela função *accuracy* do pacote *BAT* do programa R 2.15.3.

Resultados

Composição e riqueza geral da fauna

Nas 16 cavernas amostradas foram encontrados 6870 indivíduos pertencentes a 258 espécies de invertebrados e distribuídos em pelo menos 79 famílias (Tabela 1). Nos quadrantes foram registrados 684 indivíduos de 117 espécies, com 51 espécies exclusivas. Nos transectos foram registrados 6186 indivíduos de 206 espécies, com 140 espécies exclusivas. No total, 66 espécies foram compartilhadas entre as duas escalas amostrais (Figura 3). Os táxons Hexapoda (185 spp), Arachnida (84 spp), Myriapoda (30 spp) apresentaram o maior número de morfoespécies respectivamente (Figura 3).

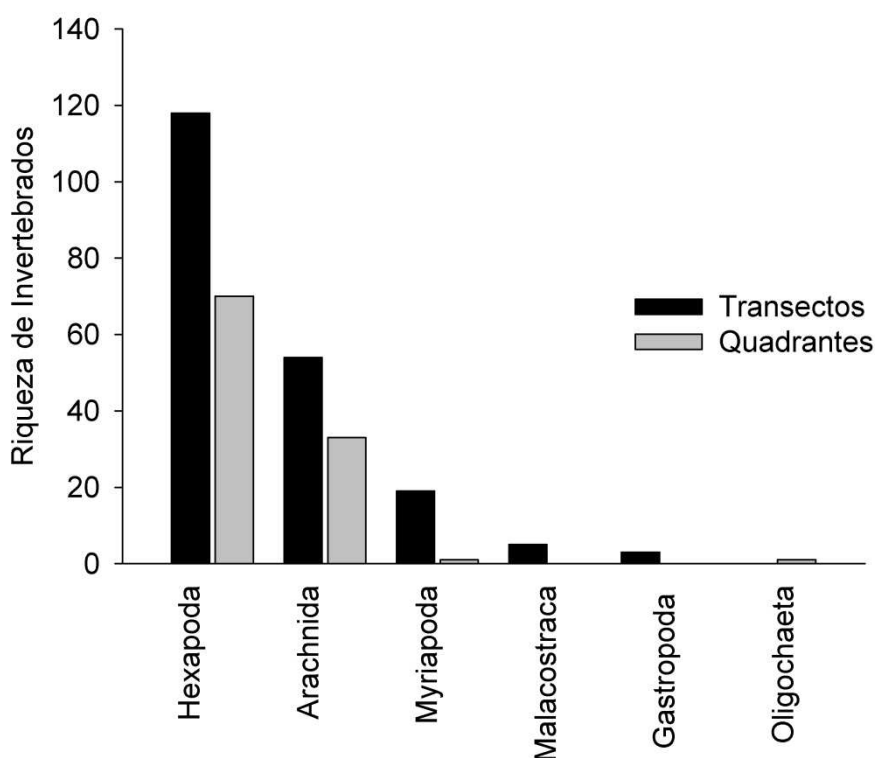


Figura 3 – Riqueza de espécies de invertebrados dos principais táxons observados em ambas as escalas amostrais nas cavidades da região cárstica de Iuiú - BA.

As ordens Araneae (38 spp), Coleoptera (37 spp), Hymenoptera (30 spp), Diptera (24 spp), Hemiptera (14 spp) e Pseudoscorpiones (12 spp), apresentaram o maior número de espécies (Figura 4). Em Coleoptera, o maior número de espécies ocorreu nas famílias Tenebrionidae (8 spp) e Staphylinidae (6 spp). Em Araneae, o maior número de espécies ocorreu em Pholcidae, Ctenidae e Sicariidae, com quatro

espécies cada. Em Hymenoptera, o maior número de espécies ocorreu em Formicidae (26 spp). Em Diptera o maior número de espécies ocorreu em Dolichopodidae (2spp).

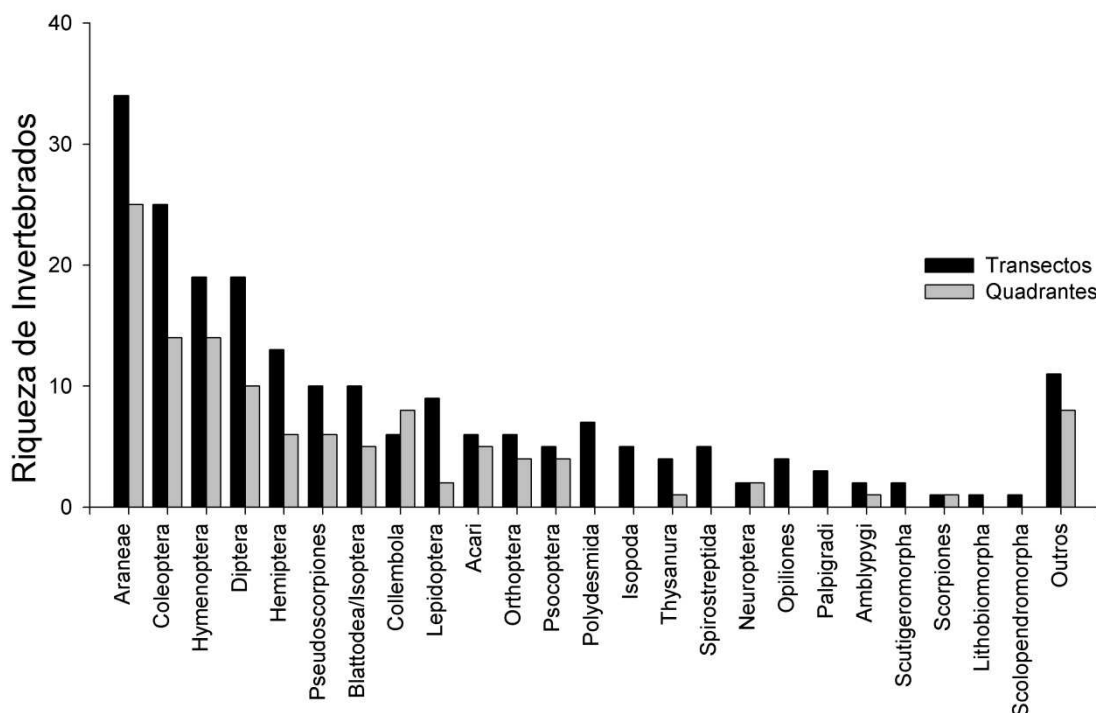


Figura 4 - Riqueza total das principais ordens de artrópodes em ambas as escalas amostrais nas cavidades na região cárstica de Iuiú – BA

A riqueza média total por caverna, considerando ambas as escalas amostrais, foi de 36,5 espécies por caverna ($dp \pm 11,9$). A riqueza média entre as unidades amostrais na microescala foi de $2,4 \pm 2$ spp por quadrante, enquanto para a mesoescala foi de $21,8 \pm 8$ spp por transecto. A riqueza média observada na microescala foi de 12,4 espécies por caverna ($dp \pm 6,9$), enquanto na mesoescala foi observada uma riqueza média de 27,4 ($dp \pm 10,9$). Somando-se a riqueza de ambas as escalas amostrais as cavidades Toca Fria (53 spp), Tocão (51 spp) e Urubu-Jatobá (51 spp) apresentaram a maior riqueza de espécies. A caverna que apresentou maior riqueza de espécies na microescala foi a Tocão (25 spp), seguida pela Toca Fria (24 spp) e Tapera d'Água (21 spp). Na mesoescala as cavidades da Toca Fria (48 spp), Urubu-Jatobá (40 spp) e Sumidouro das Vacas (39 spp), apresentaram maior riqueza de espécies (Figura 6).

O maciço de Iuiú apresentou a maior riqueza média de espécies nas unidades amostrais, tanto para a microescala ($3,4 \pm 2,5$ spp) quanto para a mesoescala ($29,6 \pm 8,2$ spp) seguido pelos maciços do Vai Quem Quer ($2,7 \pm 1,6$ spp), Sepultamento ($2,1 \pm 1,8$ spp) e Serrinha ($1,7 \pm 1,6$ spp) na microescala e pelos maciços do Sepultamento ($21,5 \pm$

3,5 spp), da Serrinha ($18,1 \pm 5,2$ spp) e do Vai Quem Quer ($16,3 \pm 4,9$ spp) na mesoescala.

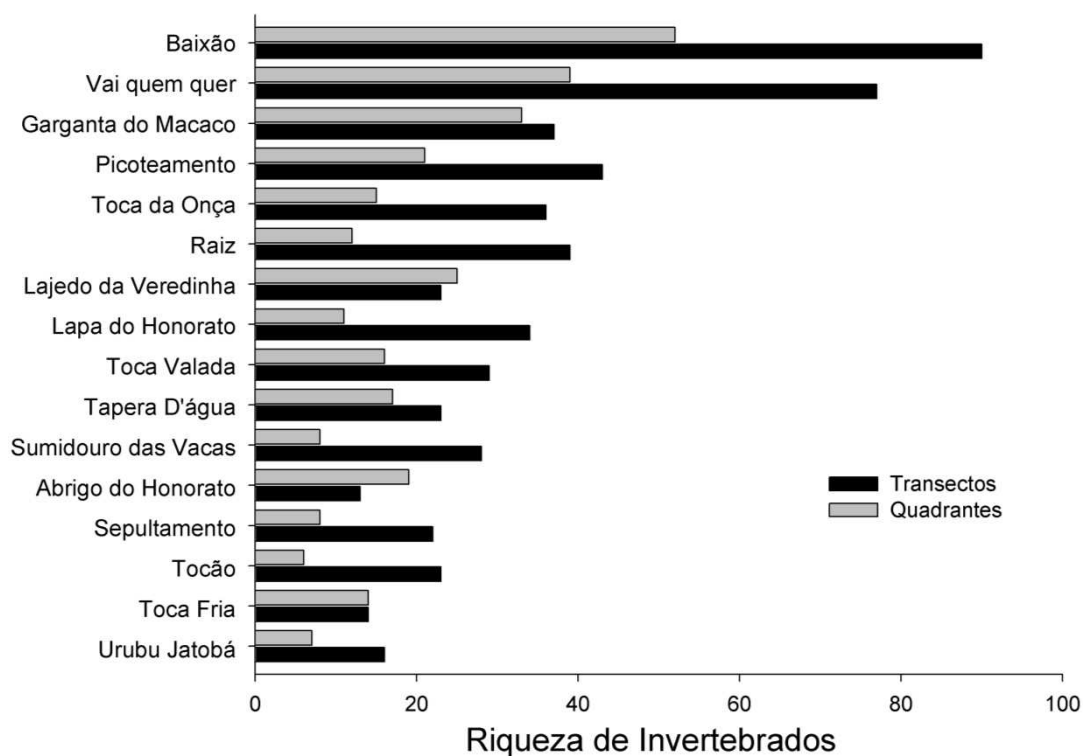


Figura 5 – Distribuição da riqueza de espécies de invertebrados em ambas as escalas amostrais nas cavernas da região cárstica de Iuiú - BA.

Quanto à riqueza relativa na microescala, as cavernas que apresentaram os maiores valores foram Tocão ($6,6$ spp/m²), Toca da Onça ($3,8$ spp/m²) e Lajedo da Veredinha ($3,6$ spp/m²). Na meso escala, as cavernas que apresentaram a maior riqueza relativa foram as cavernas Sumidouro das Vacas ($0,26$ spp/m²), Picoteamento ($0,24$ spp/m²) e Tocão e Lajedo da Veredinha com $0,19$ spp/m² cada (Tabela 2). O maciço de Iuiú apresentou a maior riqueza relativa média em microescala; já em mesoescala, as cavernas do maciço de Iuiú e do maciço do Vai Quem Quer, não apresentaram diferenças significativas na riqueza relativa média de espécies (Mann-Whitney, $p=0,9$), sendo ambos maciços com a maior riqueza relativa na mesoescala.

A riqueza e abundância relativa das espécies nos quadrantes foram significativamente maiores do que nos transectos (Mann-Whitney, riqueza - $p= 0,000$; Mann-Whitney, abundância - $p= 0,000$) (Figura 7)

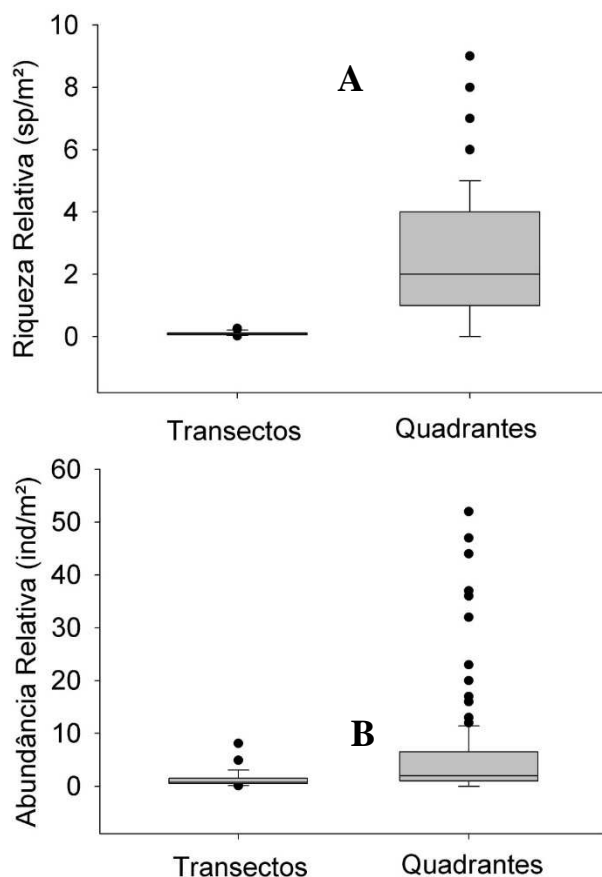


Figura 6 - Diferença significativa nas médias de (Mann-Whitney) riqueza (A) e abundância relativa (B) de espécies de invertebrados para as cavernas da região cárstica de Iuiú – BA. Estão representados a mediana e os quartis (caixa cinza), os limites superiores e inferiores (barras) e os outliers (pontos).

Espécies troglomórficas

Das 16 cavernas amostradas foram registradas 20 espécies de invertebrados com características troglomórficas distribuídas em seis cavernas, considerando as duas escalas de amostragem (Tabela 1). Do total, 91% das espécies troglomórficas foram coletadas somente em mesoescala, sendo que na microescala foram coletadas apenas duas espécies (*Loxocoles* sp. e *Diplopoda* sp). Apenas duas espécies troglomórficas foram encontradas fora do maciço da Serra de Iuiú, compreendendo a uma espécie de pseudoescorpião da família *Chtoniidae* e um besouro da família *Elateridae*, ambos na caverna do Sepultamento. As cavernas Baixão (10 spp) e Tapera d'Água (5 spp) apresentaram as maiores riquezas de espécie troglomórficas.

Ao todo, 18 espécies consideradas troglomórficas foram encontradas no habitat terrestre, enquanto duas espécies de isópodes da família *Styloniscidae* foram encontradas nos habitats terrestres e aquáticos (anfíbios). Os táxons *Arachnida* (10 spp)

e Myriapoda (4 spp), apresentaram as maiores riquezas de espécies troglomórficas. Em Arachnida, as espécies ocorreram em Palpigradi (3 spp), Pseudoscorpiones (3 spp), Araneae (3 spp) e Opiliones (1 spp). Em Myriapoda, ocorreram em Diplopoda (3 spp) e Chilopoda (1 spp). A maior parte das espécies troglomórficas foi encontrada em locais úmidos ou com presença de corpos d'água e geralmente em baixa densidade.

Diversidade das comunidades de invertebrados

Em microescala, os valores de diversidade de Shannon-Wiener foram mais altos para as cavernas Tapera d'Água ($H'=2,67$), Toca Fria ($H'=2,38$) e Sepultamento ($H'=2,57$). Na mesoescala os maiores valores de diversidade foram registrados para as cavernas Toca Fria ($H'= 2,63$), Abrigo do Honorato ($H'= 2,63$) e Sumidouro das Vacas ($H'= 2,63$).

Tabela 2 – Estrutura das comunidades de invertebrados nas cavernas amostradas na região cárstica de Iuiú – BA, em quadrantes e transectos. (NQ = Número de quadrantes; NT = Número de transectos; SQ = Riqueza total dos quadrantes; SRQ = Riqueza relativa dos quadrantes; ST = Riqueza total dos Transectos; SRT = Riqueza relativa dos Transectos; Stotal - Riqueza total; Ab – Abundância total; H' – Índice de diversidade de Shannon-Wiener).

Cavernas	NQ	NT	SQ	SRQ	ST	SRT	Stotal	Ab	H'
Maciço de Iuiú									
Tocão	5	1	25	6,6	36	0,19	51	1864	2,11
S. das Vacas	5	1	11	2,40	39	0,26	42	753	2,51
Tapera d'Água	5	1	21	5	19	0,09	42	256	2,92
Abrigo do Honorato	5	1	11	3	36	0,07	39	321	2,58
Lapa do Honorato	5	1	10	3,2	28	0,05	38	231	2,36
Toca Valada	5	1	8	2,2	34	0,11	38	303	2,61
Lajedo da Veredinha	5	1	14	3,4	23	0,19	32	175	2,44
Baixão	5	1	4	1,4	8	0,05	20	544	1,20
Maciço Serrinha									
Toca Fria	20	4	24	1,95	48	0,08	63	1120	2,83
Urubu-Jatobá	30	6	18	1,73	40	0,06	51	1419	2,51
Raiz	5	1	6	1,6	28	0,09	33	185	2,69
Garganta do Macaco	5	1	4	1,2	23	0,09	27	224	2,55
Maciço Vai quem Quer									
Picoteamento	5	1	4	1,6	22	0,24	24	147	2,42
Toca da Onça	5	1	12	3,8	13	0,03	24	106	2,50
Vai Quem Quer	5	1	9	2,8	14	0,16	22	178	1,88
Maciço Sepultamento									
Sepultamento	10	2	18	0,10	28	0,07	39	1629	2,24

Similaridade e Turnover da fauna

Na microescala, considerando os quadrantes como unidades, praticamente não houve separação entre os grupos formados pelas cavernas de um mesmo maciço

(ANOSIM; $R = 0.05$, $p = 0.003$). No entanto, a análise em mesoescala permitiu observar que houve um maior agrupamento entre as cavernas de um mesmo maciço (ANOSIM; $R = 0.43$, $p = 0.0001$), sendo que os maciços de Serrinha e de Iuiú ($p = 0.0001$) e da Serrinha e Sepultamento ($p = 0.001$) apresentaram grupos significativamente diferentes (Figura 7).

O ANOSIM mostrou que houve similaridade na composição da fauna entre as cavernas na microescala e mesoescala (ANOSIM; $R = 0.33$, $p = 0.05$) (Figura 8).

Entre as cavernas a dissimilaridade foi explicada em ambas as escalas amostrais pela substituição de espécies ($\beta_{sim(Micro)} = 0.96$; $\beta_{sim(Meso)} = 0.86$). Considerando ambas as escalas amostrais juntas (micro + meso) a dissimilaridade também foi explicada pela substituição de espécies ($\beta_{sim} = 0.98$) (Tabela 3).

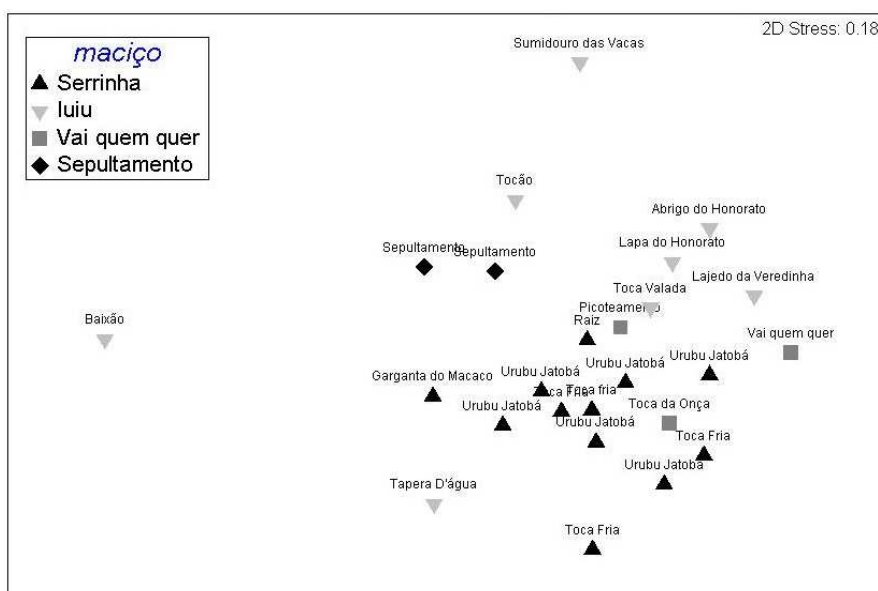


Figura 7 - n-MDS evidenciando a similaridade da fauna de invertebrados das cavernas nos maciços da Serrinha, Iuiú, Vai Quem Quer e Sepultamento para as cavernas amostradas na mesoescala na região cárstica de Iuiú – BA.

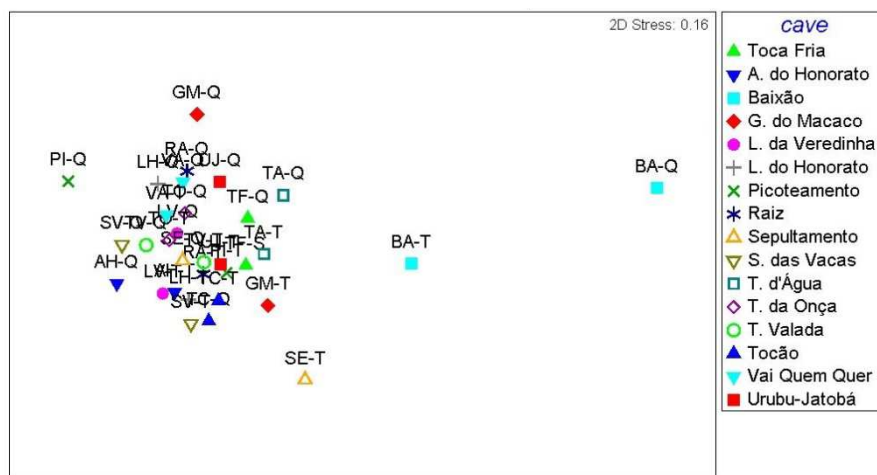


Figura 8 - Similaridade da fauna de invertebrados das cavernas nos maciços da Serrinha, Iuiú, Vai Quem Quer e Sepultamento entre as diferentes escalas amostrais (microescala – Q; mesoescala - T) para as cavernas amostradas na região cárstica de Iuiú – BA.

Tabela 3 – Valores da diversidade beta total entre as cavernas nas diferentes escalas de amostragem (β_{sor}), e da sua partição em puro turnover (β_{sim}) e puro aninhamento (β_{nes}), para os invertebrados cavernícolas.

Escala	Beta total β_{sor}	Substituição β_{sim}	Aninhamento β_{nes}
Micro	0.98	0.96	0.01
Meso	0.90	0.86	0.03
Micro+Meso	0.99	0.98	0.00

Suficiência amostral

As curvas de acumulação de espécies indicaram uma amostragem, a princípio, não satisfatória do número potencial de espécies presente na área, indicando que as amostragens não revelaram o real número de espécies da região cárstica (Figura 9). Os modelos Jack-Knife 1 e 2 gerados (Figura 10) indicam um número esperado de espécies superior ao observado nas cavidades.

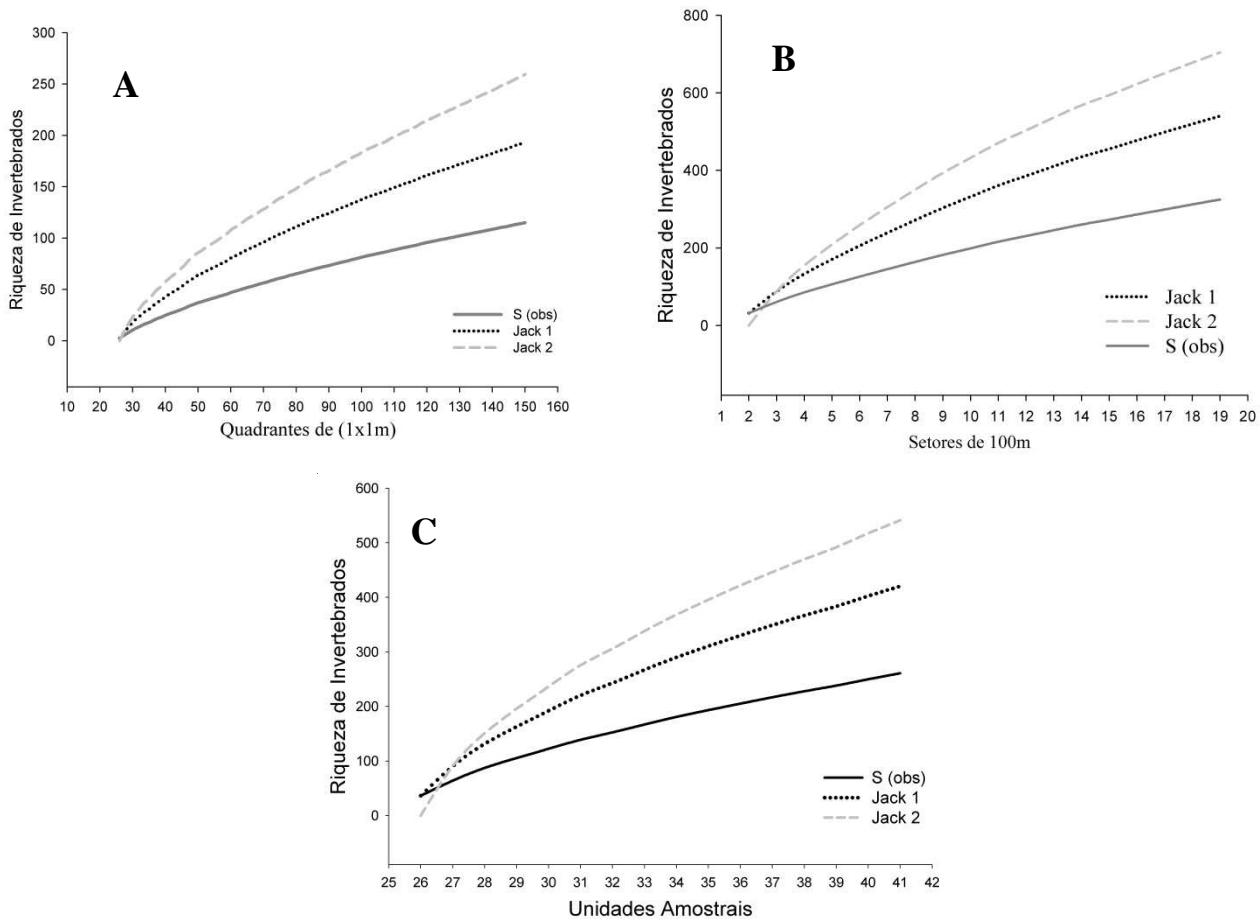


Figura 9 - Modelos Jackknife 1 e 2 para as cavernas amostradas na região cárstica de Iuiú – BA. A) modelos para a microescala. B) modelos para a mesoescala C) modelos para ambas às escalas (micro + meso).

Discussão

A maior parte dos trabalhos que amostraram a fauna subterrânea em todo mundo não se preocupam com espécies troglófilas, bem como não buscam compreender padrões de comunidades subterrâneas como um todo, a não ser em caso de comunidades específicas, como as associadas a depósitos de guano por exemplo (Ferreira et al. 2000, Santana et al. 2010, Pellegrini & Ferreira 2012). A grande maioria das espécies observadas no presente estudo, assim como em outros realizados no Brasil (por exemplo, Souza-Silva & Ferreira 2015), compreende a espécies troglófilas, que compõe a maior parte da fauna cavernícola.

Estudos com as comunidades de invertebrados cavernícolas nas regiões brasileiras que compreendem ao clima semiárido são escassos (Bento et al. 2016), sendo a maioria dos trabalhos realizados em regiões tropicais úmidas (Trajano et al. 2016), que podem ser estruturadas de maneiras totalmente distintas. Invertebrados podem ter

reduzida capacidade de dispersão em climas secos devido sua sensibilidade à dessecação (Maxted et al. 2005).

Composição e riqueza da fauna

Variações locais e regionais na riqueza das comunidades podem ser reflexos dos diferentes grupos colonizadores presentes no meio epígeo, de características físicas e tróficas das cavernas, ou ainda das modificações antrópicas nas cavernas e paisagem do entorno (Gooch & Hetrick 1979, Ferreira & Martins 2001, Prous et al. 2004, Goricki & Trontelj 2006, Culver et al. 2006, Bento 2011, Souza-Silva et al. 2011a, Pellegrini et al. 2016).

A composição da fauna de invertebrados nas cavernas do Brasil tem se mostrado altamente heterogênea (e.g., Iniesta et al. 2012, Simões et al. 2012, Souza-Silva & Ferreira 2015). No entanto é importante destacar que os métodos empregados no presente estudo foram distintos daqueles empregados em outros trabalhos, o que dificulta comparações desta natureza.

A maior riqueza e abundância relativa de espécies observadas nos quadrantes já eram esperadas, uma vez que nesta metodologia foram realizadas coletas exaustivas e mais detalhadas no substrato. Entretanto, é importante considerar que as duas metodologias são complementares, e contribuíram consideravelmente para o incremento da riqueza de espécies observadas. Segundo Bichuette et al. (2015), características distintas das espécies, podendo estar relacionadas ao tamanho corporal e a mobilidade, podem influenciar a eficácia de métodos de amostragem em diferentes escalas. O uso de quadrantes aumenta as chances de se coletar organismos de pequeno tamanho corporal e associados à micro-hábitats. Por outro lado, uso de transectos pode se mostrar mais eficiente na coleta de espécies com indivíduos com maior tamanho corporal (Bichuette et al., 2015).

A maior riqueza de espécies encontradas na Toca fria e Urubu-Jatobá pode ser reflexo do efeito do tamanho das cavernas, uma vez que as mesmas possuem mais de 2000 metros de desenvolvimento linear, possuindo também um maior número de unidades amostrais. Diversos autores encontraram uma maior riqueza em cavernas mais extensas (Ferreira, 2005, Souza-Silva et al. 2011a, Jaffé et al. 2017, Culver et al. 2004). Em cavernas maiores, a disponibilidade de micro habitats e recursos alimentares para fauna podem ser maiores, o que possibilita a ocorrência de um maior número de espécies (Souza-Silva et al. 2011a), até mesmo por unidade de área.

A caverna Tocão apresentou poças de água distribuídas por toda caverna (sendo as mesmas repletas de raízes e depósitos de matéria orgânica), além de guano de quirópteros, o que talvez possa explicar a alta riqueza observada. A presença de corpos de água nas cavernas pode determinar a estrutura das comunidades de invertebrados, tendo como consequência o aumento da riqueza de espécies (Poulson & Lavoie 2001, Souza-Silva et al. 2011a, Simões et al. 2015).

A maior riqueza relativa encontrada no maciço do Vai Quem Quer pode dever-se à elevada riqueza encontrada na caverna do Picoteamento. Esta cavidade apresenta um pequeno desenvolvimento linear e uma ampla entrada. Entradas compreendem locais de conexão entre ambientes epígeos e hipógeos funcionando como uma janela para colonizações das cavernas, além de abrigar ricas comunidades de invertebrados, (Prous et al. 2004, 2015, Ferreira et al. 2015), e permitir também fluxo de nutrientes para as cavernas (Souza-Silva et al. 2013). Alguns estudos demonstraram que a variação na riqueza de espécies entre as comunidades podem estar relacionadas ao pool de espécies associadas a cada comunidade em particular (Gaston & Chown 2005, Freestone & Harrison 2006), no caso das cavernas o pool de espécies epígeas (Rabelo 2015).

Diversidade nas comunidades de invertebrados

Pouquíssimos estudos consideraram a diversidade beta em cavernas no Brasil (Souza-Silva et al. 2011c, Souza-Silva & Ferreira 2015, Simões et al. 2015, Gomes 2017), sendo que apenas Gomes (2017) utilizou metodologia similar à do presente estudo e encontrou altos valores de beta diversidade entre as cavernas influenciadas pela substituição de espécies, assim como o registrado para o presente estudo. A heterogeneidade nas características físicas e tróficas das cavernas pode determinar uma grande substituição de espécies entre as mesmas (Simões et al. 2015). Ricklefs (2004) sugeriu que, ao longo do tempo evolutivo, a exclusão competitiva em toda uma região deveria promover a especialização para o habitat e reduzir a distribuição média das espécies, levando a um aumento da substituição espacial de espécies entre as comunidades.

Riqueza de espécies Troglomórficas

As espécies troglomórficas encontradas no presente estudo se caracterizam, em sua maioria, como espécies de pequeno tamanho corporal, como palpígrados, isópodas,

pseudoescorpiões e hemípteras, sendo majoritariamente caracterizados por possuírem hábitos predadores, detritívoros e fitófagos.

Apesar da região cárstica de Iuiú, a princípio, não se destacar com relação à riqueza de espécies troglomórficas no Brasil (Rabelo 2015, Simões et al. 2014, Souza, 2012, Souza-Silva et. al. 2011b), chama-se a atenção para a composição da fauna troglóbia da região, com ocorrência de espécies que não são comuns no que diz respeito à restrição ao habitat subterrâneo (*Loxocoles* sp., *Iuiuia caeca*), além de comportamentos também únicos como a construção de abrigos em *Iuiuniscus iuiuensis* (Souza et al. 2015) e outros isópodes da família Styloniscidae observados no presente estudo. Além disso *I. iuiuensis* e *I. caeca* foram descritos como gêneros novos, fato que não é comum no meio taxonômico.

As cavernas do Baixão e Tapera d'Água destacam-se em relação ao elevado número de espécies troglomórficas, principalmente considerando a pequena extensão destas cavidades. No Brasil são conhecidas poucas cavernas com mais de 10 espécies troglomórficas (Souza-Silva et al. 2011, Souza 2012, Ratton 2012, Souza-Silva & Ferreira 2016). Eventos de amostragem adicionais são necessários e podem revelar, como no caso da caverna Baixão (10 spp), um número considerável de espécies troglóbias quando se compara com as cavernas brasileiras. Ambas as cavernas apresentam corpos de água subterrâneos permanentes, que são importantes para determinar a biodiversidade cavernícola, principalmente se tratando de espécies endêmicas (Culver & Sket 2000, Culver & Pipan 2009). Além disso, o ambiente árido ocorrente no meio epígeo pode ter levado ao isolamento destas populações em ambientes permanentemente úmidos como no caso destas cavernas.

Similaridade nas comunidades de invertebrados

Em mesoescala observa-se que os fatores regionais tiveram uma forte influência sobre a composição das espécies, pois as diferenças entre cavernas de um mesmo maciço são menos pronunciadas do que entre do que as de maciços diferentes. Segundo Myers et al. (2013) as comunidades epígeas das zonas temperadas sofrem forte influência ambiental, enquanto nos trópicos sofrem mais influência da variação espacial das comunidades, o que pode ter relação com a identidade espacial de cada maciço cárstico com relação aos invertebrados cavernícolas.

No entanto, cavernas em um mesmo maciço, como Baixão e Tapera d'Água, apresentam-se bastantes dissimilares das demais. Tal dissimilaridade pode estar

relacionada à umidade encontrada nos sedimentos destas cavernas, favorecendo a ocorrência de espécies distintas em relação às demais cavernas que se apresentaram secas.

O menor agrupamento entre as cavernas de mesmo maciço observada nas coletas em microescala pode ser devido às condições ecológicas heterogêneas de cada sistema, principalmente em termos de estrutura trófica (Simões et al. 2015, Souza-Silva & Ferreira 2016), que talvez afete mais as espécies encontradas em escalas menores, que no geral possuem menor tamanho corporal e menor capacidade de dispersão e são mais sensíveis à heterogeneidade (Gomes 2017). Além disso, unidades amostrais menores tendem a aumentar a variância dos dados, o que pode resultar na ausência de padrões espaciais (Fortin & Dale 2005).

Diversos trabalhos em cavernas, a distribuição espacial das comunidades subterrâneas se mostrou altamente heterogênea entre cavernas e dentro de uma mesma caverna (Culver & Sket 2000, Ferreira 2005, Souza-Silva et al. 2011b, Prous et al. 2015, Simões et al. 2015). Mesmo cavernas proximamente localizadas, caso pertençam à micro-bacias diferentes, podem possuir dinâmicas e propensões absolutamente distintas a receber, por exemplo, recursos orgânicos e poluentes do meio externo (Arcova & Cicco 1999).

A legislação brasileira, desde 2008, vem passando por grandes mudanças no que diz respeito à conservação do patrimônio espeleológico (Decreto Federal nº6640/08, a IN/MMA nº2/09, IN/ICMBIO nº1/17). As cavernas passaram a ser categorizadas, a partir de atributos físicos e biológicos, em diferentes graus de relevância, sendo que apenas as que apresentam grau de relevância máxima não podem ser suprimidas. A IN/ICMBIO nº1/17 trata da compensação dos danos às cavernas a partir da conservação de outras cavidades com o mesmo grau de relevância. Como observado no presente estudo, as comunidades troglófilas podem não estar homogeneamente distribuídas, sendo que a compensação de danos a determinada caverna utilizando outra caverna espacialmente desconexa, pode resultar em perda da biodiversidade.

Suficiência amostral das comunidades de invertebrados

Grande parte das amostragens da biodiversidade em comunidades de plantas e animais são incompletas pelo fato das mesmas serem representadas por poucas espécies comuns e muitas espécies incomuns ou raras (Chao et al. 2015). Desta forma, é quase uma regra não atingir assíntota da curva de acumulação em estudos de curta duração,

estudos com invertebrados e/ou amplas escalas espaciais. Para as cavernas é comum em muitos estudos com invertebrados a indicação de uma insuficiência amostral (Shneider & Culver 2004, Souza-Silva & Ferreira 2009, Zampaulo 2010), mesmo com um amplo esforço amostral. Como exemplo Zampaulo (2010), amostrou 296 cavernas distribuídas em três municípios adjacentes e Souza-Silva (2003) amostrou mais de 100 cavernas na Mata Atlântica brasileira, e ambos não alcançaram a assíntota das curvas de acumulação de espécies.

Uma extensa amostragem regional, ainda que não produza curvas de acumulação saturadas, fornecem uma estimativa da diversidade geral dos ambientes subterrâneos (Castellarini et al. 2007, Dole-Olivier et al. 2009), gerando dados para a avaliações rápidas da biodiversidade subterrânea, possibilitando futuras comparações (Souza-Silva et al. 2015, Simões et al. 2015).

Considerações finais

As comunidades de invertebrados subterrâneos apresentam diferentes estruturas quando se altera a escala amostral. Comunidades amostradas em microescala podem ser compostas por uma fauna constituídas de espécies de menor tamanho corporal, que muitas vezes não são capturadas em escalas amostrais maiores. As coletas em microescala, porém, não se mostraram eficientes para a amostragem de espécies troglomórficas. Já as comunidades em mesoescala constituem-se de uma fauna mais heterogênea e com presença de organismos maior tamanho corporal. Esta metodologia se mostrou mais eficaz na amostragem de espécies troglomórficas, porém amostrando uma menor riqueza e abundância relativa de espécies de invertebrados. Em mesoescala as comunidades se assemelharam mais em unidades amostrais contidas em um mesmo maciço cárstico.

Além disso, resultados mostraram que preservar a identidade dos maciços cársticos, nos quais as cavernas se distribuem, pode ser determinante na conservação da fauna cavernícola. A região cárstica de Iuiú, apesar de não se destacar quanto a riqueza e de invertebrados cavernícolas, apresenta elementos únicos desta fauna, porém com poucas espécies ainda descritas (Ratton et al. 2012, Souza et al. 2015, Hoch & Ferreira 2016, Vasconcelos & Ferreira, 2016). No entanto as cavernas da região cárstica de Iuiú não estão resguardadas por unidades de conservação, o que torna urgente mais estudos sobre a fauna subterrânea local com o intuito de auxiliar as ações de conservação sobre estes habitats.

Referências

- Arcova, F.C.S., Cicco, V. 1999. Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, Estado de São Paulo. *Scientia Florestalis*. 56: 125-134
- Baptista, R.L.C., Giupponi, A.P.L. 2003. A new troglomorphic Charinus from Minas Gerais state, Brazil (Arachnida: Amblypygi: Charinidae). *Revista Ibérica de Aracnología*. 7:79-84.
- Barr, T.C. 1968. Cave ecology and the evolution of troglobites. *Evol Biol*. 2:35-102.
- Baselga, A. 2007. Disentangling distance decay of similarity from richness gradients: response to Soininen et al., 2007. *Ecography*, 30: 838-841.
- Baselga, A. 2010. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*. 19: 134-143.
- Bastos-Pereira, R., Ferreira, R.L. 2015. A new species of *Spelaeogammarus* (Amphipoda: Bogidiel- loidea: Artesiidae) with an identification key for the genus. *Zootaxa*. 4021: 418-432.
- Bento, D.M. 2011. Diversidade de invertebrados em cavernas calcárias do oeste potiguar: subsídios para determinação de áreas prioritárias para conservação. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte.
- Bento, D.M., Ferreira, R.L., Prous, X., Souza-Silva, M., Bellini, B.C., Vasconcellos, A. 2016. Seasonal variations in cave invertebrate communities in the semiarid Caatinga, Brazil. *Journal of Cave and Karst Studies*. 68: 61-71.
- Bichuette, M.E., Simões, L.B., Von Schimonsky, D.M., Gallão, J.E. 2015. Effectiveness of quadrat sampling on terrestrial cave fauna survey - a case study in a Neotropical cave. *Acta Scientiarum*. 37: 345-351.
- Brasil. 2008. Decreto no 6.640, 07 novembro de 2008, dá nova redação aos arts. 1o, 2o, 3o, 4o e 5o e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto no 99.556, de 1o de outubro de 1990, que dispõe sobre proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. *Diário Oficial da União*, 218: 8-9.
- Brasil. 2009. Instrução Normativa No2, de 20 de agosto de 2009. Ministério do Meio Ambiente, Brasil.
- Brasil. 2017. Instrução Normativa nº 01, de 24/01/2017. Instituto Chico Mendes de Biodiversidade, Brasil.

- Brescovit, A.D., Ferreira, R.L., Souza-Silva, M., Rheims, C.A. 2012 *Brasilomma* gen. nov., a new prodidomid genus from Brazil (Araneae, Prodidomidae). *Zootaxa*. 3572: 23-32.
- Cardoso, P., Rigal F., Carvalho, J.C. 2015. BAT – Biodiversity Assessment Tools, an R package for the measurement and estimation of alpha and beta taxon, phylogenetic and functional diversity. *Methods in Ecology and Evolution*. 6: 232–236.
- Carvalho, J.C., Cardoso, P., Borges, P.A.V., Schmera, D., Podani, J. 2013. Measuring fractions of beta diversity and their relationships to nestedness: a theoretical and empirical comparison of novel approaches. *Oikos*. 122: 825–834.
- Carvalho, J.C., Cardoso, P., Gomes, P. 2012. Determining the relative roles of species replacement and species richness differences in generating beta-diversity patterns. *Global Ecology and Biogeography*. 21: 760–771.
- Castellarini, F., Dole-Olivier, M.J., Malard, F., Gibert J. 2007. Using habitat heterogeneity to assess stygobiotic species richness in the French Jura region with a conservation perspective. *Fundamental and Applied Limnology*. 169: 69-78.
- Chao, A., Hsieh, T.C., Chazdon, R.L., Colwell, R.K., & Gotelli, N.J. 2015. Unveiling the species-rank abundance distribution by generalizing the Good-Turing sample coverage theory. *Ecology*. 96(5): 1189-1201.
- Chapman, P. 1980. The biology of caves in the Gunung Mulu National Park, Sarawak. *Trans. Brit. Cave Res. Assoc.* 7: 141-149.
- Christiansen, K.A.1962. Proposition pour la classification des animaux cavernicoles. *Spelunca Mem.* 2:76-78.
- Christman, M.C., Doctor, D.H., Niemiller, M.L., Weary, D.J., Young, J.A., Zigler, K.S., et al. 2016. Predicting the Occurrence of Cave-Inhabiting Fauna Based on Features of the Earth Surface Environment. *PLoS ONE*. 11(8):1-19.
- Clarke, K.R. 1993. Non-parametric multivariate analyses of change in community structure. *Australian Journal of Ecology*. 18:117–143.
- Culver, D. C. 1982. *Cave life*. Cambridge, Harvard Univ., Massachusetts.
- Culver, D.C., & Pipan, T., 2014- *Shallow subterranean habitats: ecology, evolution, and conservation*.OUPOxford.
- Culver, D.C., Christman, M.C., Sereg, I., Trontelj, P., Sket, B. 2004. The location of terrestrial species-rich caves in a cave rich area. *Subterranean Biology*. 2: 27-32.

- Culver, D.C., Holsinger, J.R. 1992. How many species of troglobites are there? *Bulletin of the National Speleological Society*. 54:79–80.
- Culver, D.C., Pipan, T. 2009. *The biology of caves and other subterranean habitats*. Oxford University Press, London.
- Culver, D.C., Pipan, T., Gottstein, S. 2006. Hypohelminthic - a unique freshwater habitat. *Subterranean Biology*. 4: 1–7.
- Culver, D.C., Sket, B. 2000. Hotspots of subterranean biodiversity in caves and wells. *Journal of Cave and Karst Studies*. 62: 11–17.
- Deharveng, L. 2005. Diversity patterns in the tropics. In: Culver, D.C., White, W.B. (eds) *Encyclopedia of caves*. Elsevier Academic Press, p. 166–170.
- Deharveng, L., Bedos, A. 2000. The cave fauna of southeast Asia. In: Wilkens H., Culver, D.C., Humphries, W.F. (Eds) *Origin, Evolution and Ecology – Subterranean Ecosystems*. p. 603–632.
- Dole-Olivier, M.J., Malard, F., Martin, D., Lefebure, T., Gibert, J. 2009. Relationship between environmental variables and groundwater biodiversity at the regional scale. *Freshwater Biology*. 54:797-813.
- Elith, J., Leathwick, J.R. 2009. Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 40:677-697.
- Ferreira R.L., Martins, R.P. 2001. Cavernas em risco de extinção. *Ciência Hoje* 173: 20-28.
- Ferreira, R.L. 2004. A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos. Tese de doutorado, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Ferreira, R.L. 2005. A vida subterrânea nos campos ferruginosos. *O Carste*. 3(17):106-115.
- Ferreira, R.L., Martins, R.P., Yanega, D. 2000. Ecology of bat guano arthropod communities in a Brazilian dry cave. *Ecotropica*, 6 (2): 105-116.
- Ferreira, R.L., Oliveira, M.P.A., Souza-Silva, M.S. 2015. Biodiversidade subterrânea em geossistemas ferruginosos. In: *Geossistemas ferruginosos do Brasil: Areas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais*. Instituto Pristino, p. 195-231.

- Fleishman, E., Betrus, C.J., Blair, R.B. 2003. Effects of spatial scale and taxonomic group on partitioning of butterfly and bird diversity in the Great Basin, U.S.A. *Landscape Ecology*. 18:675–685.
- Fortin, M.J., Dale, M.R.T. 2005. *Spatial Analysis: A Guide for Ecologists.*: Cambridge University Press, Cambridge.
- Freestone, A.L., Harrison, S. 2006. Regional enrichment of local assemblages is robust to variation in local productivity, abiotic gradients, and heterogeneity. *Ecology Letters*. 9: 95-102.
- Freijeiro, A., Baselga, A. 2016. Spatial and environmental correlates of species richness and turnover patterns in European cryptocephaline and chrysomeline beetles. In: Jolivet P, Santiago-Blay J, Schmitt M (Eds) *Research on Chrysomelidae* 6. *ZooKeys*. 597: 81–99.
- Gaston, K.J., Chown, S.L. 2005. Neutrality and theniche. *Functional Ecology*. 19:1–6.
- Gibert, J., Deharveng, L. 2002. Subterranean Ecosystems: A Truncated Functional Biodiversity. *BioScience*. 52:473-481.
- Gnaspini, P.N., Trajano, E. 1994. Brazilian cave invertebrates with a checklist of troglomorphic taxa. *Revista Brasileira de Entomologia*. 38:549-584.
- Gomes, A.M. 2017. Uma luz na escuridão: desvendando os processos estruturadores da fauna cavernícola via partição de variância. *Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.*
- Gooch, J.L. & Hetrick, S.W. 1979. The relation of genetic structure to environmental structure: *Gammarus minus* in a karst area. *Evolution*. 33: 192–206.
- Goricki, S., Trontelj, P. 2006. Structure and evolution of the mitochondrial control region and flanking sequences in the European cave salamander *Proteus anguinus*. *Gene*. 378:31-41.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*. 25(15):1965-1978.
- Hoch, H., Ferreira, R. 2016. *Iuiuia caeca* gen. n., sp. n., a new troglobitic planthopper in the family Kinnaridae (Hemiptera, Fulgoromorpha) from Brazil. *Deutsche Entomologische Zeitschrift*. 63:171-181.

- Hoch, H., Ferreira, R.L. 2012. *Ferricixius davidi* gen. n., sp. n. - the first cavernicolous planthopper from Brazil (Hemiptera, Fulgoromorpha, Cixiidae). *Deutsche Entomologische Zeitschrift*, 59(2):201–206.
- Humphreys, W.F. 1993. Cave fauna in semi-arid tropical Western Australia: a diverse relict wet-forest litter fauna. *Memoires de Biospeologie*. 20:105–110.
- Iniesta, L.F.M., Ázara, L.N., Souza-Silva, M., Ferreira, R.L. 2012. Biodiversidade em sete cavernas no Parque Estadual do Sumidouro (Lagoa Santa, MG). *Revista Brasileira de Espeleologia*. 2(2):18-37.
- Iniesta, L.F.M., Ferreira R.L. 2013. The first troglobitic *Pseudonannolene* from Brazilian iron ore caves (Spirostreptida: Pseudonannolenidae). *Zootaxa*, 3669(1): 85–95.
- Iniesta, L.F.M., Ferreira, R.L. 2015. *Pseudonannolene lundi* n. sp., a new troglobitic millipede from a Brazilian limestone cave (Spirostreptida: Pseudonannolenidae). *Zootaxa*. 3949(1):123-128.
- Jaffé, R., Prous, X., Zampaulo, R., Giannini, T.C., Imperatriz-Fonseca, V.L., Maurity, C., Siqueira, J.O. 2016. Reconciling mining with the conservation of cave biodiversity: A Quantitative Baseline to Help Establish Conservation Priorities. *PloS one*, 11(12):1-16.
- Loreau, M. 2000. Are communities saturated? On the relationship between α , β and γ diversity. *Ecol. Lett.* 3:73–76.
- Magurram, A. E. 2004. *Measuring biological diversity*. USA: Blackwell Science Ltd, New Jersey.
- Maxted, J. R., McCready, C. H., & Scarsbrook, M. R. 2005. Effects of small ponds on stream water quality and macroinvertebrate communities. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*. 39(5): 1069-1084.
- Moulds, T., Murphy, N., Adams, M., et al. 2007. Phylogeography of cave pseudoscorpions in southern Australia. *Journal of Biogeography*. 34:951-962.
- Myers J.A., Chase, J.M., Jiménez, I., Jørgensen, P.M., Araujo-Murakami, A., Paniagua-Zambrana, N., Seidel, R. 2013. Beta-diversity in temperate and tropical forests reflects dissimilar mechanisms of community assembly. *Ecology Letters*. 16(2): 151–157.
- Novak, T., Perc, M., Lipovšek, S., Janžekovič, F. 2012. Duality of terrestrial subterranean fauna. *International Journal of Speleology*. 41:181-188.

- Oliveira, M.P.A. 2014. *Os métodos de coleta utilizados em cavernas são eficientes para a amostragem da fauna subterrânea?* Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Ortuño, V.M., Gilgado, J.D., Jiménez-Valverde, A., Sendra, A., Pérez-Suárez, G., Herrero-Borgoñón, J.J. 2013. The “Alluvial Mesovoid Shallow Substratum”, a New Subterranean Habitat. *PLoS ONE*. 8(10):1-16.
- Pellegrini, T., Sales, L.P., Aguiar, P., Ferreira, R.L. 2016. Linking spatial scale dependence of land-use descriptors and invertebrate cave community composition. *Subterranean Biology*. 5: 1-9.
- Pellegrini, T.G., Ferreira, R.L. 2011. Ultrastructural analysis of *Coarazuphium formoso* (Coleoptera: Carabidae, Zuphiini), a new Brazilian troglobiotic beetle. *Zootaxa*. 2866: 39–49.
- Pellegrini, T.G., Ferreira, R.L. 2012. Management in a neotropical show cave: planning for invertebrates conservation. *International Journal of Speleology*, 41(2): 361–368.
- Pennington, R.T., Prado, D.E., Pendry, C.A. 2000. Neotropical seasonally dry forests and quaternary vegetation changes. *J Biogeogr*. 27:261–273.
- Pinto-da-Rocha, R. 1996. *Iandumoema uai*, a new genus and species of troglobitic harvestmen from Brazil (Arachnida, Opiliones, Gonyleptidae). *Revista Brasileira de Zoologia*. 13 (4): 843-848.
- Pipan, T., Blejec, A., Brancelj, A. 2006. Multivariate analysis of copepod assemblages in epikarstic waters of some Slovenian caves. *Hydrobiologia*. 559:213-223.
- Prevorcnik, S., Ferreira, R.L., Sket, B. 2012. Brasileirinidae, a new isopod family (Crustacea: Isopoda) from the cave in Bahia (Brazil) with a discussion on its taxonomic position. *Zootaxa*. 3452: 47-65.
- Prous, X., Ferreira, R.L., Jacobi, C.M. 2015. The entrance as a complex ecotone in a Neotropical cave. *International Journal of Speleology*. 44(2) 177–189.
- Prous, X., Ferreira, R.L., Martins, R.P. 2004. Ecotone delimitation: epigeal-hypogean transition in cave ecosystems. *Austral Ecol*. 29:374–382.
- Rabelo, L.M. 2016. *Ecologia e conservação de cavernas no eixo Centro-norte de Minas Gerais*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Ratton, P., Mahnert, V., Ferreira, R.L. 2012. A new cave-dwelling species of *Spelaeobochica* (Pseudoscorpiones: Bochicidae) from Brazil. *The Journal of Arachnology*. 40:274–280.

- Ricklefs, R.E. 2004. A comprehensive framework for global patterns in biodiversity. *Ecology Letters*. 7:1-15.
- Romero, A. 2009. *Cave Biology*. University Press, Cambridge.
- Rouch, R. & Danielopol, D. L. 1997. Species richness of microcrustacea in subterranean freshwater habitats. Comparative analysis and approximate evaluation. *International Review of Hydrobiology*. 82(2):121-145.
- Santos, T. F., Teixeira-Silva, C. M., Timo, M. B., Simões, P. R., Vieira, F. F., Morais, F., Roberto, G. G., Oliveira, G. P. C., Oliveira, S. O., Ferreira, A. S. & Paula, H. C. 2007. Serra do Iuiú, BA: Um grande potencial espeleológico. *Revista Espeleologia da Sociedade Excursionista e Espeológica –SEE*. 12:9-29.
- Schneider, K., Culver, D.C. 2004. Estimating subterranean species richness using intensive sampling and rarefaction curves in a high density cave region in West Virginia. *Journal of Cave and Karst Studies*. 66(2): 39-45.
- Sharratt, N.J., Picker, M., Samways, M. 2000. The invertebrate fauna of the sandstone of the caves of the Cape Peninsula (South Africa): patterns of endemism and conservation priorities. *Biodivers Conserv*. 9:107-143.
- Silva, J.M.C., Casteleti, C.H.M. 2005. Estado da biodiversidade da Mata Atlântica brasileira. In: *Mata Atlântica: Biodiversidade, ameaças e perspectivas* (C. Galindo-Leal & IG Câmara, eds.). Fundação SOS Mata Atlântica, São Paulo, p.43-59.
- Simões, M.H., Souza-Silva, M., Ferreira, R.L. 2014. Cave invertebrates in northwestern Minas Gerais state, Brazil: endemism, threats and conservation priorities. *Acta carsologica*. 43(1): 159-174.
- Simões, M.H., Souza-Silva, M., Ferreira, R.L. 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.
- Souza, M.F.V., Ferreira, R.L. 2010. *Eukoenia* (Palpigradi: Eukoeniidae) in Brazilian caves with the first troglobiotic palpigrade from South America. *Journal of Arachnology*. 38(3), 415-424.
- Souza, M.F.V.R 2012. Diversidade de invertebrados subterrâneos da região de Cordisburgo, MG: subsídios para definição de cavernas prioritárias para

- conservação e para o manejo biológico de cavidades turísticas. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Souza-Silva, M., Bernardi, L.F.O., Martins, R.P., Ferreira, R.L. 2012. Transport and consumption of organic detritus in a neotropical limestone cave. *Acta Carsologica*. 41(1).S:139-150.
- Souza-Silva, M., Ferreira, R.L. 2009. Estrutura das comunidades de invertebrados em cinco cavernas insulares e intertidais na costa brasileira. *Espeleo-Tema*. 20(2): 25-36.
- Souza-Silva, M., Ferreira, R.L. 2015. Cave invertebrates in Espírito Santo state, Brazil: a primary analysis of endemism, threats and conservation priorities. *Subterranean Biology*. 16(1): 79-102.
- Souza-Silva, M., Ferreira, R.L. 2016. The first two hotspots of subterranean biodiversity in South America. *Subterranean Biology*. 19(1):1-21.
- Souza-Silva, M., Martins, R.P., Ferreira R.L. 2011b. Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest. *Biodiversity Conservation*. 20: 1713–1729.
- Souza-Silva, M., Martins, R.P., Ferreira, R.L. 2011a. Trophic dynamics in a neotropical limestone cave. *Subterranean Biology*. 9(1): 127-138.
- Souza-Silva, M., Martins, R.P., Ferreira, R.L. 2015. Cave conservation priority index to adopt a rapid protection strategy: a case study in Brazilian Atlantic rain forest. *Environmental management*. 55(2):279-295.
- Souza-Silva, M., Nicolau, J.C., Ferreira, R.L. 2011c. Comunidades de invertebrados terrestres de três cavernas quartzíticas no Vale do Mandembe, Luminárias, MG. *Espeleo-tema*, 22(1): 155-167.
- Summerville, K. S., Boulware, M. J., Veech, J. A., Crist, T. O. 2003. Spatial variation in species diversity and composition of forest Lepidoptera in eastern deciduous forests of North America. *Conservation Biology*. 17(4): 1045-1057.
- Summerville, K.S., Conoan, C.J., Steichen, R.M. 2006. Species traits as predictors of lepidopteran composition in restored and remnant tallgrass prairies. *Ecological Applications*. 16(3):891-900.
- Trajano, E. 2000. Cave faunas in the Atlantic tropical rain forest: composition, ecology and conservation. *Biotropica*. 32:882–893.

- Trajano, E., Bichuette, M.E. 2010. Diversity of Brazilian subterranean invertebrates, with a list of troglomorphic taxa. *Subterranean Biology*. 7:1-16.
- Trajano, E., Gallão, J.E., Bichuette, M.E. 2016. Spots of high diversity of troglobites in Brazil: the challenge of measuring subterranean diversity. *Biodiversity and Conservation*. 25(10):1805-1828.
- Whittaker, R.H. 1960. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs*. 30:279–338.
- Zampaulo, R.A. 2010. Diversidade de invertebrados na província espeleológica de Arcos, Pains, Doresópolis (MG): Subsídios para a determinação de áreas prioritárias para a conservação. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Tabela 1 - Taxões encontrados nas 16 cavernas na região cárstica de Iuiu – BA . Os números entre parênteses representam a riqueza. Indet.: indeterminada. O símbolo ‘*’ representa as espécies troglomórficas (TF= Toca Fria; AH= Abrigo do Honorato; BA=Baixão; GM=Garganta do Macaco; LV=Lajedo da Veredinha; LH= Lapa do Honorato; PI= Picoteamento; RA=Raiz; SE= Sepultamento; SV= Sumidouro das Vacas; TA= Tapera D’água; TO= Toca da Onça; TV= Toca Valada; TC= Tocão; VA= Vai Quem Quer; UJ= Urubu Jatobá)

TAXA	Famílias	Morfospecie/espécie	T	A	B	G	L	L	PI	R	S	S	T	T	T	T	V	U					
			F	H	A	M	V	H	A	E	V	A	O	V	C	A	J						
			Q	T	Q	T	Q	T	Q	T	Q	T	Q	T	Q	T	Q	T	Q	T	Q	T	
Acari		<i>Amblyomma</i> sp.	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		<i>Argas</i> sp.	-	2	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
		<i>Callidosoma</i> sp.	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-
		Erythraeidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	1
		<i>Gaeolaelaps</i> sp.	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-
		Macronyscidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
		<i>Neoteneriffiola</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	1
		<i>Ornithodoros cavernicolous</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Smaridiidae	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	530
Amblypygi		<i>Charinus iuiu</i>	-	9	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	3	-	-	1	2	-	-	3	
		<i>Trichodamon froesii</i>	-	2	-	1	-	-	-	6	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	1	-	
Araneae		Araneae (5)	1	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	
		Araneidae (2)	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
		Caponidae sp.	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
		Ctenidae (2)	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	1	-	3	-	-	-	-	2	-	1
		<i>Enoploctenus</i> sp.	-	18	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	1	-	3	-	-	-	2	-	25
		Filistatidae (2)	11	19	-	2	-	-	-	-	1	1	-	-	8	-	4	-	-	4	1	-	1
		<i>Isoctenus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-

	<i>Leptopholcus</i> sp.	-	-	1	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	24			
	<i>Loxoceles</i> sp.*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	<i>Loxoceles</i> sp. (2)	-	-	1	72	-	-	-	-	15	2	85	-	40	-	1	2	-	-	75	1	-	4	0	2	7	8	-	-	2	8	-	
	<i>Mesabolivar</i> sp.	-	28	-	5	-	-	-	3	1	4	-	18	-	-	2	1	-	1	1	-	-	-	1	1	9	4	6	-	-	-	27	
	Ochyroceratidae * (2)	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Oecobiidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	
	Oonopidae (2)	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4	1	-	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	1	
	Palpimanidae	-	-	1	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Pholcidae (2)	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Salticidae (2)	-	-	2	-	-	-	-	2	4	-	-	-	1	-	2	-	-	-	4	-	2	1	2	1	8	1	3	-	3	-	3	
	Scytodidae (2)	2	4	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	2	3	
	Segestriidae	-	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	4	-	-	1	-	-	-	-	
	<i>Sicarius</i> sp.	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	2	1	1	1	-	-	-	-	
	Tetragnathidae	-	2	-	48	-	-	-	-	2	-	1	-	1	-	-	1	-	-	18	-	-	-	-	-	1	1	19	-	-	-	-	
	Theraphosidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
	Theridiidae	10	15	-	-	-	-	20	3	-	-	3	-	-	-	1	3	-	-	-	-	5	6	1	6	2	5	2	53	2	-	3	14
	Theridiosomatidae (2)	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Thomisidae	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	
Blattodea	Blattodea Indet. (5)	-	-	-	2	-	-	-	-	-	1	2	6	-	1	1	-	1	2	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
	Blattodea sp.*	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Isoptera (4)	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	5	-	-	-	-	-	1	-	1	-	2	-	-	-	-	2	3	
	Nasutitermes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chilopoda																																	
	<i>Cryptops</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	

	Lithobiomorpha	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sp1 *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Scutigromorpha	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Coleoptera	Aleocharinae (2)	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
	Bostrichidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	Carabidae (5)	-	1	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
	Chrysomelidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Coleoptera pupa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Coleoptera sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	Curculionidae (2)	-	3	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
	Elateridae *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Elateridae (3)	-	2	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Holotrochus</i> sp n.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Larva coleoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Larva coleoptera2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Osoriinae	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Paederinae (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	1
	Ptilodactilidae	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ptinidae (3)	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Pupa 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tenebrionidae (5)	-	3	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
	Tenebrionoidea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
<i>Tribolium</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Uroxys</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
<i>Zophobas</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	

Collembola	Arropalites (2)	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	Arropalites sp. *	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	Collembola (7)	-	7	-	-	4	35 0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	8	1 5	-	-	-	3 5	701	-	1	1	-	-	-			
Diplopoda	Chelodesmidae (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	Diplopoda sp. *	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Indet (6)	-	3	-	-	-	-	4	-	-	1	2	-	-	7	10	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Polydesmida (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	<i>Pseudonannolene</i> sp.	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Pyrgodesmidae (2)*	-	-	-	-	-	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Spirostrepida (2)	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Diptera	Cecidomyiidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	<i>Conicera</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3	-	-	-	-	-	-	-		
	Diptera (10)	-	-	-	-	-	-	1	-	2	1	-	-	1	2	12 0	-	-	-	-	1	2	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Dolichopodidae (3)	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	-	3 2	-	-	-	1	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	<i>Drosophila</i> sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Empididae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Larva Diptera (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15 2		
	<i>Lutzomyia</i> sp.	3	7	-	35	-	-	-	-	1	17	1	6 2	-	-	17 9	-	1	-	-	-	-	1	62	-	-	-	-	-	-	-	-	31	
	Otitidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Syrphidae	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hymenoptera	<i>Atta</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Formicidae indet. (3)	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	5	-	-	-	2	-	-	

	<i>Labidus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	<i>Leptogenys</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	<i>Linepithema</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	5	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	<i>Nylanderia</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	<i>Odontomachus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2		
	<i>Pheidole</i> sp. (4)	-	-	-	2	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	2	-	-	1	-	-	-	-	-	4	-	-			
	<i>Solenopsis</i> sp. (4)	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	1	-	5	-	-	-	-	-			
	Apidae (3)	8	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-			
	Hymenoptera	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Indet. (3)																																					
Gastropoda	Gastropoda sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Gastropoda sp.2*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Gastropoda sp.3*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Gastropoda sp.3*																					0																
Hemiptera	Cicadelidae sp1	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Cixiidae sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Emesinae (2)	-	-	-	2	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Hebridae sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	-	-	
	<i>Iuiuia caeca</i> *	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Kinnaridae sp1	3	20	-	1	-	-	4	63	-	-	1	-	-	-	8	-	-	-	-	-	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
	Pentatomidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Veliidae (4)	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	14	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2	
<i>Zelurus</i> sp. (2)	-	2	-	1	-	-	-	-	1	1	2	7	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Indet.	Indet (7)	2	-	-	-	3	2	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-		
Isopoda	Isopoda (2)	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	8		
	Styloniscidae sp*(2).	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-		

Lepidoptera	<i>Venezillo</i>	-	11	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	14	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21						
	Hiperiidae sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
	Larva Tineidae	9	8	-	-	-	-	-	-	2	7	-	-	-	-	-	1	-	3	-	-	-	-	-	1	4	-	-	-	1	-			
	Lepidoptera (3)	-	-	-	1	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
	Noctuidae (2)	-	1	-	19	-	-	-	-	-	-	5	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-		
	Tineidae (2)	-	12	-	-	-	-	-	9	-	3	-	7	-	6	-	5	-	9	-	9	-	-	-	1	4	-	3	-	-	-	25		
Neuroptera	Chrysopidae sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-			
	Neuroptera (3)	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-		
Oligochaeta	Oligochaeta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-		
Opiliones	<i>Acantholibitia</i> sp.*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	<i>Eusarcus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Gagrellinae sp	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	<i>Gryne perlata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
Orthoptera	<i>Endecous</i> sp.	1	12	-	-	-	11	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60	-	2	-	-	-	1	3	51	-	-	-	10	-	
	Orthoptera (5)	5	24	-	8	-	-	1	4	3	-	2	-	7	1	8	2	$\frac{1}{6}$	2	13	1	1	1	-	2	$\frac{1}{9}$	4	3	7	$\frac{4}{7}$	$\frac{1}{4}$	16	$\frac{3}{3}$	
Palpigradi	Eukeneniidae sp1 *	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Palpigradi (2)*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pseudoscorpiones	Chitonidae (2)	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Chitonidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Pseudoscorpiones (8)	9	11	1	7	-	-	-	1	4	9	1	5	-	-	1	1	2	1	-	1	-	-	1	-	-	4	2	3	-	1	-	10	-
	<i>Spelaeobochica iuiu</i> *	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Psocoptera	<i>Neotroglia</i> sp.	16	$\frac{12}{3}$	5	48	-	-	-	22	52	9	40	-	22	1	$\frac{1}{1}$	-	-	1	-	4	3	$\frac{1}{7}$	8	-	4	-	29	2	$\frac{6}{8}$	$\frac{3}{8}$	33	0	

	Psyllipsocus sp. (4)	-	1	-	-	-	-	-	-	2	-	-	4	2	3	-	4	1	1	1	1	8	-	-	-	-	-	$\frac{4}{3}$	1	-	1	-	-
Scorpiones	<i>Rhopalurus lacrau</i>	1	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Thysanura	Nicoletiidae sp4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Thysanura (3)	-	4	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	1	2	2

Capítulo 2: Biodiversidade subterrânea em um afloramento calcário tropical: o papel das características ambientais das cavernas e da paisagem na estruturação das comunidades de invertebrados cavernícolas.

Rafael Costa Cardoso¹, Marconi Souza-Silva², Rodrigo Lopes Ferreira²

¹Universidade Federal de São João Del Rei, ² Universidade Federal de Lavras

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

Resumo

Os habitats subterrâneos podem abrigar uma grande diversidade de invertebrados, com composição, riqueza e diversidade distintas em diferentes escalas espaciais. Apesar disto, pouco se sabe sobre quais variáveis atuam sobre esta a estruturação destas comunidades em diferentes escalas espaciais. Deste modo, objetivo do presente estudo foi avaliar, em diferentes escalas espaciais, os substratos e recursos que atuam na estruturação de comunidades de invertebrados terrestres em ambientes de cavernas. Para tal foram quantificadas a riqueza, abundância e diversidade da fauna e as variáveis do habitat físico ao nível de micro, meso e macro escalas em 16 cavernas na região cárstica de Iuiú, Bahia, Brasil. Foram utilizados quadrantes de 1x1 metros para análises em microescala, transectos de 100 metros para a mesoescala e áreas do entorno das cavernas com raios de 100, 250, 500, 1000 metros na paisagem para análises em macroescala. O modelo com todas as variáveis em conjunto explicou positivamente a riqueza de espécies na microescala, enquanto na mesoescala apenas o guano mostrou relação positiva com a riqueza de espécies. Para a macroescala com um raio de 1000 metros do entorno das entradas das cavernas, a proporção de área preservada relacionou-se positivamente com a riqueza de invertebrados nas cavernas. A composição e abundância das espécies mostraram-se influenciadas pelas variáveis guano, clastos e rocha nua ao nível de microescala, enquanto que na mesoescala as variáveis sedimento úmido e clastos apresentaram relações significativas a composição e abundância comunidades cavernícolas. Os resultados mostram que os substratos orgânicos e inorgânicos podem influenciar a estruturação das comunidades de invertebrados de forma distinta nas diferentes escala espaciais, sendo que a consideração de microhabitats e recursos orgânicos essenciais para ações de conservação dos ecossistemas subterrâneos. Além disto, a influência da paisagem indica que áreas preservadas em um raio mais extenso do que aqueles constantes na legislação brasileira, podem ser importantes na manutenção da biodiversidade cavernícola.

Palavras Chave: fauna subterrânea; substratos; recursos; desmatamento; heterogeneidade.

Chapter 2: Subterranean biodiversity in a tropical limestone outcrop: the role of cave microhabitat and belowground landscapes features in structuring invertebrate communities.

Rafael Costa Cardoso¹, Marconi Souza-Silva², Rodrigo Lopes Ferreira²

¹ Federal University of São João Del Rei, ² Federal University of Lavras

Abstract

Subterranean habitats may shelter a large diversity of invertebrates, with different composition, richness, and diversity patterns at different spatial scales. Despite this, little is known about which variables act on the communities structure at different spatial scales. In this way, the objective of the present study was to evaluate, at different spatial scales, substrates and resources that act in the terrestrial invertebrate communities' structure in cave environments. The richness, abundance and diversity of the fauna and physical habitat variables in micro, meso and macro scales were quantified in 16 caves in the karstic region of Iuiú, Bahia, Brazil. Quadrants of 1x1 meters were used for microscale analyzes, 100 meters transects for the mesoscale and buffers around the caves entrance with rays of 100, 250, 500, 1000 meters in the landscape for macroscale analysis. The model with all variables together presented positive correlation with species richness in the microscale, while in the mesoscale only the guano variable showed a positive correlation with species richness. For the macroscale, with a radius of 1000 meters from the surroundings of the cave entrances, the proportion of preserved area was positively related to the richness of cave invertebrate communities. The species composition and abundance were influenced by guano, clasts and bare rock at the microscale level, while in the mesoscale the variables wet sediment and clasts presented significant relationships to the composition and abundance of cave communities. The results showed that organic and inorganic substrates can influence, differently, the invertebrate communities' structure at different spatial scales, considering microhabitats and organic resources essential for conservation actions of underground ecosystems. In addition, the influence of the landscape indicates that areas preserved in a wider radius than those included in Brazilian legislation may be important in the maintenance of cave biodiversity.

Keywords: Subterranean fauna; substrates; resources; deforestation; heterogeneity

Introdução

A hierarquia de micro e macro espaços nos ambientes subterrâneos (porosidade da rocha, fraturas e condutos, canalículos na canga, meio subterrâneo superficial, etc.) permite a ocorrência de variados microhabitats para a fauna de invertebrados (Culver & Pipan, 2008; Souza-Silva & Ferreira, 2009; Pipan et al., 2010; Ortuño et al., 2013; Culver & Pipan, 2014; Mammola et al., 2016). Nos macro espaços (cavernas) estes microhabitats são compostos por solos ou rochas de diferentes texturas e com ou sem coberturas por clastos de diferentes tamanhos. Podem acontecer também fissuras, poças, lagos, cursos d'água e detritos orgânicos de composição variada (guano, carcaças, raízes, detritos vegetais) entre outros (Ferreira, 2004; Ferreira et al., 2007; Culver & Pipan 2009; Souza-Silva et al., 2011a; Simões et al., 2015; Gomes, 2017).

Tais ambientes subterrâneos foram historicamente caracterizados por apresentarem espécies restritas e especializadas (troglóbios) em função das características ambientais distintas em relação aos ambientes de superfície (ausência permanente de luz, escassez de recursos alimentares estabilidade nos valores de temperatura e elevada umidade), ainda que isto não seja uma regra em ambientes tropicais (Culver, 1982; Howarth, 1983). Além disto, diversos estudos têm mostrado que cavernas podem abrigar comunidades diversificadas de invertebrados e vertebrados troglóxenos e troglófilos tanto em regiões temperadas quanto tropicais, mas com riqueza de espécies influenciada por características físicas e tróficas das mesmas (Gibert & Deharveng, 2002; Prous et al., 2004; Bento et al., 2016; Souza-Silva & Ferreira, 2016).

A biodiversidade, quase sempre, está relacionada de forma positiva com a disponibilidade e heterogeneidade de habitats (Rosenzweig, 1981; Ferreira & Souza-Silva, 2001; Goldsbrough & Shine, 2002; Fahrig, 2003, Morris, 2003, Ferreira et al., 2009; Simões et al., 2015). A extensão de uma caverna além do número e tamanho das comunicações com o ambiente epígeo (entradas) tem se mostrado positivamente correlacionado com a riqueza de espécies (Culver et al., 2003, 2004; Souza-Silva et al., 2011b; Simões et al., 2015; Rabelo, 2016; Jaffé et al., 2016). A presença de corpos de água pode influenciar positivamente a riqueza de invertebrados em cavernas tropicais (Simões et al., 2015). Jaffé et al. (2016) encontrou influência positiva na presença de guano, detritos e raízes na riqueza de espécies de invertebrados em cavernas ferruginosas tropicais. Outros estudos demonstraram influência positiva da

heterogeneidade dos meso e microhabitats físicos nas cavernas sobre as comunidades de invertebrados subterrâneos (Prous, 2005; Cordeiro, 2008; Oliveira, 2014; Pellegrini et al., 2016; Gomes, 2017). A distribuição dos organismos nos ambientes subterrâneos pode ainda ser influenciada em mesoescala em função da disponibilidade de recursos alimentares e variações nas condições de temperatura umidade e/ou disponibilidade de microhabitats (Humphreys, 1991; Ferreira et al., 2015).

A veiculação de recursos orgânicos para o ambiente de cavernas pode ser em grande parte dependente de vegetação epígea preservada, uma vez que o aporte se dá do epígeo para o hipógeo pela ação da água, vento, animais e crescimento de raízes da vegetação externa (Souza-Silva et al., 2011a). Como consequência, alterações na paisagem externa do entorno das cavernas, pode ter influência direta na diversidade e funcionamento dos ecossistemas cavernícolas. Além disto, Rabelo (2016) demonstrou que a biodiversidade epígea influencia as comunidades hipógeas por, provavelmente, funcionar como um estoque de fauna colonizadora. Cavidades naturais em que a vegetação do entorno encontra-se preservada, tem maior chance de ser colonizada por diversas espécies de morcegos, (Gillieson & Thurgate, 1999). Morcegos, quando presentes, fornecem uma das principais fontes energéticas para os invertebrados cavernícolas, o guano, principalmente em cavernas secas (Poulson, 2005; Fagan et al., 2007; Ferreira & Martins, 1999; Ferreira et al., 2007).

O efeito das mudanças no uso da terra na biodiversidade pode depender do contexto da paisagem (MacDonald et al., 2000) e da escala espacial que é analisada (Fortin & Dale, 2005; Dumbrell et al., 2008; Zimmermann et al., 2010; McGlenn & Hurlbert, 2012; Morueta-Holme et al., 2013; Pellegrini et al., 2016). No entanto, estudos que consideram o impacto humano na escala da paisagem, como agricultura, desenvolvimento urbano, desmatamento e extração de recursos minerais sobre a biodiversidade cavernícola no Brasil ainda são escassos (Pellegrini et al., 2016; Bento, 2011; Gomes, 2017)

Apesar da sua fragilidade, as cavernas sofrem várias pressões antrópicas, como o turismo, mineração e agricultura (Pellegrini & Ferreira 2012a; Eme et al., 2014; Zigmajster et al., 2014), tornando o entendimento das relações entre as características físicas e biológicas, cruciais para elaboração de ações de conservação das comunidades subterrâneas (Souza-Silva et al., 2011b; Pellegrini & Ferreira, 2012a; Faille et al., 2014;

Pellegrini et al., 2016), determinando quais características do habitat e como as mesmas estruturam a diversidade da fauna cavernícola.

Neste sentido, o presente estudo tem como objetivo avaliar como as características físicas do substrato presente nas cavernas em microescala e mesoescala e a estrutura da paisagem epígea adjacente as suas entradas influenciam a estruturação e composição das comunidades de invertebrados cavernícolas em diferentes escalas espaciais.

Materiais e métodos

Área de estudo

A paisagem cárstica e as cavernas do presente estudo estão localizadas em pequenos maciços carbonáticos dos municípios de Iuiú e Malhada no sudoeste do estado da Bahia (Figura 1). A região é constituída de maciços carbonáticos proterozóicos (grupo Bambuí) e que conformam uma extensa paisagem cárstica de aproximadamente 300 km² (Santos et al., 2007). As cavidades se distribuem em quatro maciços não contíguos, denominados de Serra de Iuiú, Serrinha, Vai Quem Quer e Sepultamento. A região cárstica de Iuiú se encontra, segundo Silva & Casteleti (2005), no subdomínio geográfico São Francisco da Mata Atlântica, contando também com a presença de elementos do domínio da Caatinga e do Cerrado (Apagua et al., 2014). A vegetação é composta de diferentes fitofisionomias de Florestas Tropicais sazonalmente secas (Apagua et al., 2014). De acordo com a classificação de Köppen, o tipo climático da região é o tropical semiárido (Bsh), com precipitação anual de 788 mm. O período chuvoso ocorre entre os meses de novembro e fevereiro e o período seco entre os meses de março e outubro (Hijmans et al., 2005).

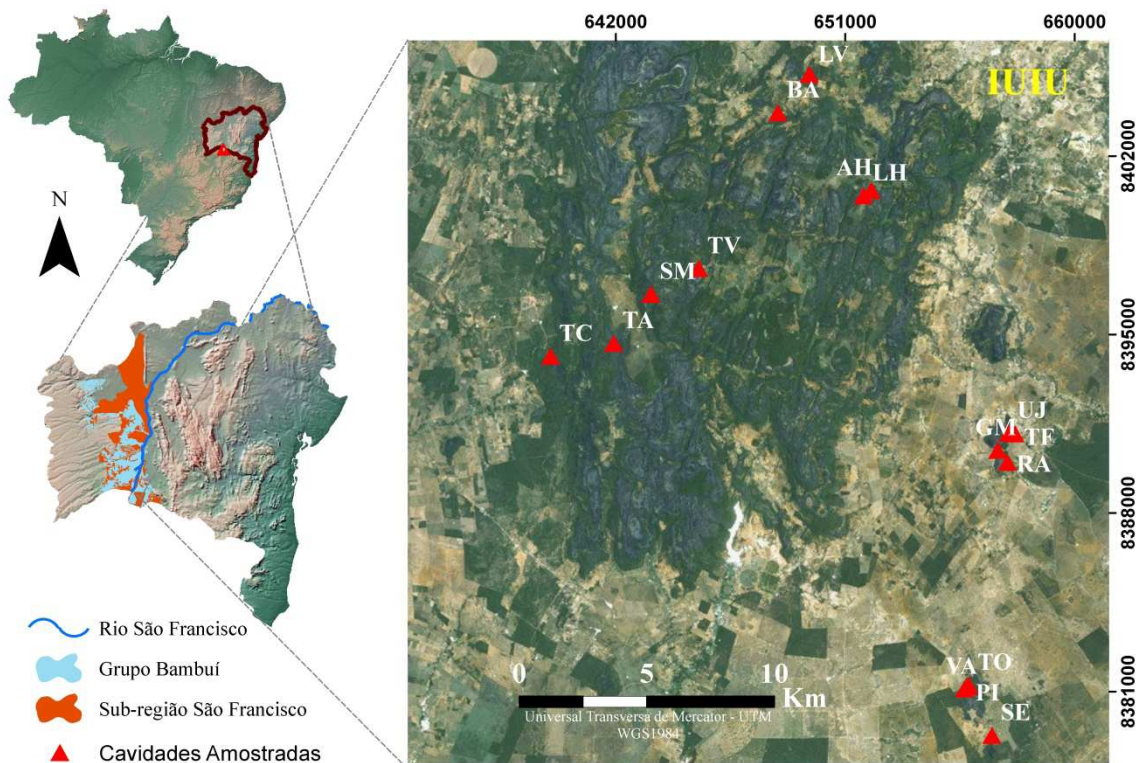


Figura 10 - Distribuição das cavernas carbonáticas (triângulos vermelhos) na paisagem cárstica de Iuiú, sudoeste da Bahia, Brasil. (TC – Tocão; TA – Tapera d'Água; SM – Sumidouro das Vacas; TV - Toca Valada; BA – Baixão; LV – Lajedo da Veredinha; AH – Abrigo do Honorato; LH – Lapa do Honorato; UJ – Urubu-Jatobá; TF – Toca Fria; GM – Garganta do Macaco; RA – Raiz; VA – Vai Quem Quer; TO – Tocão; PI – Picoteamento; TO – Toca da Onça; SE - Sepultamento).

Coleta de variáveis bióticas e abióticas em micro, meso e macro escalas

Para a amostragem em micro e meso escalas 125 quadrantes e 25 transectos, respectivamente, foram distribuídos em 16 cavidades naturais localizadas na região cárstica de Iuiú (Tabela1). Em macro escala foram utilizados 60 buffers com diferentes medidas de raio.

Tabela 1 – Cavernas amostradas, com o número de unidades amostrais em cada escala por caverna e o desenvolvimento linear estimado para cada uma.

Nome	Quadrantes	Transectos	Buffers	Des. Linear (est)(m)
Abrigo do Honorato I	5	1	4	100
Gruta da Raiz	5	1	3	100
Lajedo da Veredinha	5	1	4	60
Picoteamento	5	1	3	30
Sepultamento	10	2	4	510
Garganta do Macaco	5	1	4	400
Sumidouro das Vacas	5	1	4	150
Toca Fria	20	4	4	2500
Toca Valada	5	1	4	450
Toca do Urubu-Jatobá	30	6	3	3000
Vai Quem Quer	5	1	4	45
Lapa do Honorato	5	1	4	200
Toca da Onça	5	1	3	150
Baixão	5	1	4	150
Tocão	5	1	4	80
Tapera d'Água	5	1	4	150

A influência das variáveis ambientais ao nível de microescala e mesoescala sobre a fauna de invertebrados cavernícolas foi medida por quadrantes e transectos nas cavernas (Figura 2). Os quadrantes (microescala) possuem área de 1m² com 100 quadrículas internas e os transectos (mesoescala) possuem 100m de extensão. Nos quadrantes e transectos, ambos instalados no piso das cavernas, foram quantificadas a composição do habitat e a riqueza de invertebrados presentes.

Medidas de heterogeneidade de habitats

Para avaliar a composição dos habitats em mesoescala os transectos foram alocados, no piso das cavidades e ao longo destes realizada a quantificação dos substratos orgânicos e inorgânicos presentes (Figura 2). Os transectos de 100 metros foram alocados 500 metros equidistantes em cada caverna estudada. Ao longo dos transectos foram instalados cinco quadrantes 25m equidistantes (Figura 3). Em cada quadrante foram realizadas medidas de qualificação de substratos orgânicos e inorgânicos através da proporção de ocorrência de todas as classes de substratos e recursos orgânicos nas 100 quadrículas (clastos, raízes, guano, areia, silte, etc.), gerando-se assim métricas quantitativas (Tabela 2).

Uma análise de proporção foi então realizada com todas as variáveis qualificadas nas 100 quadrículas, tendo como resultado a porcentagem de cada classe de substrato contida em cada quadrante.



Figura 2 - Caracterização física e coleta de invertebrados terrestres com o uso de quadrante e transectos – A) Metodologia para análise em micro escala. B) Coleta em setores, metodologia para análise em meso escala.

Para caracterização do hábitat físico nos transectos foi utilizada uma adaptação do método, proposto por Peck et al. (2006), para determinação de habitats físicos em ambientes aquáticos e modificado por Pellegrini et al, 2016 e Gomes, 2017. Para isso em cada transecto foram dispostas 10 seções para facilitar a estimativa visual do piso e coleta de variáveis ambientais (Figura 3). Ao todo foram estimadas visualmente 11 classes de substratos (Tabela 3). Posteriormente foi realizada uma proporção com todas as variáveis qualificadas nas 11 seções transversais, tendo como resultado a porcentagem de cada classe de substrato contida em cada transecto. Para Cavidades com menos de 100 metros de desenvolvimento, o transecto foi ajustado ao tamanho da caverna (Figura 3).

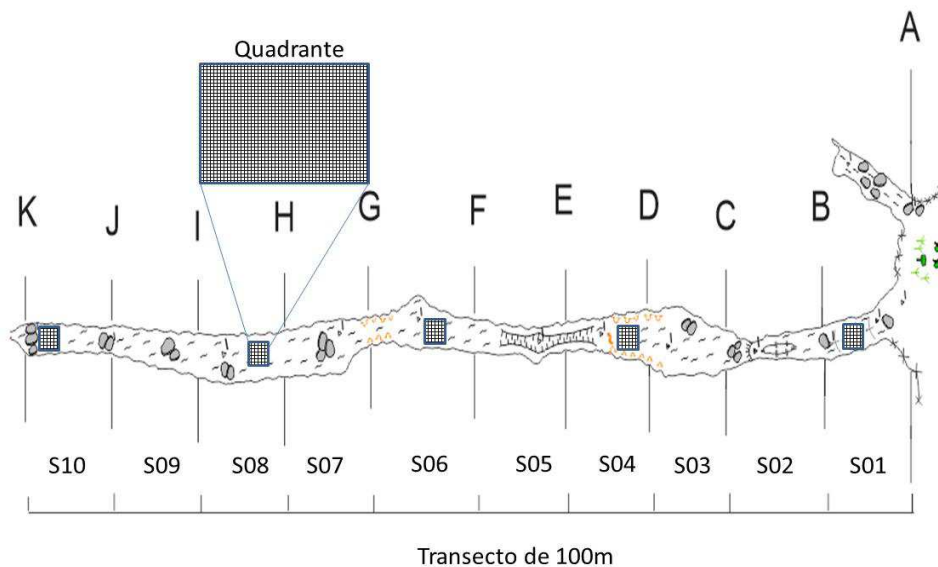


Figura 3 – Representação de um transecto ao longo de uma caverna com as seções transversais representadas de A até K ou S01 até S10, e os cinco quadrantes quadriculados ao longo transecto.

Para a análise da influência das variáveis ambientais ao nível da paisagem (macroescala) foi utilizada imagens de satélite *Landsat 8*, com resolução espacial de 15 metros, para a classificação supervisionada do uso e ocupação do solo no entorno das cavidades em raios de 100, 250, 500 e 1000 metros usando a maior entrada da caverna como referência (Pellegrini et al. 2016) (Figura 4). Foram definidas quatro classes de uso e cobertura do solo em cada um dos buffers, e calculadas suas respectivas proporções (Tabela 2).

Tabela 2 – Variáveis ambientais coletadas para cada escala amostral nas cavernas da região da serra de Iuiú – BA.

Micro escala	Meso escala	Macro escala
Corpo de Água	Água	Afloramentos calcários
Cascalho (2-16mm)	Blocos (64-250mm)	Agricultura/Pastagem
Detritos orgânicos	Detritos orgânicos	Área degrada
Gretas de ressecamento	Fezes de gado	Vegetação nativa
Guano	Guano	
Clastos (17-64mm)	Clastos (17-64mm)	
Raízes	Raízes	
Rocha nua	Rocha nua	
Sedimento seco	Sedimento seco	
Sedimento úmido	Sedimento úmido	
	Termiteiros	

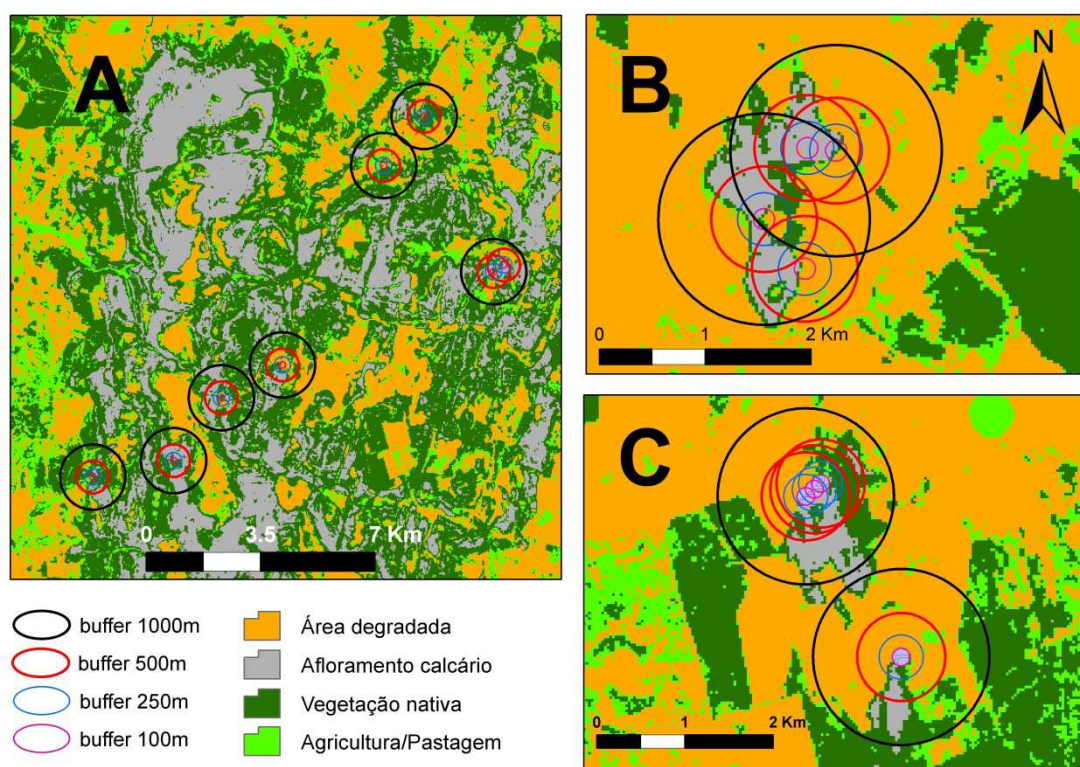


Figura 4 – Buffers plotados no entorno das cavernas. A) Buffers das cavidades localizadas na serra de Iuiú. B) Buffers das cavidades localizadas no maciço residual da Serrinha. C) Buffers das cavidades localizadas nos maciços residuais do Vai Quem Quer (ao norte) e do Sepultamento (ao sul).

Coleta de invertebrados nos transectos e quadrantes

Os invertebrados cavernícolas foram amostrados em microescala (quadrantes) e mesoescala (transectos). Em microescala foram realizadas coletas exaustivas, sempre por dois coletores, até que todos os espécimes fossem amostrados (Figura 2). Em mesoescala, foram realizadas buscas visuais e coletas manuais ativas por quatro coletores através de toda a extensão de cada transecto (Figura 2), e em todos os biótopos potenciais (locais de acúmulos de matéria orgânica vegetal, depósitos de guano e espaços sob rochas, além de troncos, locais úmidos e poças d'água), conforme metodologia descrita por Ferreira (2004) e frequentemente utilizados em estudos de fauna de cavernas no Brasil (por exemplo, Souza-Silva et al., 2011b; Simões et al., 2015; Souza-Silva & Ferreira, 2015). Durante a amostragem, cada organismo observado teve sua posição registrada em um croqui de planta baixa da cavidade, de forma que, ao final de cada coleta, foi possível a obtenção de informações concernentes à abundância de cada espécie (Oliveira, 2014). A fim de se evitar a coleta excessiva de organismos na

mesoescala, o que poderia prejudicar a manutenção de populações viáveis na caverna, foram coletados no máximo dez indivíduos de cada morfoespécie. Armadilhas do tipo *Pitfall* não foram utilizadas, pois podem causar distúrbios populacionais nas cavernas (Weinstein & Slaney, 1995; Sharratt et al., 2000).

Análise dos dados

Modelos mistos (GLMm) foram utilizados para testar o efeito das características dos substratos em microescala e mesoescala sobre a riqueza de espécies de invertebrados. As análises foram realizadas utilizando a função *lmer* do pacote *lme4* (Bates et al. 2014) e adicionando cavernas como variável aleatória (Bolker et al. 2009). A distribuição de erro de Poisson para dados de contagem e Quasipoisson e Binomial Negativa foram utilizadas quando os dados apresentaram sobre dispersão (Crawley, 2002). Para evitar a multicolinearidade entre as variáveis explanatórias foram consideradas apenas variáveis com correlações lineares (Spearman) com valores menores ou iguais a 0,6 em cada modelo. Foram testadas todas as possíveis combinações das variáveis incluídas no modelo utilizando a função *dredge* do pacote *MuMIn* (Burnham & Anderson, 2002). Para determinar qual o melhor modelo que explica a riqueza de espécies, foi utilizado o critério de informação Akaike de segunda ordem (AICc), mais robusto para pequenas amostras (Burnham et al. 2011). Quando as variáveis da mesma escala espacial que se apresentaram correlacionadas (Spearman > 0,6), apenas uma foi escolhida.

Para os modelos em macro escala (paisagens) foram realizados modelos lineares generalizados (GLM), utilizando a função *glm*, para testar o efeito do uso do solo no entorno das cavidades sobre a riqueza de espécies de invertebrados observados na microescala e mesoescala, nas diferentes áreas de influências (buffers). Como as quatro classes de cobertura do solo se apresentaram autocorrelacionadas, foi criado à classe área preservada, constituída da soma das classes, vegetação nativa e afloramentos calcários, para realização das análises.

Para testar a autocorrelação espacial entre os buffers foi utilizado o Índice Global de Moran I. Tal índice varia de 1 a -1. Valores positivos e negativos indicam autocorrelação espacial positiva ou negativa, entre as unidades amostrais, enquanto que valores próximos de 0, indicam que não há auto correlação espacial (Legendre & Legendre, 1998). Se existir autocorrelação espacial entre os buffers, a suposição sobre a

independência dos resíduos é violada e questionam a validade das hipóteses testadas (Davis, 1986).

A influência dos substratos orgânicos e inorgânicos em micro, meso e macro escalas sobre a composição e abundância das comunidades foi testada utilizando a função *adonis* do pacote *Vegan* (Oksanen et al. 2007). A função *Adonis* é análoga a uma análise multivariada e usa matrizes de distância de dissimilaridade de bray-curtis com 999 permutações. Nas análises em microescala e mesoescala as cavernas foram utilizadas como variáveis aleatórias.

Para visualizar influência das variáveis ambientais amostradas na composição e abundância das comunidades de invertebrados das cavernas, utilizou-se a análise *distance-based redundancy analysis* (dbRDA) com a função *capscale* do pacote *Vegan* (Legendre & Anderson, 1999; Oksanen et al., 2012). A significância dos modelos e dos eixos foi testada utilizando ANOVA.

Todas as análises foram realizadas no software R versão 2.15.1 (R Development Core Team 2012).

Resultados

Nas 16 cavernas estudadas foram encontrados um total 6870 indivíduos pertencentes a 258 espécies de invertebrados, 117 na microescala e 206 na mesoescala, com 66 espécies compartilhadas entre as mesmas. Os valores de riqueza e das variáveis dos habitats na microescala e mesoescala são mostrados nos anexos, I, II e III.

Na análise em microescala, as variáveis ambientais sedimento seco, sedimento úmido, corpos de água, cascalho, gretas de ressecamento, clastos, detritos orgânicos, rocha nua, raízes e guano mostraram relação positiva e significativa com a riqueza de espécies de invertebrados no piso das cavernas (Tabela 3). O melhor modelo mostrou que todas as variáveis ambientais em conjunto tiveram efeito positivo na riqueza de invertebrados (AICc= 481.8; weight=0.047) (Figura 4).

Na mesoescala, quatro variáveis apresentaram uma forte correlação (spearman > 0.6) (sedimento úmido e sedimento seco (spearman = 0.6); sedimento úmido e corpos de água (spearman = 0.64); sedimento seco e rocha nua (spearman = 0.79)). Por isso, foram selecionadas oito variáveis, sendo elas, guano, termiteiros, raízes, detritos orgânicos, clastos, blocos, sedimento úmido e fezes de bovinos. Somente a variável

guano se mostrou significativamente correlacionadas com a riqueza de espécies na mesoescala (GLMM; $z=4,267$, $p=1,98e-05$; Tabela 3; Figura 5).

O Índice Global de Moran I mostrou que apenas os buffers de 1000 metros se mostraram espacialmente autocorrelacionados ($p=0,01$). Sendo assim foram retirados sucessivamente das análises os buffers que se sobrepunham até que não houvesse mais autocorrelação espacial, e a análise foi realizada apenas com os buffers das cavidades Baixão, Toca Fria, Lajedo da Veredinha, Lapa do Honorato, Picoteamento, Sepultamento, Sumidouro das Vacas, Tapera d'Água, Tocão e Toca Valada (Figura 4, Anexo III). O único modelo que mostrou relação significativa na análise na macroescala foi a proporção de área preservada no buffer de 1000 metros, com influência positiva na riqueza de espécies das cavernas (GLM; $t=4.69$, $p=0,001$; Tabela 3; Figura 6)

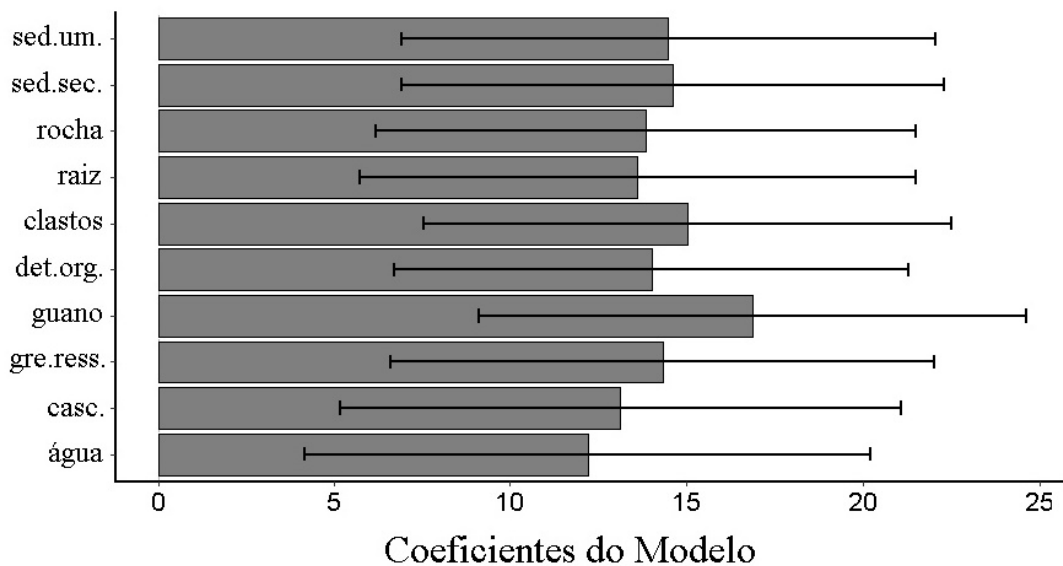


Figura 4 – Contribuição de cada variável do melhor modelo linear generalizado misto (GLMm), que explica a riqueza de espécies na microescala. O eixo y representa as variáveis e o eixo x representa os coeficientes do GLMm de cada variável. (sed.um. = sedimento úmido; sed.sec. = sedimento seco; rocha = rocha nua; raiz = raízes; clastos = clastos; det.org. = detritos orgânicos; guano = guano; gre.ress. = gretas de ressecamento; casc = cascalho; água = corpos d'água).

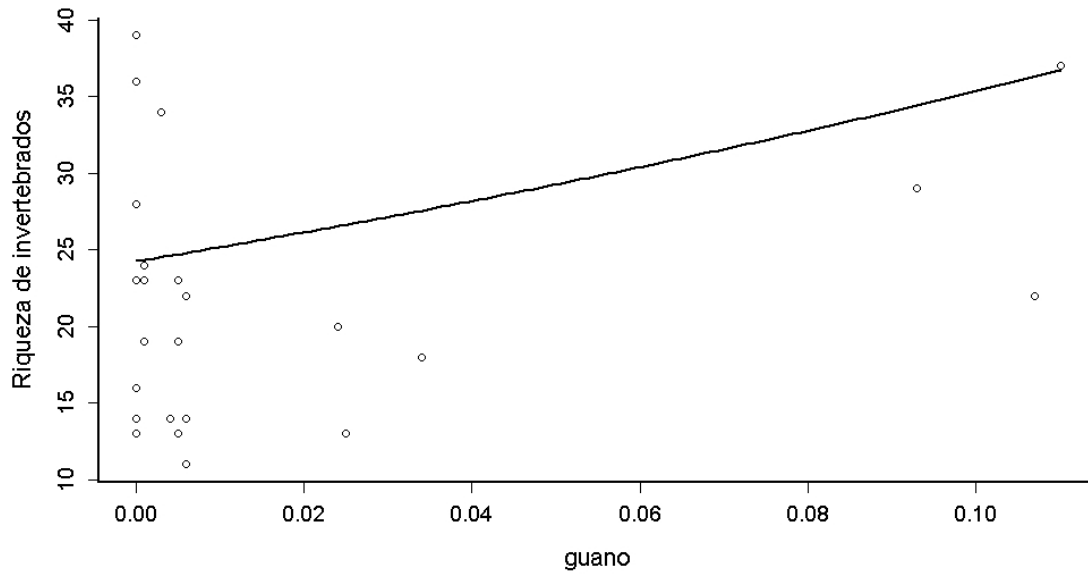


Figura 5 – Modelo linear generalizado misto (GLMm), mostrando o efeito da proporção de guano sobre a riqueza de espécies na mesoescala.

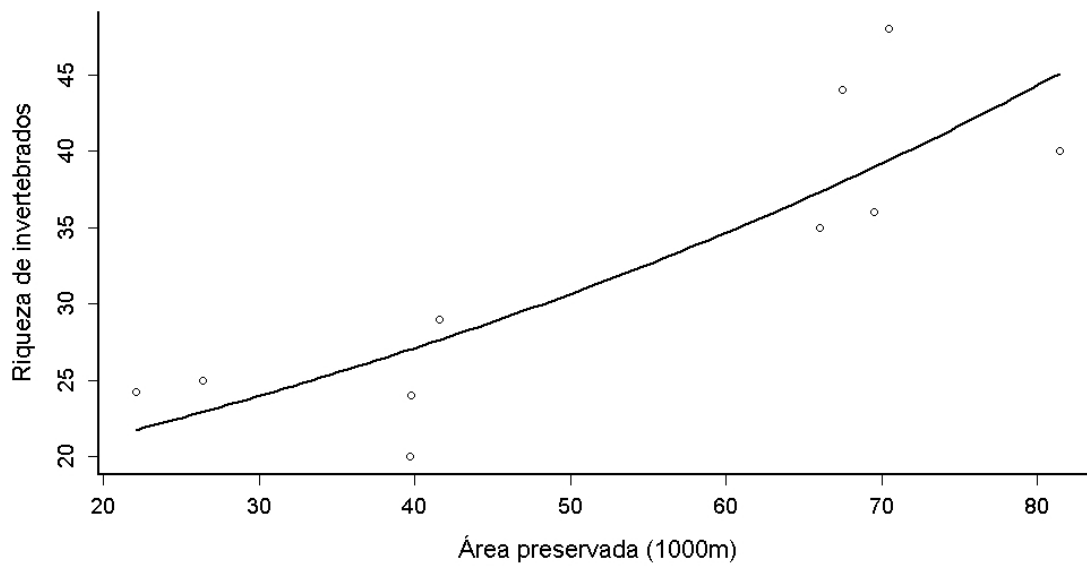


Figura 6 - Modelo linear generalizado (GLM), mostrando o efeito da porcentagem de área preservada nos buffers de 1000 metros sobre a riqueza de espécies nas cavernas.

Tabela 3 – Efeito das variáveis dos modelos selecionados para cada escala de amostragem. São apresentados os valores de p, e das estatísticas dos testes t e z.

Modelos	Estimate	Std. Error	t value	z value	P
Micro escala (GLMM)					
Intercept	-13.631	3.857	-	-3.534	0.0004
Sedimento seco	14.627	3.923	-	3.728	0.0001
Sedimento úmido	14.488	3.862	-	3.752	0.0001
Água	12.195	4.093	-	2.979	0.0028
Cascalho	13.133	4.052	-	3.241	0.0011
Gretas de ressecamento	14.323	3.935	-	3.64	0.0002
Clastos	15.027	3.823	-	3.931	8.46E-05
Detritos orgânicos	14.008	3.724	-	3.762	0.0001
Raízes	13.613	4.024	-	3.383	0.0007
Guano	16.875	3.955	-	4.267	1.98E-05
Rocha nua	13.842	3.899	-	3.55	0.0003
Meso escala (GLMM)					
Intercept	3.18879	0.18767	-	16.991	2.00E-16
Guano	3.7669	1.83461	-	2.053	0.04
Macro escala (GLM)					
Intercept	2.80962	0.157239	17.868	-	9.86E-08
%Área preservada	0.01228	-2613	4.698		0.0015

A percentagem de guano (adonis, $R^2 = 0.0488$; $p = 0.009$), clastos (adonis, $R^2 = 0.0263$; $p = 0.004$) e rocha nua (adonis; $R^2 = 0.0142$; $p = 0.039$) mostraram influência significativa na variação da composição e abundância de invertebrados em microescala (quadrantes) (Figura 7). Em mesoescala, a análise utilizando a caverna como variável aleatória não foi significativa (anova, $p = 0.472$), por isso testou-se apenas um transecto por vez para cavernas com mais de um transecto utilizando-se o GLM. Neste caso, a composição de invertebrados das cavernas na mesoescala, com as mesmas variáveis selecionadas para o GLM, foi influenciada apenas pela proporção de sedimento úmido (adonis,; $R^2 = 0.112$; $p = 0.013$) e clastos (adonis; $R^2 = 0.096$; $p = 0.028$) (Figura 8). Para macroescala, em nenhum dos buffers, as relações foram significativas (anova 100m, $p = 0.54$; anova 250m, $p = 0.09$; anova 500m, $p = 0.06$; anova 1000m, $p = 0.44$).

Apenas os modelos dbRDAs para micro e mesoescala, , mostraram variáveis com relação significativas na composição e abundância de invertebrados nas cavernas (figuras 7 e 8). Em vermelho são exibidos os vetores das variáveis que melhor explicaram variações na composição e abundância de invertebrados em microescala e mesoescala, respectivamente (guano, clastos e rocha nua em microescala e clastos e sedimento úmido em mesoescala). Na análise em microescala o eixo 1 explicou 35,74%

da variação e o eixo 2 explicou 13,9% e na mesoescala o eixo 1 explicou 19,83% da variação e o eixo 2 explicou 15,95% (Figuras 8 e 9).

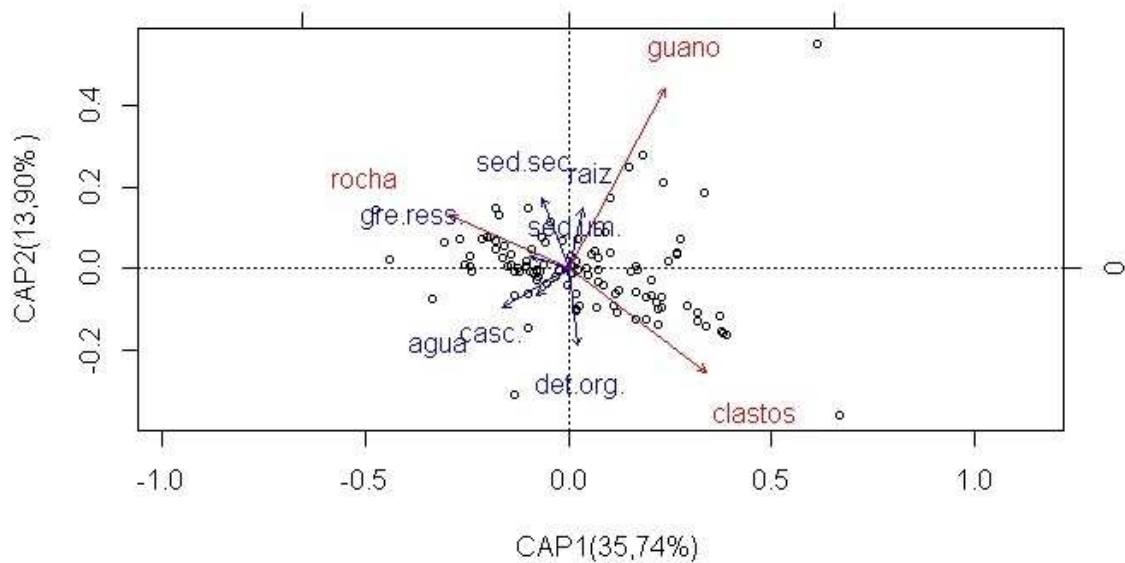


Figura 7 – Modelo db-RDA, evidenciando os vetores em vermelho das variáveis que melhor explicaram variações na composição e abundância das comunidades de invertebrados cavernícolas na micro escala. (sed.um. = sedimento úmido; sed.sec. = sedimento seco; rocha = rocha nua; raiz = raízes; clastos = clastos; det.org. = detritos orgânicos; guano = guano; gre.ress. = gretas de ressecamento; casc = cascalho; água = corpos d’água).

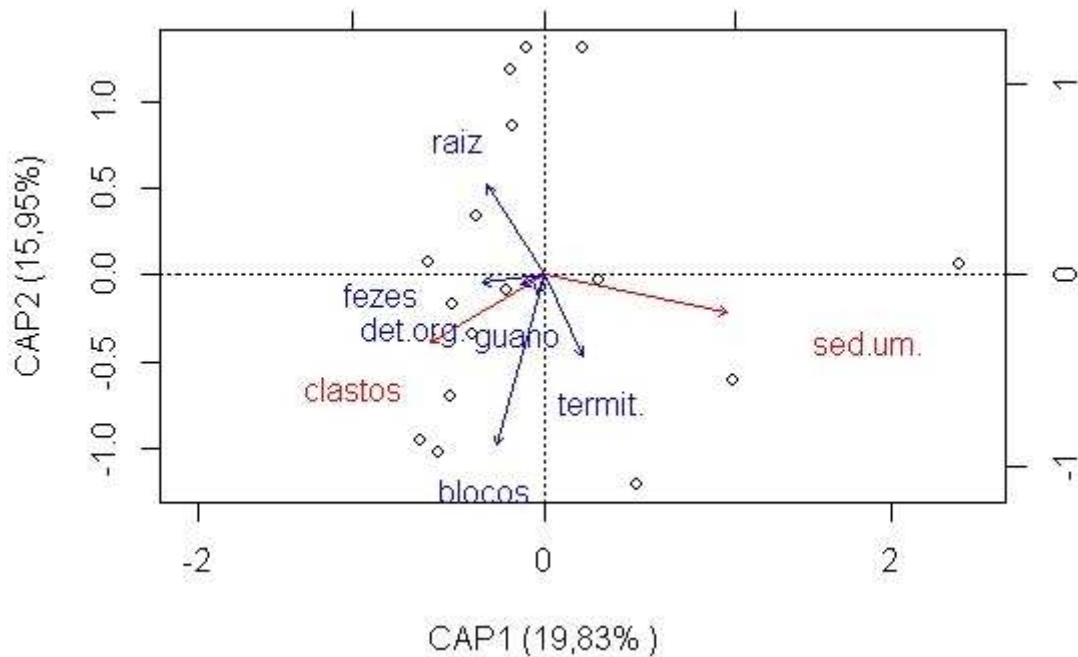


Figura 8 – Modelo db-RDA, evidenciando os vetores em vermelho as variáveis que melhor explicaram variações na composição e abundância das comunidades de invertebrados

cavernícolas na mesoescala. (sed.um. = sedimento úmido; raiz = raízes; clastos = clastos; det.org. = detritos orgânicos; guano = guano; termit = termiteiros; blocos = blocos de rocha; fezes = fezes de gado).

Discussão

Para a identificação dos efeitos que modulam biodiversidade, é necessário que a escala de amostragem seja apropriada aos organismos estudados e as perguntas a serem respondidas (Wiens, 1976, 1985; Pickett & White 1985; Addicott et al., 1987). Organismos maiores e com maior alcance de deslocamento, por exemplo, podem perceber o habitat físico de uma determinada escala como sendo mais homogêneo do que um organismo menor e com menor mobilidade. (Wiens, 1985). À medida que se aumenta a escala amostral, as relações com a estrutura do habitat também passam de fatores próximos, que podem estar relacionados às atividades das espécies, para fatores ambientais mais amplos (Anderson, 1995).

Estudos que testaram a influência de substratos orgânicos e inorgânicos sobre a estrutura de comunidades de invertebrados cavernícolas são escassos (Schneider et al., 2011; Bento, 2011; Simões et al., 2015; Oliveira, 2014; Prous, 2005; Cordeiro, 2008; Pellegrini et al., 2016; Jaffé et al., 2016; Gomes, 2017). Entretanto, aqueles que consideram influências das variáveis físicas em diferentes escalas espaciais são menos numerosos ainda (Bento, 2011; Pellegrini et al., 2016; Gomes, 2017).

Influências dos substratos na riqueza dos invertebrados cavernícolas em microescala

A relação direta de aumento da riqueza com o aumento da porcentagem de áreas com o conjunto das variáveis sedimento úmido, sedimento seco, rocha nua, raízes, clastos, detritos orgânicos, guano, gretas de ressecamento, cascalho e corpos d'água, encontrado para microescala podem evidenciar a importância da heterogeneidade dos componentes do habitat físico na estruturação das comunidades não somente para ambientes epígeos mas também em cavernas. É esperado encontrar uma maior riqueza de espécies em habitats mais heterogêneos (Bell et al., 1991), contendo buracos, rachaduras ou projeções, pelo fato que tais locais podem disponibilizar mais espaços e microhabitats para abrigar um maior número de espécies. Este fato já foi observado em ambientes terrestres, água doce e marinhos, para espécies de vertebrados e invertebrados (Bell et al., 1991) e Pellegrini et al., 2016 e Gomes (2017) observaram este fato também para as cavernas. A diversificação de habitats é um mecanismo que atua diretamente no aumento da riqueza de espécies pelo fato de possibilitar uma menor

sobreposição de nichos, presente em habitats mais complexos (Schoener, 1974; Downes et al., 2000; Taniguchi et al., 2003).

Em ambientes de florestas, por exemplo, a heterogeneidade da serrapilheira pode permitir uma elevada diversidade de invertebrados colonizadores (Ferreira & Marques 1998; Souza-Silva & Ferreira 2004).

Jaffé et al. (2016), encontrou uma maior riqueza de espécies, em cavernas inseridas em rochas ferruginosas relacionada a presença de detritos orgânicos, raízes e populações residentes de quirópteros. Gomes (2017), utilizando metodologia similar ao presente estudo, em cavernas ferruginosas, também observou relação positiva e significativa da riqueza de invertebrados com a heterogeneidade de substratos ao nível de microescala.

Além da disponibilidade de abrigo depósitos de guano também funcionam como recurso alimentar para a fauna de invertebrados, possibilitando uma maior riqueza, principalmente em ambientes de cavernas secas e/ou oligotróficas (Ferreira et al., 2007).

Influências dos substratos na riqueza dos invertebrados cavernícolas em mesoescala

Fauna em mesoescala pode apresentar indivíduos de maior tamanho corporal (Bichuette et al., 2015), os quais apresentam maiores taxas de dispersão, o que pode ter efeito distinto na estrutura e a dinâmica das comunidades (Holt, 1985; Pulliam, 1988; Danielson, 1991; Holt et al., 2003). Enquanto, em microescala a heterogeneidade dos substratos afeta positivamente a riqueza de espécies, em mesoescala apenas o guano mostrou influência positiva e significativa na riqueza de invertebrados. Diferentes estudos têm mostrado que a riqueza das comunidades de invertebrados em cavernas é influenciada pela disponibilidade de recursos alimentares disponíveis, principalmente guano de morcegos (Ferreira et al., 2007; Souza-Silva et al., 2011a; Schneider et al., 2011). Uma vez que a maioria das cavernas em todo mundo se caracterizam como ambientes oligotróficos, a ocorrência de recursos alimentares, mesmo que efêmeros, pode funcionar como um elemento de concentração da fauna (Schneider et al., 2001). Inúmeros autores têm mostrado que depósitos de guano de morcegos em cavernas atuam como importante recurso para a fauna de invertebrados pelo fato de funcionarem como habitat e recurso alimentar (Decu, 1986; Gnaspini-Neto, 1989; Ferreira & Martins, 1999; Ferreira et al., 2000; Santana et al., 2010; Pellegrini & Ferreira, 2012b).

Influências das características da paisagem na riqueza das comunidades cavernícolas

A vegetação nativa preservada em um raio de 1000 m no entorno da entradas cavernas da região cárstica de Iuiú influenciou positivamente a riqueza de invertebrados associados às cavernas. As zonas de entradas das cavernas representam uma importante região ecotonal, atuando também como uma região de captação de recursos e fonte de fauna colonizadora para o interior de cavernas (Prous et al., 2004; Culver, 2005). Assim é provável que alterações na vegetação do entorno tenha influência nas taxas de importação de recurso e a riqueza da fauna nas entradas de cavernas.

Estudos tem revelado que escalas de paisagens amplas ou estreitas podem apresentar influência na estrutura das comunidades cavernícolas (Bento 2011; Pellegrini et al. 2016) entretanto, aquelas mais amplas podem ser mais heterogêneas e por consequência captam mais informações importantes na manutenção da fauna nos ambientes subterrâneos. Provavelmente as variações na escala estejam associadas diretamente a área de vida de populações de morcegos e/ou bacias de drenagens associadas às cavernas, além do pool de espécies regionais, que tem forte influência sobre a fauna local (Shurin et al. 2000; Amarasekare, 2003; Leibold & Miller, 200; Rabelo, 2016).

Em regiões cársticas, as principais áreas preservadas podem ser compreendidas aos afloramentos rochosos e seu entorno, que geralmente são áreas impróprias para o uso humano em atividades agropastoris (Frumkin, 1999). É provável que indiretamente as áreas preservadas destes afloramentos estejam atuando na manutenção de fontes de recursos alimentares para espécies de morcegos que importam recursos como restos alimentares e guano para as cavernas.

A influência dos componentes do habitat na estruturação das comunidades cavernícolas

Processos ecológicos que envolvem interações entre diferentes espécies ocorrem de diferentes maneiras quando se consideram diferentes escalas espaciais (Wiens, 1989; Levin, 1992; Holt, 1993; Maurer, 1999; Hubbell, 2001).

Para os modelos em microescala e mesoescala a variável clastos mostrou efeitos significativos na composição e abundância dos invertebrados cavernícolas. Pelegrini et al. (2016) encontrou que habitats mais heterogêneos explicam melhor a composição das comunidades subterrâneas. Clastos podem fornecer uma variedade de microhabitats para a fauna de invertebrados, aumentando o número de abrigos, criando uma maior

diversidade de nichos e conseqüentemente a heterogeneidade do habitat. Segundo Ortuño et al. (2013) e Mammola et al. (2016) ambientes formados pela aglomeração de cascalho compreendem habitats com micro e meso espaços vazios que podem e fornecer microhabitats, recursos alimentares, proteção e refúgio a fauna de invertebrados terrestres, que apresentam distintas preferências ecológicas.

Em microhabitats, comunidades de invertebrados podem ocorrer mesmo que com poucas espécies e persistirem ou desaparecem destes sistemas pela fusão com comunidades maiores (Reed, 1958). Pelo fato destas espécies apresentarem diferentes necessidades quanto ao uso do recurso alimentar e do espaço, a coexistência em microhabitats mais heterogêneos é facilitada (Tilman, 1982; Tilman, 1994). Além disto, o pequeno tamanho corporal e a mobilidade reduzida juntamente com a oferta de condições físico químicas dos recursos e do ambiente favorecem a ocorrência de populações em microhabitats mais heterogêneos (Rosenzweig, 1981; Souza-Silva & Ferreira, 2004; Samways, 2005; Souza-Silva et al., 2009; Mammoloa et al., 2015). Enquanto o guano de morcegos influenciou a riqueza de espécies em mesoescala, em microescala ele influenciou a composição e abundância das espécies. Como já dito anteriormente, o guano fornece, além de abrigo, uma importante forma de recurso para os invertebrados cavernícolas, podendo abrigar uma alta abundância de alguns organismos (Pellegrini & Ferreira, 2013), como registrado por Ferreira et al. (2007), que encontraram uma abundância de mais de 12.000 indivíduos em depósitos de guano de uma única caverna da região semiárida do nordeste brasileiro.

O sedimento úmido apresentou relação positiva com a composição e abundância da fauna na mesoescala. É importante salientar que principalmente as espécies troglomórficas, se associavam ao sedimento úmido, sendo percebidas pelos coletores ao nível da mesoescala (Mammola et al., 2015). No geral troglóbios apresentam baixa capacidade de retenção de água em função da fina cutícula e grande superfície em relação à massa corporal (Culver & Papan, 2009). Simões et al. (2015), encontrou em cavernas com presença de água, uma riqueza significativamente maior de espécies troglomórficas. Deste modo, podemos inferir que a presença de umidade nas cavernas favorece o estabelecimento de espécies higrófilas e ombrófilas, tendo em vista que este fato torna estes ambientes mais estáveis, e conseqüentemente favorecendo o isolamento de espécies (Culver, 1982; Howarth, 1983; Mammola et al., 2015).

Considerações gerais

Uma compreensão de como a escala espacial afeta, a biodiversidade subterrânea pode ser especialmente útil na compreensão das consequências da fragmentação e alteração de habitat, causando perda de biodiversidade (Urban et al. 1987).

Um mosaico de condições de estrutura de habitat disponíveis a colonização para invertebrados em microescala e mesoescala, são importantes fatores determinantes da estrutura das comunidades de invertebrados e na promoção e manutenção da diversidade nas cavernas.

Regiões de cavernas que possuem uma maior diversidade de substratos, orgânicos e inorgânicos podem apresentar maior número de espécies amostradas em escalas menores. O guano de quirópteros também influencia positivamente a riqueza de espécies, porém para os invertebrados amostrados em mesoescala. Características do substrato, como a umidade do substrato pode estar relacionada a estruturação das comunidades cavernícolas em regiões de climas mais secos. Tais fatos ajudam a embasar decisões em uso, conservação e manejo de cavernas frente a diferentes usos antrópicos. Como exemplos têm-se as atividades impactantes do pisoteamento oriundas de uso turístico e religioso em cavernas (Pellegrini & Ferreira, 2012a; Souza-Silva et al., 2015). O pisoteio sobre o piso das cavernas podem afetar significativamente a conformação dos substratos, podendo gerar impactos negativos sobre as comunidades (Romero, 2009; Pellegrini & Ferreira, 2012a), tornando essencial a identificação dos substratos e microhabitats presentes no piso da caverna no manejo da visitação em cavidades naturais.

Estudos, ainda que incipientes, demonstram que a influência da paisagem de entorno nas comunidades cavernícolas são mais extensas, do que aqueles constantes na legislação de proteção de entorno de cavernas no Brasil para proteção de fauna de invertebrados (raio de 250 metros, Decreto nº 6.640/2008). Deste modo, a exigência de estudos mais detalhados na definição das áreas de preservação do entorno é justificada e necessária para preservar a biodiversidade subterrânea ameaçadas por atividades antrópicas.

Referências

- Addicott, J. F., Aho, J. M., Antolin, M. F., Padilla, D. K., Richardson, J. S. & Soluk, D. A., 1987 - *Ecological neighborhoods: scaling environmental patterns*. *Oikos*, 49: 340-346.
- Amarasekare, P., 2003 - *Competitive coexistence in spatially structure environments: a synthesis*. *Ecol. Lett.*, 6: 1109–1122.
- Anderson, J. M., 1995 - *Soil organisms as engineers: microsite modulation of macroscale processes*. *Linking species and ecosystems*, 94-106.
- Apgaua, D.M.G.S., Santos, R.M., Pereira, D.G. S.O.M., G. C., Pires, G.G., Fontes, M.A.L., & Tng, D.Y.P., 2014 - *Beta-diversity in seasonally dry tropical forests (SDTF) in the Caatinga Biogeographic Domain, Brazil, and its implications for conservation*. *Biodiversity and conservation*, 23(1): 217-232.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S., 2014 - *Fitting linear mixed-effects models using lme4*. R package version, 1(7): 1-23.
- Bell S.S., McCoy E.D. & Mushinsky H.R., 1991 - *Habitat Structure: the Physical Arrangement of Objects in Space*. Chapman & Hall, London, 439p.
- Bento, D.M., 2011- *Diversidade de invertebrados em cavernas calcárias do oeste potiguar: subsídios para determinação de áreas prioritárias para conservação*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 160p.
- Bento, D.M., Ferreira, R.L., Prous, X., Souza-Silva, M., Bellini, B.C., Vasconcellos, A., 2016 - *Seasonal variations in cave invertebrate communities in the semiarid Caatinga, Brazil*. *Journal of Cave and Karst Studies*, 68: 61-71.
- Bichuette, M.E., Simões, L.B., von Schimonsky, D.M., Gallão, J.E., 2015 - *Effectiveness of quadrat sampling on terrestrial cave fauna survey-a case study in a Neotropical cave*. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 37(3), 345-351.
- Bolker, B. M., Brooks, M. E., Clark, C. J., Geange, S. W., Poulsen, J. R., Stevens, M. H. H., White, J.S.S., 2009 - *Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution*. *Trends in Ecology & Evolution* 24: 127–135.
- Brasil, 2008 - *Decreto nº 6.640, 07 novembro de 2008, dá nova redação aos arts. 1º, 2º, 3º, 4º e 5º e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto no 99.556, de 1º de outubro de 1990, que dispõe sobre proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional*. *Diário Oficial da União*, 218: 8-9.
- Burnham, K. P., Anderson, D. R., 2002 - *Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach*. 2nd ed. New York, Springer-Verlag.

- Burnham, K. P., Anderson, D. R., Huyvaert, K. P., 2011 - *AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: some background, observations, and comparisons*. Behavioral Ecology and Sociobiology, 65:23–35.
- Cordeiro, L. M., 2008 - *Fauna cavernícola da Serra da Bodoquena: revisão bibliográfica e um estudo de ecologia de comunidades*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, 118 p.
- Culver D.C., 2005 - *Ecotones*. In: Culver, D.C. & White, W.B (Eds.), *Encyclopedia of caves*. Elsevier Academic Press, California, p. 206-208.
- Culver, D.C. & Pipan, T., 2008 - *Superficial subterranean habitats – gateway to the subterranean realm?* Cave Karst Sci., 35:5–12.
- Culver, D.C. 1982 - *Cave life*. Cambridge, Harvard Univ., 189p.
- Culver, D.C., Christman, M.C., Elliott, W.R., Hobbs, H.H., & Reddell, J. R., 2003 - *The North American obligate cave fauna: regional patterns*. Biodiversity and Conservation, 12(3): 441-468.
- Culver, D.C., Christman, M.C., Šereg, I., Trontelj, P., & Sket, B., 2004 - *The location of terrestrial species-rich caves in a cave-rich area*. Subterranean Biology, 2: 27-32.
- Culver, D.C., & Pipan, T., 2014- *Shallow subterranean habitats: ecology, evolution, and conservation*. OUP Oxford.
- Culver, D.C. & Pipan, T., 2009 - *The biology of caves and other subterranean habitats*. Oxford University Press, 273p.
- Danielson, B.J., 1991 - *Communities in a landscape: the influence of habitat heterogeneity on the interactions between species*. Am. Nat., 138:1105–1120.
- Davis, J.C., 1986 - *Statistics and Data Analysis in Geology (2nd ed)*. Wiley, New York
- Decu, V., 1986 - *Some considerations on the bat guano synusia*. Travail du Institut de Spéologie “Emile Racovitza, 25(1): 41-51.
- Downes, B.J., Lake, P.S., Schreiber, E.S.G., & Glaister, A., 2000 - *Habitat structure, resources and diversity: the separate effects of surface roughness and macroalgae on stream invertebrates*. Oecologia, 123(4):569-581
- Dumbrell, A.J., Clark, E.J., Frost, G.A., Randell, T.E., Pitchford, J.W., & Hill, J.K., 2008 - *Changes in species diversity following habitat disturbance are dependent on spatial scale: theoretical and empirical evidence*. Journal of Applied Ecology, 45(5):1531-1539.

- Eme, D., Zagamajster, M., Fiser, C., Glassi, D., Marmonier, P., Stoch, F., Cornu, J.F., Oberdorff, T. & Malard, F., 2014 - *Multi-causality and spatial non-stationarity in the determinants of groundwater crustacean diversity in Europe*. *Ecography*, 37: 1-10.
- Fagan, W.F., Lutscher, F., & Schneider, K., 2007 - *Population and community consequences of spatial subsidies derived from central-place foraging*. *American Naturalist*, 170:902–15.
- Fahrig, L., 2003 - *Effects of habitat fragmentation on biodiversity*. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34:487–515.
- Faille, A., Bourdeau, C., & Deharveng, L., 2015 - *Weak impact of tourism activities on biodiversity in a subterranean hotspot of endemism and its implications for the conservation of cave fauna*. *Insect Conservation and Diversity*, 8(3):205-215.
- Ferreira, R.L. & Martins, R.P., 1999 - *Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities with special reference to Brazilian caves*. *Tropical Zoology*, 12 (2): 231-259.
- Ferreira, R.L., Martins, R.P. & Yanega, D., 2000 - *Ecology of bat guano arthropod communities in a Brazilian dry cave*. *Ecotropica*, 6 (2): 105-116.
- Ferreira, R.L. & Marques, M.M.G.S.M., 1998 - *A fauna de artrópodes de serrapilheira de áreas de Eucalyptus sp. e mata secundária heterogênea*. *Anais da Sociedade Entomológica Do Brasil*, 27(3): 395–403.
- Ferreira, R. L., & Souza-Silva, M., 2001 - *Biodiversity under rocks: the role of microhabitats in structuring invertebrate communities in Brazilian outcrops*. *Biodiversity and Conservation*, 10(7):1171-1183.
- Ferreira, R. L., Soares, S.M. & Barros, C.F.A., 2009 - *Biodiversity under rocks in disturbed habitats: the role of microhabitats in landscape heterogeneity and community maintenance*. *Revista Brasileira de Zoociências*, 11(2):129-136.
- Ferreira, R.L., Martins, V.M., Paixão, E.A., & Silva, M.S., 2015 - *Spatial and temporal fluctuations of the abundance of Neotropical cave-dwelling moth *Hypena* sp.(Noctuidae, Lepidoptera) influenced by temperature and humidity*. *Subterranean Biology*, 16: 47-60.
- Ferreira, R.L., Prous, X. & Martins, R. P., 2007 - *Structure of bat guano communities in a dry Brazilian cave*. *Tropical Zoology*, 20(1): 55-74.
- Ferreira, R.L., 2004. *A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos*. Tese de doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, 158p.

Fortin, M.J. & Dale, M.R.T., 2005 - *Spatial Analysis: A Guide for Ecologists*. Cambridge University Press, Cambridge.

Frumkin, A., 1999 - *Interaction between Karst, water and agriculture over the climatic gradient of Israel*. International Journal of Speleology, 28b(1/4): 99–110.

Gibert, J. & Deharveng, L., 2002 - *Subterranean Ecosystems: A Truncated Functional Biodiversity*. BioScience, 52: 473-481.

Gillieson, D. & Thurgate, M., 1999 - *Karst and Agriculture in Australia*. International Journal of Speleology, 28b(1/4): 149–168.

Gnaspini-Neto, P., 1989 - *Análise comparativa da fauna associada a depósitos de guano de morcegos cavernícolas no Brasil: primeira aproximação*. Revista Brasileira de Entomologia, 33:183-192.

Goldsbrough, C. L., Hochuli, D. F., & Shine, R. 2002 - *Invertebrate biodiversity under hot rocks: habitat use by the fauna of sandstone outcrops in the Sydney region*. Biological conservation, 109(1):85-93.

Gomes, A.M., 2017- *Uma luz na escuridão: desvendando os processos estruturadores da fauna cavernícola via partição de variância*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 50p.

Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A., 2005 - *Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas*. International journal of climatology, 25(15): 1965-1978.

Holt, R.D., Barfield, M. & Gonzalez, A., 2003 - *Impacts of environmental variability in open populations and communities: “inflation” in sink environments*. Theor. Popul. Biol., 64:315–330.

Holt, R.D., 1985 - *Population dynamics in two-patch environments: some anomalous consequences of an optimal habitat distribution*. Theor. Popul. Biol., 28:181–208.

Holt, R.D., 1993 - *Ecology at the mesoscale: the influence of regional processes on local communities*. In: Ricklefs, R. & Schluter, D. (Eds.), *Species Diversity in Ecological Communities*. University of Chicago Press, Chicago, p. 77–88.

Howarth, F.G., 1983 - *Ecology of cave arthropods*. Annual Review of Entomology, Stanford, 28: 365-389.

Hubbell, S.P., 2001 - *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography*. Princeton University Press, Princeton.

Humphreys, W.F., 1991- *Experimental re-establishment of pulse-driven population in a terrestrial troglobite community*. Journal of Animal Ecology, 60:609-623.

Jaffé, R., Prous, X., Zampaulo, R., Giannini, T.C., Imperatriz-Fonseca, V.L., Maurity, C. & Siqueira, J.O., 2016 - *Reconciling Mining with the Conservation of Cave Biodiversity: A Quantitative Baseline to Help Establish Conservation Priorities*. PLoS one, 11(12):1-16.

Legendre, P. & Anderson, M.J., 1999 - *Distance-based redundancy analysis: testing multi-species responses in multi-factorial ecological experiments*. Ecological Monographs, 69: 1–24.

Legendre, P. & Legendre, L. 1998 - *Numerical Ecology, second English edition*. Elsevier Science B.V., Amsterdam.

Leibold, M.A. & Miller, T.E., 2004 - *From metapopulations to metacommunities*. In: Hanski, I. & Gaggiotti, O.E. (Eds.), *Ecology, Genetics, and Evolution of Metapopulations*. Elsevier/Academic Press, Amsterdam, p. 133–150.

Levin, S.A., 1992 - *The problem of pattern and scale in ecology*. Ecology, 73:1943–1967.

MacDonald, D., Crabtree, J., Wiesinger, G., 2000 - *Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: Environmental consequences and policy response*. Journal of Environmental Management, 59(1): 47–69.

Mammola, S., Piano, E., Giachino, P.M. & Isaia M., 2015 - *Seasonal dynamics and micro-climatic preference of two Alpine endemic hypogean beetles*. International Journal of Speleology, 44(3):239-249.

Mammola, S., Piano, E., & Isaia, M., 2016 - *Step back! Niche dynamics in cave-dwelling predators*. Acta Oecologica, 75:35-42.

Maurer, B.A., 1999 - *Untangling Ecological Complexity: The Macroscopic Perspective*. University of Chicago Press, Chicago.

McGlenn, D.J., Hurlbert, A.H., 2012. *Scale dependence in species turnover reflects variance in species occupancy*. Ecology, 93(2): 294–302.

Morris, D.W., 2003 - *Toward an ecological synthesis: a case for habitat selection*. Oecologia, 136:1–13.

Morueta-Holme, N., Enquist, B.J., McGill, B.J., Boyle, B., Jørgensen, P.M., Ott, J.E., Peet, R.K., Símova, I., Sloat, L.L., Thiers, B., Violle, C., Wisser, S.K., Dolins, S., Donoghue, J.C., Kraft, N.J.B., Regetz, J., Schildhauer, M. & Svenning, J.C., 2013 - *Habitat area and climate stability determine geographical variation in plant species range sizes*. Ecology Letters, 16: 1446–1454.

Oksanen, J., Kindt, R., Legendre, P., O'Hara, B., Stevens, M. H. H., Oksanen, M. J., Suggests, M. A. S. S., 2007 - *The vegan package*. Community ecology package, 10: 631-637.

Oksanen, J.R., Blanchet, R., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P.R., O' Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Henry, M., Stevens, H. & Wagner, H., 2012 - *Vegan: Community Ecology Package*. Department of Statistics and Mathematics. University of Economics and Business Administration, Vienna.

Oliveira, M.P.A., 2014 - *Os métodos de coleta utilizados em cavernas são eficientes para a amostragem da fauna subterrânea?* Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, 126 p.

Ortuño, V.M., Gilgado, J.D., Jiménez-Valverde, A., Sendra, A., Pérez-Suárez, G. & Herrero-Borgoñón, J.J., 2013 - *The "Alluvial Mesovoid Shallow Substratum", a New Subterranean Habitat*. PLoS ONE, 8(10): e76311.

Peck, D.V., Herlihy, A.T., Hill, B.H., Hughes, R.M., Kaufmann, P.R., Klemm, D.J., Lazorchak, J.M., McCormick, F.H., Peterson, S.A., Ringold, P.L., Magee, T. & Cappaert, M., 2006 - *Environmental Monitoring and Assessment Program-Surface Waters Western Pilot Study: Field Operations Manual for Wadeable Streams*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington.

Pellegrini, T.G. & Ferreira, R.L., 2012a - *Management in a neotropical show cave: planning for invertebrates conservation*. *International Journal of Speleology*, 41(2): 361–368.

Pellegrini, T.G., & Ferreira, R.L., 2012b - *Sampling effort in mite communities associated with cave bat guano*. *Speleobiology Notes*, 4: 10-16.

Pellegrini, T.G., & Ferreira, R.L., 2013 - *Structure and interactions in a cave guano–soil continuum community*. *European journal of soil biology*, 57:19-26.

Pellegrini, T., Sales, L.P., Aguiar, P. & Ferreira, R.L., 2016 - *Linking spatial scale dependence of land-use descriptors and invertebrate cave community composition*. *Subterranean Biology*, 5: 1-9.

Pickett, S.T.A & White, P.S. (Eds.), 1985 - *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press, New York.

Pipan, T., Lopez, H., Oromi, P., Polak, S., & Culver, D. C., 2010 - *Temperature variation and the presence of troglobionts in terrestrial shallow subterranean habitats*. *Journal of Natural History*, 45(3-4):253-273.

Poulson, T.L., 2005 - *Food Sources*. In: Culver, D.C. & White, W.B. (Eds.), *Encyclopedia of caves*. Elsevier, Burlington, p - 255–264.

- Prous, X., 2005 - *Entradas de cavernas: interfaces de biodiversidade entre ambientes externos e subterrâneos. Distribuição dos artrópodes da Lapa do Mosquito, Minas Gerais*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, 110p.
- Prous, X., Ferreira, R.L. & Martins, R.P., 2004 - *Ecotone delimitation: epigean-hypogean transition in cave ecosystems*. *Austral Ecol*, 29:374–382.
- Pulliam, H.R., 1988 - *Sources, sinks, and population regulation*. *Am. Nat.*, 132:652–661.
- Rabelo, L.M., 2016 - *Ecologia e conservação de cavernas no eixo Centro-norte de Minas Gerais*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Lavras, 101p.
- Reed, H.B., 1958 - *A study of dog carcass communities in Tennessee, with special reference to the insects*. *The American Naturalist*, 59(1):213-245.
- Romero, A., 2009 - *Cave Biology*. University Press, Cambridge.
- Rosenzweig, M.L., 1981. *A theory of habitat selection*. *Ecology*, 62(2): 327–335.
- Samways, M.J., 2005 - *Insect diversity conservation*. Cambridge University Press, 342p.
- Santana, M.E.V., Souto, L.S. & Dantas, M.A.T., 2010 - *Diversidade de invertebrados cavernícolas na Toca da Raposa (Simão Dias – Sergipe): o papel do recurso alimentar e métodos de amostragem*. *Scientia Plena*, 6:1–8.
- Santos, T. F., Teixeira-Silva, C. M., Timo, M. B., Simões, P. R., Vieira, F. F., Morais, F., Roberto, G. G., Oliveira, G. P. C., Oliveira, S. O., Ferreira, A. S. & Paula, H. C., 2007 - *Serra do Iuiú, BA: Um grande potencial espeleológico*. *Revista Espeleologia da Sociedade Excursionista e Espeológica –SEE*, 12:9-29.
- Schneider, K., Christman, M.C., & Fagan, W.F., 2011 - *The influence of resource subsidies on cave invertebrates: results from an ecosystem-level manipulation experiment*. *Ecology*, 92(3): 765-776.
- Schoener, T.W., 1974 - *Resource partitioning in ecological communities*. *Science*, 185(4145):27e39.
- Sharratt, N.J., Picker, M. & Samways, M., 2000 - *The invertebrate fauna of the sandstone of the caves of the Cape Peninsula (South Africa): patterns of endemism and conservation priorities*. *Biodivers Conserv*, 9:107-143.
- Shurin, J.B., Havel, J.E., Leibold, M.A. & Pinel-Alloul, B., 2000 - *Local and regional zooplankton species richness: a scale-independent test for saturation*. *Ecology*, 81:3062–3073.

- Silva, J.M.C. & Casteleti, C.H.M., 2005 - *Estado da biodiversidade da Mata Atlântica brasileira*. In: Galindo-Leal, C. & Câmara, I.G. (Eds.), *Mata Atlântica: Biodiversidade, ameaças e perspectivas*. Fundação SOS Mata Atlântica, p.43-59.
- Simões, M.H., Souza-Silva, M. & Ferreira, R.L. 2015 - *Cave physical attributes influencing the structure of terrestrial invertebrate communities in Neotropics*. *Subterranean Biology*, 16: 103-121.
- Souza-Silva, M., & Ferreira, R. L., 2004 - *Heterotrophic succession in *Alibertia edulis* fruits: variation in resource availability and temporal heterogeneity of microhabitats for invertebrates*. *Ecotropica*, 10(1): 23-32.
- Souza-Silva, M., Oliveira-Silva, J.T., Bernardi, L. F.O., Martins, R.P., & Ferreira, R.L., 2009 - *Troncos caídos na serrapilheira de mata: “microhabitats” que promovem diversidade*. *Revista Brasileira de Zootecias*, 11(1):79-87.
- Souza-Silva, M., Ferreira, R.L., 2009 - *Estrutura das comunidades de invertebrados em cinco cavernas insulares e intertidais na costa brasileira*. *Espeleo-Tema*, 20(2): 25-36.
- Souza-Silva, M., Ferreira, R.L., 2015 - *Cave invertebrates in Espírito Santo state, Brazil: a primary analysis of endemism, threats and conservation priorities*. *Subterranean Biology*, 16(1): 79-102.
- Souza-Silva, M. & Ferreira, R.L., 2016 - *The first two hotspots of subterranean biodiversity in South America*. *Subterranean Biology*, 19(1): 1-21.
- Souza-Silva, M., Martins, R.P. & Ferreira R.L. 2011b - *Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest*. *Biodiversity Conservation*, 20: 1713–1729.
- Souza-Silva, M., Martins, R.P. & Ferreira, R.L., 2011a - *Trophic dynamics in a neotropical limestone cave*. *Subterranean Biology*, 9(1): 127-138.
- Souza-Silva, M., Martins, R.P. & Ferreira, R.L., 2015 - *Cave conservation priority index to adopt a rapid protection strategy: a case study in Brazilian Atlantic rain forest*. *Environmental management*, 55(2):279-295.
- Taniguchi, H., Nakano, S., & Tokeshi, M., 2003 - *Influences of habitat complexity on the diversity and abundance of epiphytic invertebrates on plants*. *Freshwater Biology*, 48(4): 718-728.
- Tilman, D., 1982 - *Resource competition and community structure*. Princeton University Press, Princeton, 296p.
- Tilman, D., 1994 - *Competition and biodiversity in spatially structured habitats*. *Ecology*, 75: 2–16.

- Urban, D.L., O'Neill, R.V. & Shugart, H.H., 1987 - *Landscape ecology*. *BioScience*, 37: 119-127.
- Weinstein, P., Slaney, D., 1995 - *Invertebrate faunal survey of Rope Ladder cave, Northern Queensland: a comparative study of sampling methods*. *J Aust Entomol Soc*, 34:233–236.
- Wiens, J.A., 1976 - *Population responses to patchy environments*. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 7: 81-120.
- Wiens, J.A., 1989 - *Spatial scaling in ecology*. *Funct. Ecol.*, 3: 385–397.
- Wiens, J.A., 1985 - *Habitat selection in variable environments: shrub- steppe birds*. In: Cody, M. L. (Eds.), *Habitat selection in birds*. Academic Press, Inc., p. 227-251.
- Zagmajster, M., Eme, D., Fiser, C., Galassi, D., Marmonier, P., Stoch, F., Cornu, J.F., Malard, F., 2014 - *Geographic variation in range size and beta diversity of groundwater crustaceans: insights from habitats with low thermal seasonality*. *Global Ecology and Biogeography*, 23(10):1135-1145.
- Zimmermann, P., Tasser, E., Leitinger, G., Tappeiner, U. 2010 - *Effects of land-use and land-cover pattern on landscape-scale biodiversity in the European Alps*. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 139(1-2): 13–22.

Anexos

Anexo I – Unidades amostrais e variáveis medidas na área de estudo na micro escala. Cavernas (TF= Toca Fria; AH= Abrigo do Honorato; BA=Baixão; GM=Garganta do Macaco; LV=Lajedo da Veredinha; LH= Lapa do Honorato; PI= Picoteamento; RA=Raiz; SE= Sepultamento; SV= Sumidouro das Vacas; TA= Tapera D'água; TO= Toca da Onça; TV= Toca Valada; TC= Tocão; VA= Vai Quem Quer; UJ= Urubu Jatobá; QUA= quadrantes; S= riqueza; sed.um. = sedimento úmido; sed.sec. = sedimento seco; rocha = rocha nua; raiz = raízes; clastos = clastos; det.org. = detritos orgânicos; guano = guano; gre.ress. = gretas de ressecamento; casc = cascalho; água = corpos d'água.

CAVE	QUA	S	sed.sec.	sed.um.	agua	casc.	gre.ress.	clastos	det.org	raiz	guano	rocha
TF	ATF1	0	0.49	-	-	-	0.48	-	-	-	-	-
TF	BTF1	1	0.60	-	-	-	0.20	0.02	0.15	-	-	-
TF	CTF1	1	0.42	-	-	0.16	0.35	0.07	-	-	-	-
TF	DTF1	1	0.45	-	-	-	0.15	0.37	0.01	-	-	-
TF	ETF1	2	0.40	-	-	-	0.40	-	-	-	-	0.20
TF	ATF2	0	0.43	-	-	-	0.43	-	-	-	-	0.13
TF	BTF2	5	0.70	-	-	-	-	-	-	-	0.30	-
TF	CTF2	1	0.70	-	-	-	0.28	-	-	-	-	0.01
TF	DTF2	0	0.51	-	-	0.32	-	0.06	-	-	-	0.10
TF	ETF2	0	0.53	-	-	-	0.47	-	-	-	-	-
TF	ATF3	3	0.38	-	-	-	-	0.62	-	-	-	-
TF	BTF3	3	0.32	-	-	-	-	0.61	0.07	-	-	-
TF	CTF3	0	-	-	-	-	-	0.40	-	-	-	0.50
TF	DTF4	0	0.20	-	-	-	-	0.80	-	-	-	-
TF	ETF3	0	0.50	-	-	-	-	0.42	-	-	-	0.08
TF	ATF4	5	0.45	-	-	-	-	0.45	0.05	-	-	0.05
TF	BTF4	6	0.67	-	-	-	-	0.33	-	-	-	-
TF	CTF4	1	0.37	-	-	-	-	0.36	-	-	-	0.27
TF	DTF4	2	0.44	-	-	0.26	-	0.28	0.01	0.01	-	-
TF	ETF4	8	-	-	-	-	-	0.64	0.46	-	-	-
AH	AAH1	3	0.40	-	-	-	-	0.60	-	-	-	-
AH	BAH1	3	0.47	-	-	-	-	0.47	0.06	-	-	-
AH	CAH1	3	0.80	-	-	-	-	0.10	0.10	-	-	-
AH	DAH1	4	0.23	-	-	-	-	0.23	0.23	-	-	0.33
AH	EAH1	2	0.08	-	-	-	-	0.80	0.13	-	-	-
BA	ABA1	0	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-
BA	BBA1	3	-	0.73	-	-	-	0.19	0.09	-	-	-
BA	CBA1	3	-	0.72	-	0.09	-	-	0.20	-	-	-
BA	DBA1	1	-	0.65	-	-	-	-	0.35	-	-	-
BA	EBA1	0	-	0.85	-	-	-	-	0.15	-	-	-
GM	AGM1	1	0.40	-	-	-	0.40	-	0.20	-	-	-
GM	BGM1	1	0.91	-	-	-	-	-	0.09	-	-	-

GM	CGM1	1	0.47	-	-	-	-	0.47	0.06	-	-	-
GM	DGM1	2	0.95	-	-	-	-	-	0.05	-	-	-
GM	EGM1	1	0.40	-	-	-	0.40	-	0.20	-	-	-
LV	ALV1	5	0.50	-	-	-	-	0.32	0.18	-	-	-
LV	BLV1	5	-	-	-	-	-	0.06	0.24	-	0.06	0.64
LV	CLV1	1	0.30	-	-	-	0.18	0.20	-	-	-	0.32
LV	DLV1	5	-	-	-	-	-	0.85	0.15	-	-	-
LV	ELV1	1	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	0.80
LH	ALH1	5	0.46	-	-	-	-	0.54	-	-	-	-
LH	BLH1	5	0.47	-	-	-	-	0.47	0.06	-	-	-
LH	CLH1	0	0.54	-	-	0.40	-	-	0.06	-	-	-
LH	DLH1	3	0.70	-	-	-	-	0.30	-	-	-	-
LH	ELH1	3	0.38	-	-	-	-	0.62	-	-	-	-
PI	API1	2	0.08	-	-	-	-	0.19	-	-	-	0.73
PI	BPI1	1	-	-	-	-	-	-	0.50	-	-	0.50
PI	CPI1	2	-	-	-	-	-	0.51	0.49	-	-	-
PI	DPI1	1	0.40	-	-	-	-	0.08	0.52	-	-	-
PI	EPI1	2	-	-	-	-	-	0.66	0.34	-	-	-
RA	ARA1	2	0.94	-	-	-	-	-	0.06	-	-	-
RA	BRA1	2	0.84	-	-	-	-	-	0.09	0.07	-	-
RA	CRA1	1	0.54	-	-	-	-	-	0.06	0.40	-	-
RA	DRA1	2	0.30	-	-	-	0.30	-	0.40	-	-	-
RA	ERA1	1	0.40	-	-	-	0.30	-	0.30	-	-	-
SE	ASE1	1	0.81	-	-	-	-	0.19	-	-	-	-
SE	BSE1	1	0.81	-	-	-	-	0.19	-	-	-	-
SE	CSE1	5	0.60	-	-	-	0.20	0.10	0.10	-	-	-
SE	DSE1	1	0.57	-	-	-	0.40	-	0.03	-	-	-
SE	ESE1	3	0.70	-	-	-	0.29	-	-	-	-	0.01
SE	ASE2	5	0.30	-	-	-	0.30	0.10	0.30	-	-	-
SE	BSE2	3	0.35	-	-	-	0.35	0.06	0.24	-	-	-
SE	CSE2	0	0.30	-	-	-	0.20	-	0.50	-	-	-
SE	DSE2	0	0.30	-	-	-	0.20	-	0.50	-	-	-
SE	ESE2	2	0.30	-	-	-	0.20	0.05	-	0.45	-	-
SV	ASV1	6	0.40	-	-	-	-	0.46	0.14	-	-	-
SV	BSV1	0	0.30	-	-	-	0.10	0.10	0.50	-	-	-
SV	CSV1	3	0.40	-	-	-	0.20	-	0.40	-	-	-
SV	DSV1	2	0.25	-	-	-	0.20	0.05	0.50	-	-	-
SV	ESV1	1	0.40	-	-	-	-	0.20	0.40	-	-	-
TA	ATA1	4	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-
TA	BTA1	1	-	-	0.53	-	-	0.24	-	-	-	0.23
TA	CTA1	9	-	0.50	-	-	0.30	0.10	0.10	-	-	-
TA	DTA1	8	0.25	0.27	-	-	-	0.48	-	-	-	-
TA	ETA1	3	0.20	0.40	-	-	-	-	0.40	-	-	-

TO	ATO1	6	0.70	-	-	-	0.20	-	-	-	-	0.10
TO	BTO1	3	0.60	-	-	-	0.25	0.15	-	-	-	-
TO	CTO1	3	0.33	-	-	-	0.30	-	0.35	-	-	-
TO	DTO1	2	-	-	-	-	-	0.60	0.40	-	-	-
TO	ETO1	5	0.92	-	-	-	-	-	0.07	-	-	-
TV	ATV1	5	0.43	-	-	-	-	0.50	0.07	-	-	-
TV	BTV1	0	0.50	-	-	-	0.20	0.02	0.28	-	-	-
TV	CTV1	1	0.80	-	-	-	-	0.14	0.06	-	-	-
TV	DTV1	0	0.73	-	-	-	-	0.02	0.25	-	-	-
TV	ETV1	5	0.63	-	-	-	-	0.30	0.07	-	-	-
TC	ATC1	7	-	-	-	-	-	0.65	-	0.15	0.20	-
TC	BTC1	8	-	-	-	-	-	0.66	-	0.02	0.32	-
TC	CTC1	4	-	-	0.20	-	-	0.78	-	-	0.02	-
TC	DTC1	7	0.04	-	-	-	-	0.86	-	-	0.10	-
TC	ETC1	7	0.15	-	-	-	-	0.45	0.40	-	-	-
VA	AVA1	4	0.28	-	-	-	-	0.20	0.52	-	-	-
VA	BVA1	4	0.30	-	-	-	0.30	0.20	0.20	-	-	-
VA	CVA1	4	-	-	-	-	-	0.97	0.03	-	-	-
VA	DVA1	0	-	-	-	-	-	-	0.45	-	-	0.55
VA	EVA1	2	0.10	-	-	-	0.10	-	0.10	-	-	0.70
UJ	AUJ1	1	0.50	-	-	-	0.40	-	0.10	-	-	-
UJ	BUJ1	1	0.47	-	-	-	0.30	-	0.10	-	-	0.13
UJ	CUJ1	0	0.39	-	-	-	0.40	-	0.21	-	-	-
UJ	DUJ1	2	0.30	-	-	-	0.30	-	-	-	0.10	0.30
UJ	EUJ1	2	0.40	-	-	-	0.30	-	0.30	-	-	-
UJ	AUJ2	2	0.32	-	-	-	0.25	-	0.43	-	-	-
UJ	BUJ2	4	0.45	-	-	-	0.45	-	0.05	-	0.05	-
UJ	CUJ2	2	0.20	-	-	-	-	0.70	0.10	-	-	-
UJ	DUJ2	1	0.20	-	-	-	-	0.75	0.05	-	-	-
UJ	EUJ2	1	0.20	-	-	-	-	0.80	-	-	-	-
UJ	AUJ3	1	0.40	-	-	-	0.32	-	0.27	0.01	-	-
UJ	BUJ3	0	0.20	-	-	-	0.17	0.20	0.13	-	-	0.30
UJ	CUJ3	1	0.50	-	-	-	0.43	-	0.07	-	-	-
UJ	DUJ3	1	0.50	-	-	-	0.46	-	0.02	-	-	0.02
UJ	EUJ3	1	0.45	-	-	-	0.40	0.10	0.05	-	-	-
UJ	AUJ4	1	0.35	-	-	0.32	0.33	-	-	-	-	-
UJ	BUJ4	4	0.35	-	-	0.30	0.29	-	0.06	-	-	-
UJ	CUJ4	1	0.55	-	-	0.05	0.40	-	-	-	-	-
UJ	DUJ4	2	0.30	-	-	0.02	0.28	-	0.40	-	-	-
UJ	EUJ4	3	0.40	-	-	-	0.40	-	0.20	-	-	-
UJ	AUJ5	1	0.43	-	-	-	0.40	-	0.07	-	-	-
UJ	BUJ5	0	0.47	-	-	-	0.45	-	0.01	-	0.07	-
UJ	CUJ5	1	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	0.65

UJ	DUJ5	2	0.40	-	-	-	0.38	0.10	0.06	-	-	0.06
UJ	EUJ5	1	0.40	-	-	-	0.40	0.08	0.07	-	-	-
UJ	AUJ6	4	0.40	-	-	-	0.26	0.34	-	-	-	-
UJ	BUJ6	3	0.25	-	-	0.03	0.20	0.47	0.05	-	-	-
UJ	CUJ6	4	0.40	-	-	-	0.40	0.20	-	-	-	-
UJ	DUJ6	4	0.30	-	-	-	0.22	0.12	0.36	-	-	-
UJ	EUJ6	1	0.30	-	-	-	0.30	0.40	-	-	-	-

Anexo II - Unidades amostrais e variáveis medidas na área de estudo na meso escala. Cavernas (TF= Toca Fria; AH= Abrigo do Honorato; BA=Baixão; GM=Garganta do Macaco; LV=Lajedo da Veredinha; LH= Lapa do Honorato; PI= Picoteamento; RA=Raiz; SE= Sepultamento; SV= Sumidouro das Vacas; TA= Tapera D'água; TO= Toca da Onça; TV= Toca Valada; TC= Tocão; VA= Vai Quem Quer; UJ= Urubu Jatobá; tran= transecto; riq= riqueza; sed.um. = sedimento úmido; sed.sec.= sedimento seco; rocha = rocha; raiz = raízes; clastos = clastos; det.org. = detritos orgânicos; guano = guano; termit = termitos; blocos = blocos de rocha; fezes = fezes de gado).

CAVE	TRAN	RIQ	guano	raiz	det.org	termit	agua	sed.sec.	clastos	bloco	rocha	sed.um.	fezes
TF	TF1	23	-	-	0.01	-	-	0.87	0.06	0.05	0.01	-	-
TF	TF2	18	0.03	-	-	-	-	0.48	0.14	0.22	0.14	-	-
TF	TF3	14	-	-	-	-	-	0.07	0.09	0.46	0.37	-	-
TF	TF4	22	0.11	0.01	0.03	-	-	0.29	0.23	0.14	0.21	-	-
AH	AH1	36	-	-	0.04	-	-	0.31	0.05	0.17	0.34	-	0.08
BA	BA1	16	-	-	0.04	-	-	0.08	-	0.04	0.02	0.83	-
GM	GM1	23	-	0.04	0.07	-	-	0.84	0.04	0.01	0.01	-	-
LV	LV1	23	0.01	0.01	0.05	-	-	0.34	0.18	0.18	0.24	-	-
LH	LH1	29	0.09	0.03	0.01	-	-	0.38	0.07	0.10	0.33	-	-
PI	PI1	22	0.01	0.04	0.07	-	-	0.37	0.20	0.09	0.03	-	0.19
RA	RA1	28	-	0.03	0.02	-	-	0.96	-	-	-	-	-
SE	SE1	19	-	0.01	0.08	-	-	0.66	0.04	0.19	0.02	-	-
SE	SE2	24	-	0.06	0.06	-	-	0.80	0.06	0.01	-	-	-
SV	SV1	39	-	-	0.09	0.04	-	0.21	0.02	0.12	0.32	0.21	-
TA	TA1	23	-	-	0.02	0.01	0.06	0.03	0.03	0.17	0.29	0.39	-
TO	TO1	13	-	0.01	0.10	0.01	-	0.70	0.05	0.07	-	-	0.06
TV	TV1	34	-	0.02	0.06	-	-	0.73	0.06	0.09	0.03	-	-
TC	TC1	37	0.11	0.06	-	-	0.22	0.04	0.04	0.10	0.40	0.04	-
VA	VA1	14	0.01	0.02	0.02	-	-	0.54	0.13	0.20	0.08	-	-
UJ	UJ1	19	0.01	0.06	0.05	-	-	0.85	0.03	0.01	-	-	-
UJ	UJ2	20	0.02	0.04	0.11	-	-	0.59	0.04	0.19	0.01	-	-
UJ	UJ3	14	-	0.01	0.02	-	-	0.68	0.12	0.12	0.05	-	-
UJ	UJ4	13	0.01	0.04	0.01	-	-	0.70	0.12	0.05	0.07	-	-
UJ	UJ5	11	0.01	0.01	0.02	-	-	0.57	0.05	0.07	0.27	-	-
UJ	UJ6	13	0.03	0.02	0.09	-	-	0.46	0.07	0.29	0.04	-	-

Anexo III - Unidades amostrais e variáveis medidas na área de estudo em macro escala, com os respectivos buffers com as proporções de área preservada. Cavernas (TF= Toca Fria; AH= Abrigo do Honorato; BA=Baixão; GM=Garganta do Macaco; LV=Lajedo da Veredinha; LH= Lapa do Honorato; PI= Picoteamento; RA=Raiz; SE= Sepultamento; SV= Sumidouro das Vacas; TA= Tapera D'água; TO= Toca da Onça; TV= Toca Valada; TC= Tocão; VA= Vai Quem Quer; UJ= Urubu Jatobá)

Cavernas	Riqueza	Área preservada (%)			
		100m	250m	500m	1000m
AH	40	81	68	68	-
BA	20	16	46	46	40
TF	24	44	42	42	22
GM	26	61	66	66	-
LV	29	55	87	86	42
LH	36	74	75	75	70
TO	23	34	60	60	-
PI	24	61	54	54	40
RA	31	74	35	35	-
SE	25	93	29	13	26
SV	44	28	72	72	67
TA	40	100	93	93	81
TC	48	30	86	86	70
UJ	19	1.00	91	91	-
VA	19	61	48	48	-
TV	35	74	36	36	66

Capítulo 3: Prioridade de Conservação em cavernas carbonáticas na Serra de Iuiú, Sub-região do Rio São Francisco

Rafael Costa Cardoso¹, Marconi Souza-Silva², Rodrigo Lopes Ferreira²

¹Universidade Federal de São João Del Rei, ² Universidade Federal de Lavras

Formatado de acordo com as normas da revista: *Zoologia*

Resumo

O crescimento acelerado da população humana tem levado, cada vez mais, a impactos nos sistemas cársticos, afetando, muitas vezes, de forma irreversível a biodiversidade subterrânea. A definição de áreas prioritárias para a conservação desta biodiversidade se torna então emergencial. Desta forma, o presente estudo objetivou avaliar a prioridade de conservação da fauna de invertebrados em 18 cavernas da região cárstica de Iuiú, através do Cave Conservation Priority index (CCPi), que considera a relevância biológica e o grau de impacto de cavernas. As cavernas apresentaram em um único evento amostral 318 espécies sendo 30 destas espécies (9,4%) com indicativos de restrição ao ambiente subterrâneo (com troglomorfmismos). Apenas *Iuiuniscus iuiuensis*, *Spelaebochica iuiu*, *Iuiuia caeca* são as espécies troglóbias descritas (10%). As espécies troglóbias/ troglomórficas se distribuem em 38,9% das cavernas. Cinco cavernas foram categorizadas como de extremamente alta vulnerabilidade (27,8%) e oito como de alta vulnerabilidade (44,4%). Deste modo mais de 70% das cavernas necessitam de atenção emergencial para receber ações de conservação. Seis cavernas apresentaram uma elevada proporção do entorno desmatado (> 50%). As principais alterações antrópicas observadas, no interior das cavernas, foram a inundação cíclica, o pisoteamento por bovinos, o barramento de drenagens subterrâneas e o depósito de materiais. No entorno, além do desmatamento foi observado somente estradas no entorno de 250m das cavidades. Além da singularidade da região em relação a riqueza e diversidade taxonômica de espécies troglóbias, o CCPi revelou uma elevada proporção de cavernas com necessidades de ações emergenciais para a conservação.

Palavras chave: endemismos, impactos, troglóbias, carste

Chapter 3: Conservation Priority in carbonatic caves in the karstic region of Iuiú, São Francisco River Sub-region

Rafael Costa Cardoso¹, Marconi Souza-Silva², Rodrigo Lopes Ferreira²

¹ Federal University of São João Del Rei, ² Federal University of Lavras

Abstract

The rapid growth of the human population has led, increasingly, to impacts on karstic systems, often irreversibly and affecting underground biodiversity. The definition of priority areas for the conservation of this biodiversity then becomes an emergency. In this way, the present study aimed to evaluate the conservation priority of the invertebrate fauna in 18 caves of the karstic region of Iuiú, using the Cave Conservation Priority index (CCPi), which considers the biological relevance and degree of impact of caves. The caves presented in a single sample event 318 species, 30 of which were species (9.4%) with indicative of restriction to the subterranean environment (with troglomorphisms). Only *Iuiuniscus iuiuensis*, *Spelaeobochica iuiu*, *Iuiuia caeca* are the described troglobite species (10%). The troglobite / troglomorphic species are distributed in 38.9% of the caves. Five caves were categorized as extremely high vulnerability (27.8%) and eight as high vulnerability (44.4%). Thus more than 70% of the caves need emergency attention to receive conservation actions. Six caves had a high proportion of deforested environment in the surroundings (> 50%). The main anthropic alterations observed inside the caves were cyclical flooding, trampling by cattle, subterranean drainage dam and storage of materials. In the surroundings, in addition to deforestation, only roads around 250m of the cavities were observed. In addition to the singularity of the region in relation to the richness and taxonomic diversity of troglobite species, the CCPi revealed a high proportion of caves with needs for emergency actions for conservation.

Keywords: endemism, impacts, troglobites, karst

Introdução

Os sistemas cársticos em todo o mundo têm sofrido com impactos in loco ou arredores, provenientes de distintas atividades humanas (Hardwick & Gunn 1993, Van Beynen & Townsend 2005). Atividades no meio epígeo podem afetar direta ou indiretamente a dinâmica de movimentação de sedimentos clásticos e orgânicos que são carreados para o interior de cavernas, influenciando também a hidrodinâmica e a qualidade das águas subterrâneas (Watson et al. 1997, Souza-Silva et al. 2011a). Estas áreas cársticas são, no geral, utilizadas para o cultivo de monoculturas, pastagens e criação de animais, além de barramentos artificiais com conseqüente inundação de planícies (Auler 2016, Chen & Jiang 2016). O topo de afloramentos rochosos é geralmente afetado por atividades de desmatamento, turismo, exploração mineral etc. (Frumkin 1999, Day et al. 2007, 2009). Outras ameaças a estes sistemas são oriundas de atividades de mineração e urbanização que pode levar a remoção e/ou poluição dos cursos d'água que compõe as regiões cársticas (Tihansky 1999, Keith et al. 1997), além de reduzir a biodiversidade epígea e hipógea (Culver & Pipan, 2013, Souza-Silva et al. 2015, Pellegrini et al. 2016). Assim, os impactos nas cavernas podem originarem-se direta ou indiretamente de todas as atividades citadas anteriormente e também da visitação turística que podem causar alterações oriundas de pisoteio, deposição de lixo, alteração climática, etc. (Day et al. 2007, Parise 2011, Pellegrini & Ferreira 2012, Souza-Silva et al 2015).

A presença de tais pressões antrópicas sobre os habitats subterrâneos e sua fauna demanda estudos e programas de avaliação e monitoramento da extensão destes impactos (Day & Koenig 2002, Parise & Gunn 2007, Fleury 2009, Van Beynen & Van Beynen 2011; Donato et al. 2014) com o intuito de quantificar danos e delimitar áreas prioritárias para receber distintas ações de conservação e manejo (Souza-Silva & Ferreira 2015).

Tais avaliações se justificam pelo fato das cavernas, serem importantes na manutenção de recarga de drenagens subterrâneas e abrigo para diversas espécies de quirópteros que realizam serviços ecossistêmicos nos ambientes epígeos (polinização, dispersão de sementes e predação de pragas de agrossistemas, etc.) (Elliott 2000, Guimarães & Ferreira, 2015), podendo também abrigar invertebrados e microorganismos com uso econômico e ambiental, real ou potencial (Culver & Pipan 2009, Cheeptham et al. 2013).

As cavernas são ambientes caracterizados por apresentarem um elevado número de espécies endêmicas, em função do isolamento em relação aos habitats de superfície e distribuição restrita a litotipos de rochas (Christman et al. 2005, Culver & Pipan 2009, Souza-Silva et al. 2015). Deste modo, o mapeamento da biodiversidade subterrânea tem se tornado essencial para a conservação das cavernas, possibilitando a determinação de áreas destinadas ao uso ou conservação (Christman et al. 2005, Souza-Silva & Ferreira 2015).

Na última década, legislação brasileira que diz respeito à conservação das cavernas passou por alterações, permitindo que a partir da valoração das mesmas de acordo com atributos físicos e biológicos, possam ou não ser suprimidas (Decreto N° 6.640/2008). Com isso os estudos com o objetivo de propor áreas prioritárias para a conservação da fauna subterrânea vêm sendo realizados de forma mais intensiva (Zampaulo 2010; Souza 2012; Simões et al. 2014, Souza-Silva & Ferreira 2015, Trajano et al. 2016; Souza-Silva & Ferreira 2016; Rabelo 2016) e tem aplicabilidade direta visto as exigências atuais de conservação de ambientes subterrâneos.

Desde a publicação do Plano de Ação Nacional (PAN) para a conservação do patrimônio espeleológico nas áreas cársticas da bacia do Rio São Francisco (Cavalcanti et al. 2012), poucos estudos sobre as comunidades de invertebrados cavernícolas foram realizados na região que compreende o Médio São Francisco (regiões cársticas do Grupo Paranoá, Grupo Bambuí e Formação Vazante), (Ferreira & Martins 1999, Simões et al. 2014, Rabelo, 2016).

Desta forma, o presente estudo, objetivou avaliar a relevância biológica, grau de impactos e vulnerabilidade de cavernas carbonáticas da região cárstica de Iuiú, Bahia, Brasil, utilizando o CCPi de Souza-Silva et al. (2015) com o intuito de selecionar cavernas prioritárias para receber ações de conservação de invertebrados cavernícolas.

Metodologia

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em 18 cavernas localizadas na região cárstica de Iuiú, nos municípios de Iuiú e Malhada, Bahia, Brasil. A região cárstica situa-se à margem direita do rio São Francisco, entre as coordenadas 14°28'2.41" S e 43°34'31.38" W a 794 m de altitude. Inserida na sub-região do Rio São Francisco, no domínio biogeográfico da Mata atlântica (Silva & Casteleti 2005), é caracterizada como uma

área de transição, formada por espécies com histórias evolutivas distintas. A serra de Iuiú apresenta uma vegetação composta de florestas decíduas e semidecíduas, além de campos sobre afloramentos carbonáticos (Apagua et al. 2014). Ela também apresenta, nas cavernas, elementos de fauna endêmicos e ameaçados de extinção (Ratton et al. 2012, Souza et al. 2015, Hoch & Ferreira 2016, Vasconcelos & Ferreira 2016).

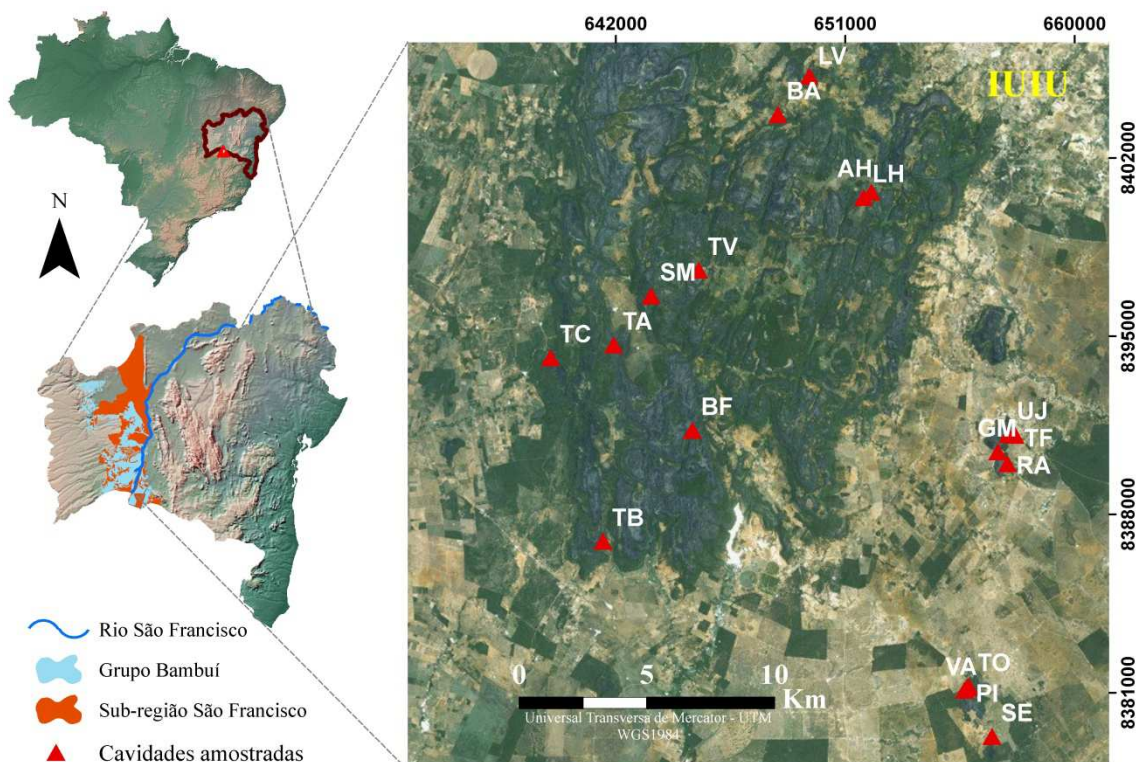


Figura 11 – Distribuição de 18 cavernas estudadas na região cárstica de Iuiú, Bahia, Brasil. (TC – Tocão; TA – Tapera d’Água; SM – Sumidouro das Vacas; TV - Toca Valada; BA – Baixão; LV – Lajedo da Veredinha; AH – Abrigo do Honorato; LH – Lapa do Honorato; UJ – Urubu-Jatobá; TF – Toca Fria; GM – Garganta do Macaco; RA – Raiz; VA – Vai Quem Quer; TO – Tocão; PI – Picoteamento; TO – Toca da Onça; SE – Sepultamento; TB – Tabocas; BF – Baixa da Fortuna).

Uso do Cave Conservation Priority index (CCPi)

Para avaliar cavernas prioritárias a receber ações de conservação na região cárstica de Iuiú, utilizamos o Cave Conservation Priority index (CCPi) proposto por Souza-Silva et al. (2015) com adaptações para este estudo. Neste caso, não foi realizado o cálculo da riqueza relativa, devido à indisponibilidade de medidas espeleométricas. Além disto, valores de classes de uso do solo extraídos de imagens *Landsat 8* foram usados para quantificar o grau de desmatamento no entorno em uma área de 250m.

O CCPi avalia a prioridade de conservação de cavernas através do grau de vulnerabilidade das mesmas. A vulnerabilidade para cada caverna é conseguida através

da sobreposição da relevância biológica (BR) e grau de impacto humano (HI) (Souza-Silva et al. 2015).

Relevância Biológica (BR)

A relevância biológica das cavernas foi determinada através da superposição de das variáveis; riqueza de espécies troglóbias/troglomórficas ($T_{g/b}R$) e riqueza total de espécies troglófilas ($T_{t}R$). Para cada uma destas variáveis, foram utilizadas as categorias extremamente alta (peso 4), alta (peso 3), média (peso 2) e baixa (peso 1). Para tal o maior valor de riqueza observado nas cavernas, foi dividido por quatro estabelecido classes de intervalos para as categorias acima.

Para acessar a relevância biológica final, cada caverna teve as suas categorias de riquezas de troglófilos e troglomórficas/troglóbias sobrepostos.

Levantamento das espécies de invertebrados nas cavernas

A amostragem de invertebrados foi realizada nos meses de setembro e novembro de 2016 por meio de busca ativa em transectos de 100m, preferenciando-se locais como depósitos orgânicos (depósitos vegetais, carcaças, guano etc.) e micro-habitats (sob pedras, solo úmido, frestas, espeleotemas etc.), como proposto por Ferreira (2004) e Bento et al. (2016), e em quadrantes de $1m^2$, (Gomes, 2017).

Todos os invertebrados foram identificados até o menor nível taxonômico acessível e separados em morfoespécies, e assim obtida a riqueza total (Tabela 1). Todos os espécimes encontram-se depositados na coleção de invertebrados subterrâneos de Lavras (ISLA), da Universidade Federal de Lavras (UFLA). A identificação, nos espécimes, de características denominadas “troglomorfismos”, foi utilizada para caracterizar as espécies potencialmente troglóbias. Tais características variam entre os grupos, mas frequentemente são representadas pela redução da pigmentação melânica, redução das estruturas oculares e alongamento de apêndices (Culver & Wilkens 2000).

Grau de Impacto Humano (HI)

Para determinar o grau alterações no entorno das cavernas oriundo de atividades antrópicas, foram usadas classes de uso do solo, através da classificação supervisionada de imagens *Landsat 8* em um raio de 250 metros do entorno de cada cavidade, como sugerido pela legislação vigente, através da proporção de área desmatada (Tabela 1). O grau de impacto de cada caverna foi calculado com base na proporção de área

desmatada em seu entorno. Foram criadas quatro categorias, usando como base classes de porcentagem de área desmatada.

Como os impactos observados in loco foram oriundos de alterações pontuais e pretéritas eles não foram quantificados para o cálculo do CCPi, porém são relatadas na Tabela 1.

Cavernas Prioritárias para a Conservação

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 (Extremamente alta, alta, média, baixa). Todas as cavernas ou áreas cársticas estudadas no presente estudo precisam de ações de conservação, no entanto, apenas as cavernas com vulnerabilidade extremamente alta e alta foram consideradas prioritárias para receber ações de conservação urgentes. Logicamente todas as demais cavernas com espécies troglóbias merecem atenção, entretanto secundária.

Para as cavernas foram sugeridas ações de conservação relacionadas a: (1) descrição e quantificação da abundância de espécies troglomórficas, (2) recuperação do entorno (3) manutenção do entorno preservado através da criação de Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN.

Tabela 1 - Valores de Riqueza de Troglófilos ($T_{tf}R$), Riqueza de troglóbios ($T_{g/b}R$) e proporção de área desmatada em 250m do entorno das cavidades (PAD) amostradas na região cárstica de Iuiú - BA. Desmatamento (1), inundação cíclica (2), pisoteamento por bovinos (3), barramento (4), estradas (5), depósitos de materiais (6).

Código	Cavernas	$T_{tf}R$	$T_{g/b}R$	PAD
BA	Baixão ¹	12	13	0.54
TO	Toca da Onça ¹	14		0.40
VA	Vai quem quer ^{1,2}	17		0.52
TB	Tabocas ¹	17	5	0.17
BF	Baixa da Fortuna ¹	18	5	0.08
LV	L. da Veredinha ^{1,5}	22		0.13
PI	Picoteamento ^{1,2}	23		0.46
GM	G. do Macaco ¹	24		0.34
RA	Raiz ¹	29		0.65
SE	Sepultamento ^{1,2}	33	1	0.71
TA	Tapera D'água ^{1,2}	35	6	0.07
TV	Toca Valada ¹	35		0.64
AH	Ab. do Honorato ^{1,3,6}	38		0.32
SV	S. das Vacas ¹	39	1	0.28
TC	Tocão ^{1,3,5}	45		0.14
UJ	Urubu Jatobá ¹	47		0.09
LH	Lapa do Honorato ¹	50	2	0.25
TF	Toca Fria ¹	60		0.58

Resultados

Relevância Biológica (RB)

Foram encontradas 318 espécies de invertebrados distribuídos em pelo menos 26 ordens e 86 famílias. Destas, 30 foram consideradas troglomórficas/troglóbias, estando distribuídas em pelo menos 11 ordens e nove famílias (Figura 2).

A maior riqueza de troglófilos ($T_{tf}R$) encontrada foi de 60 espécies, sendo que os intervalos definidos para a riqueza total foi de zero a 15 espécies (baixa riqueza), de 16 a 30 espécies (média riqueza), 31 a 45 espécies (alta riqueza) e 46 a 50 espécies (extremamente alta riqueza) (Tabela 1 e 2). A média obtida para a riqueza total foi de 31 espécies ($dp = 13,7$).

As cavernas Urubu-Jatobá, Toca Fria e Lapa do Honorato foram categorizadas como de extremamente alta riqueza de troglófilos ($T_{tf}R$), enquanto seis cavernas foram categorizadas como de alta riqueza de troglófilos, sete categorizadas como de média riqueza de troglófilos e duas categorizadas como de baixa riqueza de troglófilos (Figura 3, Tabela 2).

A maior riqueza de troglóbios ($T_{g/b}R$) foi de 13 espécies, encontrada na Caverna do Baixão (Tabela 1, Tabela 3). Não houve registro de espécies troglóbias em 61% das cavernas inventariadas. Apenas a caverna Baixão foi categorizada como de extremamente alta riqueza de espécies troglóbias, enquanto três cavernas foram categorizadas como de alta, três de média e 11 categorizadas como de baixa (Figura 3, Tabela 2, Tabela 3).

Apenas a caverna Tapera d'Água foi categorizada como extremamente alta relevância biológica ($RB = 4$), as cavernas Tabocas, Lapa do Honorato e Baixão foram categorizadas como de alta relevância biológica ($RB = 3$) e doze cavernas foram categorizadas como de média relevância biológica ($RB = 2$). Nenhuma caverna foi considerada de baixa relevância biológica ($RB = 1$) (Figura 3, Tabela 2).

Proporção de área desmatada (PAD) e alterações antrópicas

Ao todo foram registradas seis cavernas que apresentaram o entorno de 250 metros da entrada com alterações antrópicas por desmatamento. A caverna que apresentou a maior área impactada foi caverna Sepultamento, com 71% de área desmatada e a caverna Tapera d'Água, foi a que apresentou a menor proporção de área desmatada de apenas 7%. Ao todo, cinco cavernas foram categorizadas com grau de impacto extremamente alto (peso = 4), três com grau de impacto alto (Peso = 3), quatro com grau de impacto médio e seis com grau de impacto baixo (Figura 3, Tabela 2).

Diversos outros impactos puderam ser observados na área cárstica como um todo (agricultura, pastagens, construções, estradas, mineração), entretanto, o desmatamento para o cultivo e pecuária foram as alterações mais observada no entorno das cavernas (250m, Figura 5). No interior das cavernas foram observadas alterações de barramentos de cursos d'água e vestígios de inundação cíclica.

Vulnerabilidade das cavernas e áreas prioritárias para conservação

As cavernas Toca Fria, Sepultamento, Toca Valada, Raiz e Baixão e foram categorizadas como de extremamente alta vulnerabilidade, nove cavernas categorizadas como de alta vulnerabilidade, e quatro como de média, de acordo com o CCPi. Nenhuma caverna foi categorizada como de baixa vulnerabilidade (Figura 4, Tabela 2).

Tabela 2- Pesos calculados para cada categoria. ($T_{tf}R$ = Riqueza Total de Troglófilos; $T_{g/b}R$ = Riqueza de Troglóbios; BR = Relevância Biológica; PAD = Proporção de área desmatada). Extremamente alta (4), alta (3), média (2), baixa (1).

Cavernas	$T_{tf}R$ (pesos)	$T_{g/b}R$ (pesos)	BR (Σ pesos)	BR	PAD(pesos)	Vulnerabilidade (Σ pesos)	Vulnerabilidade
Baixa da Fortuna	2	2	4	2	1	3	2
Urubu Jatobá	4	1	4	2	1	3	2
L. da Veredinha	2	1	2	1	1	2	2
Tocão	3	1	4	2	1	3	2
G. do Macaco	2	1	2	1	2	3	2
Tapera D'água	3	2	8	4	1	5	3
Gruta das Tabocas	2	2	5	3	1	4	3
Lapa do Honorato	4	1	6	3	2	5	3
S. das Vacas	3	1	4	2	2	4	3
Ab. Honorato	3	1	3	2	2	4	3
Toca da Onça	1	1	3	2	3	5	3
Picoteamento	2	1	3	2	3	5	3
Vai quem quer	2	1	3	2	3	5	3
Baixão	1	4	6	3	4	7	4
Toca Fria	4	1	3	2	4	6	4
Toca Valada	3	1	3	2	4	6	4
Raiz	2	1	3	2	4	6	4
Sepultamento	3	1	4	2	4	6	4

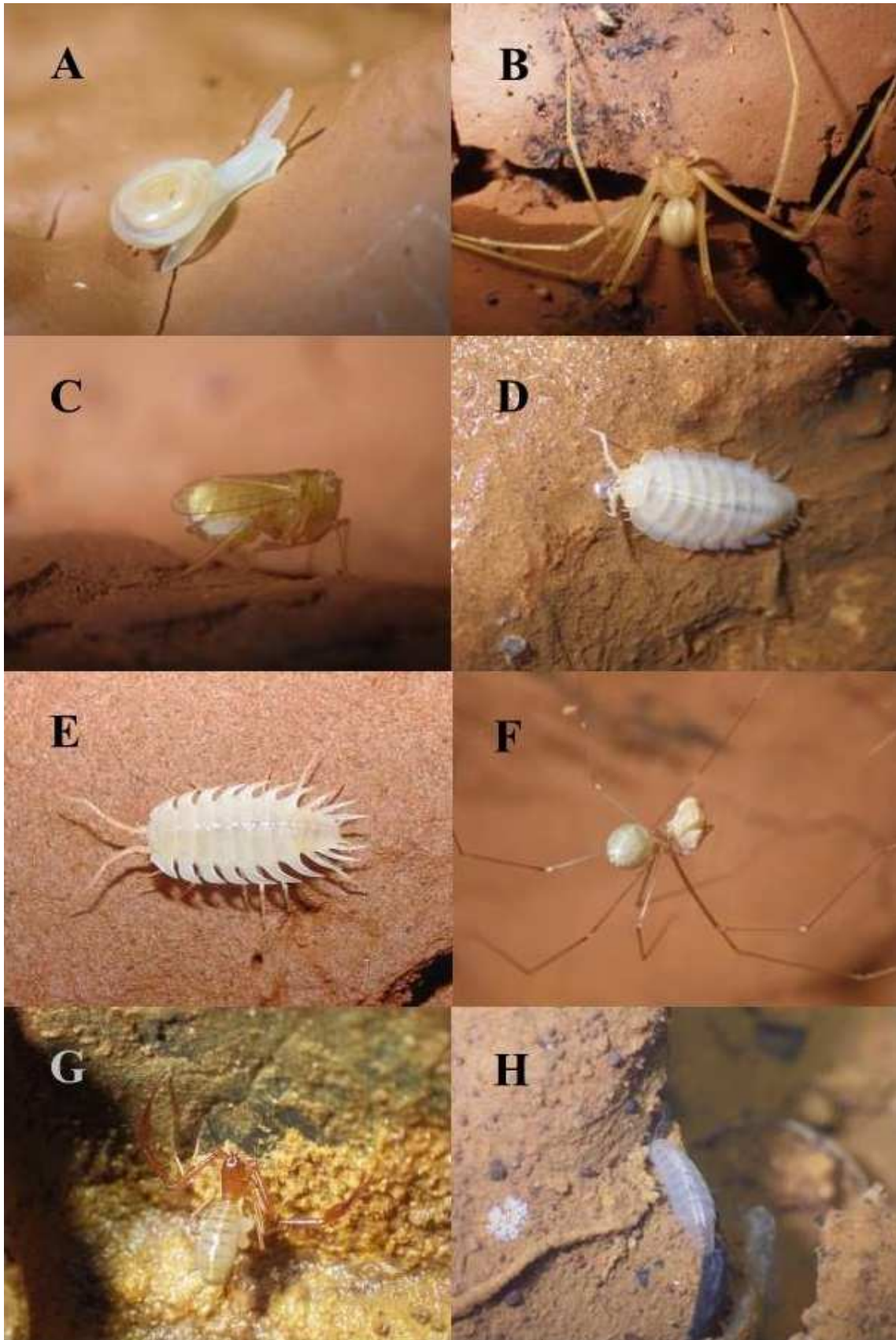


Figura 2 - Espécies troglomórficas registradas para as cavernas da região cárstica de Iuiú, BA.
A - Gastropoda (Tapera d' Água); B - *Loxocelos* (Tapera d' Água); C - *Iuiuia caeca* (Baixão); D -

Styloniscidae (Baixão); E – *Iuiuniscus iuiuiensis* (Baixão); F – Ochyroceratidae (Baixão); G – *Spelaeobochica iuiu* (Tapera d'Água); H - Styloniscidae (Tabocas).

Tabela 3 – Espécies troglomórficas distribuídas em sete cavernas amostradas na região cárstica de Iuiú. (BA – Baixão; LH – Lapa do Honorato; SE – Sepultamento; SV – Sumidouro das Vacas; TA – Tapera d'Água; BF – Baixa da Fortuna; TB – Tabocas)

Troglóbios/Troglomórficos	BA	LH	SE	SV	TA	BF	TB
<i>Iuiuniscus iuiuiensis</i>	1	0	0	0	0	0	0
Styloniscidae sp. (4)	1	0	0	0	0	1	2
Arrhopalites sp. (2)	1	0	0	0	1	0	0
Blattodea sp.	1	0	0	0	0	0	1
Elateridae sp.	0	0	1	0	0	0	0
<i>Iuiuia caeca</i>	1	0	0	0	1	0	0
Geophilomorpha sp.	0	0	0	0	0	1	0
Lithobiomorpha sp.	1	0	0	0	0	0	0
Pyrgodesmidae sp (2)	2	0	0	0	0	0	0
Pseudonannolene sp.	0	0	0	0	0	1	0
Diplopoda sp. (2)	1	0	0	0	0	0	1
Ochyroceratidae sp.	1	0	0	0	0	0	0
<i>Loxocoles</i> sp.	0	0	0	0	1	1	1
<i>Acantholibitia</i> sp.	0	1	0	0	0	0	0
Eukeniidae sp.	1	0	0	0	0	0	0
Palpigradi sp. (3)	0	1	0	1	1	0	0
<i>Spelaeobochica iuiu</i> *	1	0	0	0	1	0	0
<i>Spelaeobochica</i> sp.*	0	0	0	0	0	1	0
Chitonidae sp. (2)	1	0	1	0	0	0	0
Gastropoda sp.	0	0	1	0	1	0	0

Os critérios adotados na definição de vulnerabilidade das cavernas da região cárstica de Iuiú, são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Critérios utilizados para enquadrar as cavidades nas categorias de vulnerabilidade.

Pesos	Vulnerabilidade	Critério
4	Extremamente alta	Ocorrência esperada de 6 até 10 espécies troglóbias/troglomórficas; Riqueza de espécies troglófilas entre 12 e 60 espécies; Relevância biológica maior que 2 pontos e pesos de impacto igual a quatro.
3	Alta	Ocorrência esperada de 3 até 5 espécies troglóbias/troglomórficas; Riqueza de espécies troglófilas entre 14 e 50 espécies; Relevância biológica maior que 2 pontos e pesos de impacto até três.
2	Média	Ocorrência esperada zero até 2 espécies de troglóbias/troglomórficas; Riqueza de espécies troglófilas entre 18 e 47 espécies; Relevância biológica de até 2 pontos e pesos de impacto de até dois.

AÇÕES DE CONSERVAÇÃO

Na tabela 5 são apresentadas ações de conservação para as cavernas que foram consideradas como prioritárias para a conservação da fauna de invertebrados cavernícolas (vulnerabilidade extremamente alta e alta).

Tabela 3 – Ações de conservação sugeridas para as cavernas de alta (3) e extremamente alta vulnerabilidade (4). (1) descrição e quantificação abundância de espécies troglomórficas, (2) recuperação do entorno (3) manutenção do entorno utilizando Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN.

Cavernas	Vulnerabilidade	T _{g/b} R	Ações
Tapera D'água	3	6	1;3
Gruta das Tabocas	3	5	1;3
Lapa do Honorato	3	2	1;3
S. das Vacas	3	1	1;3
Ab. Honorato	3	-	2;3
Toca da Onça	3	-	2
Picoteamento	3	-	2
Vai quem quer	3	-	2
Baixão	4	13	1;2
Toca Fria	4	-	2
Toca Valada	4	-	2
Raiz	4	-	2
Sepultamento	4	1	1;2

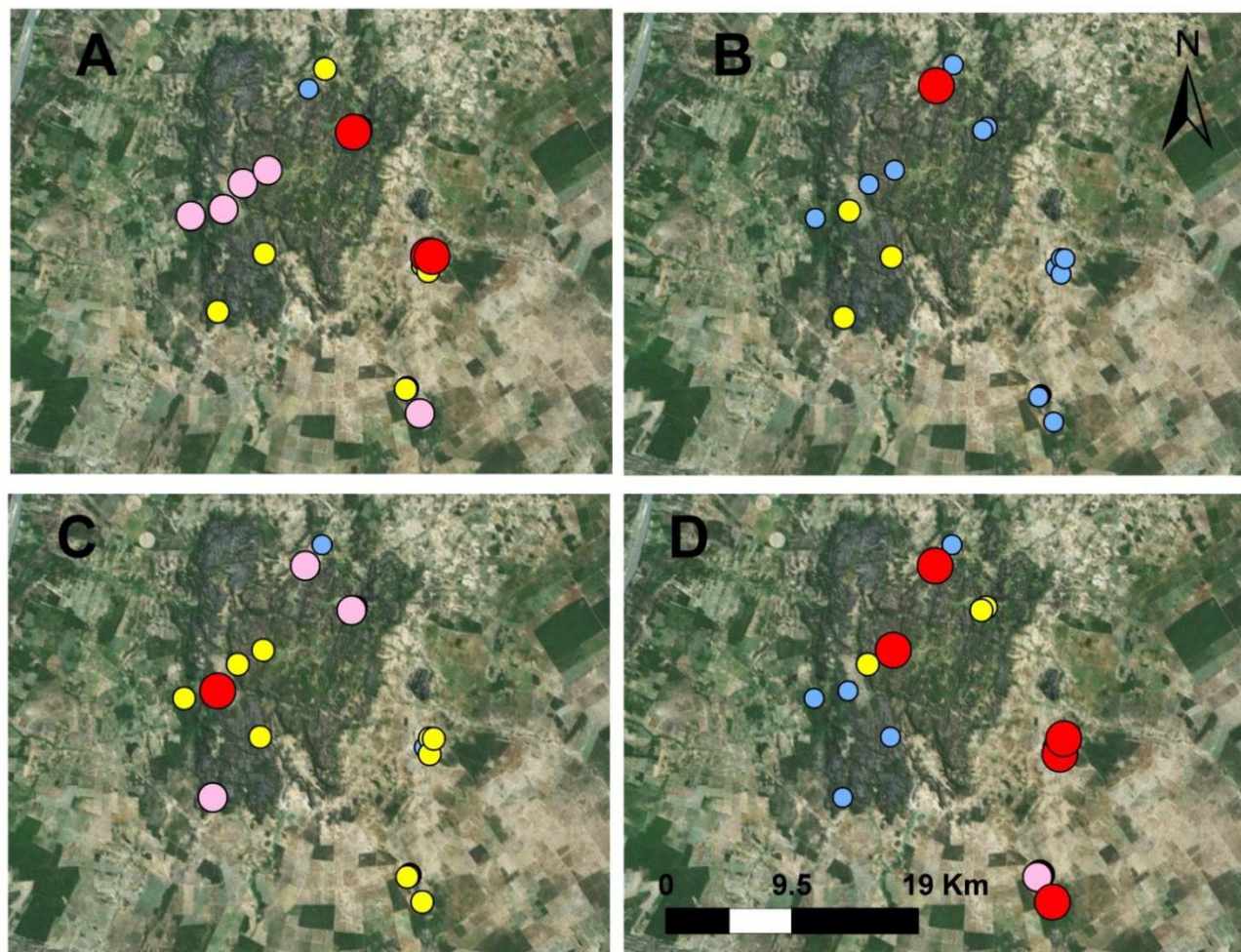


Figura 12 – Características biológicas de 18 cavernas carbonáticas da Serra de Iuiú, Bahia, Brasil. Riqueza de troglófilos (A), Riqueza de Troglóbios (B), Proporção de área desmatada (C), Relevância Biológica (D). Categorias de extremamente alta ●; alta ●; média ●; baixa ●.

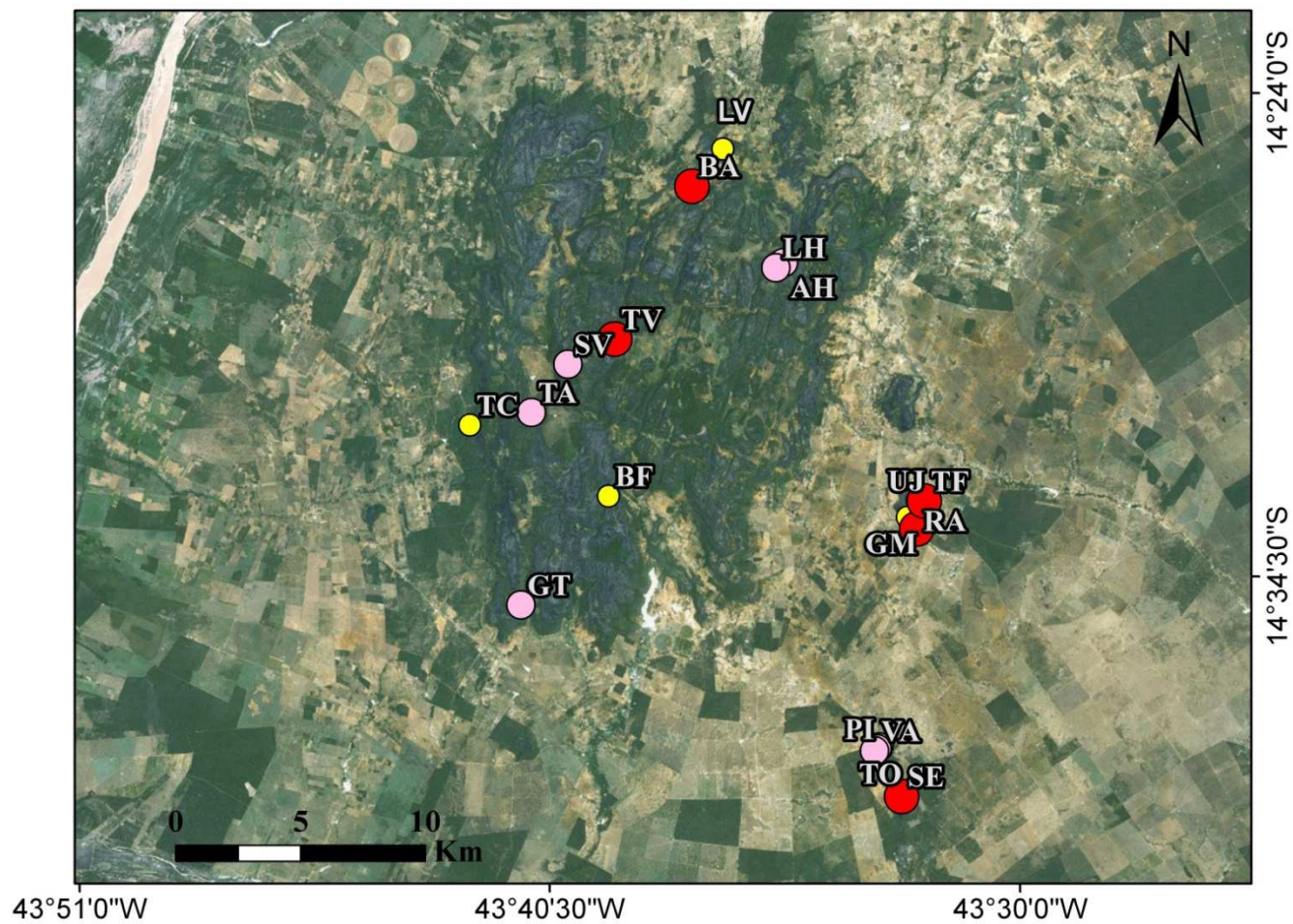


Figura 13 – Categorias de vulnerabilidade de 18 cavernas carbonáticas da Serra de Iuiú, Bahia, Brasil. Riqueza de troglófilos (A), Riqueza de Troglóbios (B), Proporção de área desmatada (C), Relevância Biológica (D). Categorias de extremamente alta ●; alta ●; média ●; baixa ●.

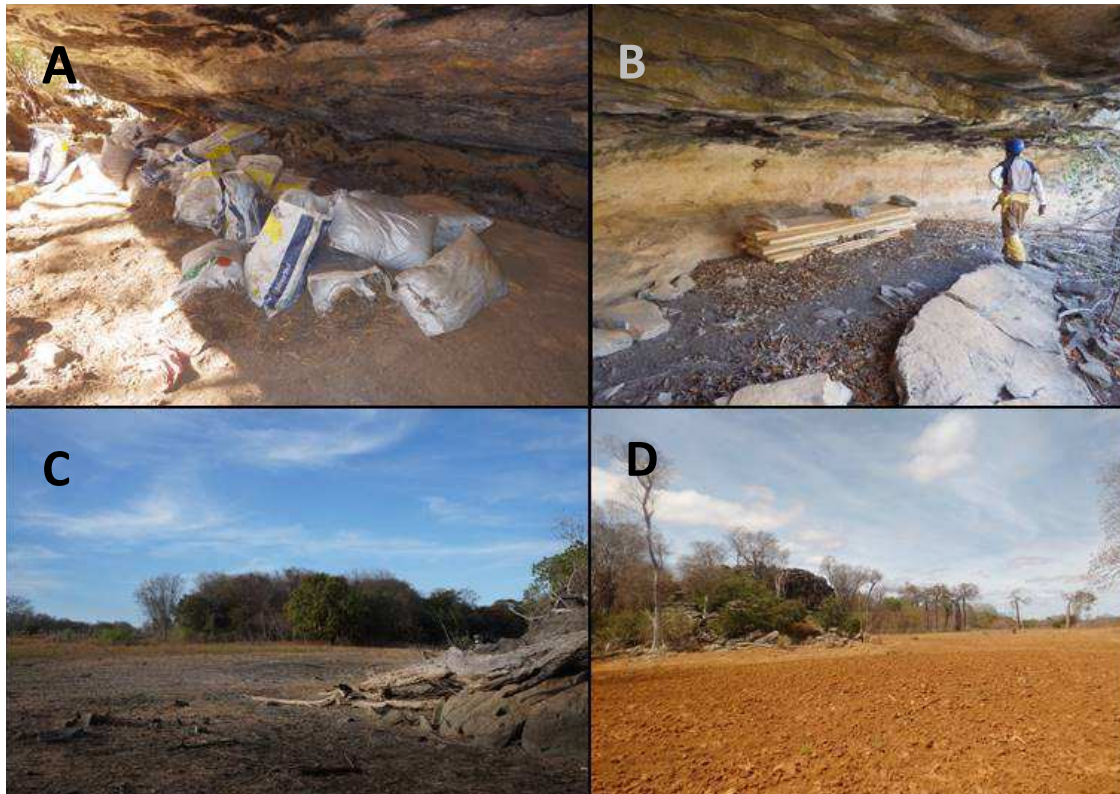


Figura 14 –Alterações antrópicas observadas no entorno e nas cavernas da região cárstica de Iuiú (A e B – utilização de cavernas como depósito de materiais; C – área de inundação cíclica e D – desmatamento e revolvimento de solo no entorno).

Discussão

Atividades antrópicas ao longo da história causaram enormes danos ecológicos nos ecossistemas epígeos, levando a preocupação real em decidir como proteger o que resta da biodiversidade. As estimativas das taxas de extinção por alterações humanas nos processos ecossistêmicos sugerem situações preocupantes (Vitousek et al. 1986, Pimm et al. 1995). A conservação de regiões cársticas com elevada riqueza de espécies cavernícolas e com um grande número de endemismos tem sido uma estratégia interessante na conservação destes ambientes visto que a distribuição restrita destas espécies aumenta sua vulnerabilidade à extinção (Culver & Sket 2000, Souza-Silva et al. 2014, Simões et al. 2014, Souza-Silva & Ferreira 2015, Souza-Silva & Ferreira 2016, Rabelo, 2016). Apesar disto, no Brasil poucos são os estudos que buscaram caracterizar cavernas prioritárias para receber ações de conservação. Souza-Silva et al. (2015) aplicaram o índice em 100 cavernas distribuídas no domínio da Mata Atlântica, Simões et al. (2014) estudaram 47 cavernas da região noroeste do estado de Minas Gerais, Souza-Silva & Ferreira (2015) estudaram 15 cavernas no estado do Espírito Santo,

Iniesta (2016) estudou 50 cavernas no sul de Minas Gerais e Rabelo (2016) estudou 51 cavernas na região. A maior parte destes trabalhos apresentaram uma alta proporção de cavernas prioritárias para a conservação da biodiversidade subterrânea.

Relevância Biológica

A riqueza da fauna das cavernas tem se mostrado heterogênea entre diferentes regiões do Brasil (Zeppelini Filho et al. 2003, Zampaulo 2010, Souza-Silva et al. 2011b, Souza 2012, Simões et al. 2014, Bento 2011). Entretanto, considerando os diferentes estudos com cavernas onde o CCPi foi aplicado (Souza-Silva et al. 2014, Simões et al. 2014, Souza-Silva & Ferreira 2015, Iniesta 2016, Rabelo 2016), assim como no presente estudo, poucas cavernas apresentaram baixa relevância biológica, sendo os maiores valores encontrados em relevâncias intermediárias (alta e média).

Estes trabalhos também registraram uma pequena proporção de cavernas estudadas apresentando relevância de riqueza de troglóbios extremamente alta. Troglóbios são espécies geralmente restritas, muitas delas conhecidas para uma única caverna, além disso, ocorrem em um número relativamente pequeno de cavernas amostradas, sendo que cavernas com alta riqueza de troglóbios são ainda mais raras em regiões tropicais (Culver & Sket 2000; Souza-Silva & Ferreira 2016; Christman et al. 2016). Por serem espécies endêmicas, merecem uma maior atenção, tendo maior prioridade para receber ações de conservação (Souza-Silva & Ferreira 2015).

Ao comparar a riqueza de espécies de troglóbios encontradas neste estudo com outras regiões cársticas no Brasil (Trajano & Bichuette 2010, Simões et al. 2014, Souza-Silva et al. 2015), pode-se perceber que as cavernas amostradas até o momento na região cárstica de Iuiú apresentaram alta riqueza de troglóbios. De acordo com Trajano et al. (2016), as áreas cársticas do semiárido do Brasil, foram expostas a paleoclimas alternados entre períodos secos e períodos úmidos, sendo que aqueles mais secos e frios pode ter levado ao isolamento de uma alta diversidade de troglóbios nestas áreas.

O Brasil possui duas cavernas com elevada riqueza de troglóbios (consideradas como hotspots de biodiversidade subterrânea), que possuem mais de 20 espécies troglomórficas, a Toca do Gonçalo no estado da Bahia e o Sistema Areias no estado de São Paulo (Souza-Silva & Ferreira 2016), assim, é importante destacar a caverna do Baixão que apresenta pelo menos 13 espécies troglomórficas, um número bastante elevado, se tornando uma potencial caverna a se tornar um hotspot de biodiversidade

subterrânea se forem realizados mais levantamentos minuciosos (Souza-Silva & Ferreira 2016).

Impactos Humanos

Áreas cársticas são locais geralmente propensos a atividades econômicas e podem sofrer transformações rápidas na sua paisagem, em função de atividades de desmatamento para cultivo de pastagem ou serem destruídas pelas atividades de urbanização e mineração, que em muitos casos, são irreversíveis (Auler, 2016). Nesse sentido, o uso apenas da riqueza de espécies cavernícolas, endêmicas ou não, pode não indicar necessariamente, a necessidade de que sejam aplicadas ações de conservação em um determinado sistema subterrâneo, pois isso dependerá do tipo de impacto a que está sujeito a caverna (Souza-Silva et al., 2015). Por este motivo, o grau de impacto a que uma caverna está sujeita também deve ser considerada (Souza-Silva & Ferreira 2016). Ao contrário do encontrado neste estudo, com exceção de Simões et al (2014), todos os trabalhos que utilizaram o CCPi (Souza-Silva et al. 2014, Souza-Silva & Ferreira 2015, Rabelo 2016) encontraram números expressivos de cavernas em categorias extremamente alta de impactos.

A reduzida quantidade de impactos nas cavernas de Iuiú pode estar relacionado a dificuldade de acesso as cavernas. É de se esperar que em áreas de difícil acesso haja uma menor quantidade de impactos antrópicos. Muitas das cavernas da região cárstica de Iuiú encontram no maciço da serra de Iuiú que apresenta grandes afloramentos carbonáticos, no entanto, se conhece apenas um pequeno número de cavernas do que pode ser o número real das mesmas (Santos et al., 2007).

Os impactos antropogênicos são crescentes e ameaçam cada vez mais a biota e os ecossistemas do planeta (Dirzo & Raven 2003). As cavernas tropicais estão sujeitas a diversos impactos provenientes principalmente de atividades minerárias (Zampaulo 2010, Donato et al. 2014), que podem até mesmo ocasionar a destruição completa destes ambientes, além de atividades agrárias, que frequentemente substituem a vegetação de entorno por monoculturas e pastagens (Simões et al. 2014, Souza-Silva et al. 2015, Pellegrini et al. 2016). Alterações na vegetação no entorno das cavernas podem ainda causar alterações nas condições de temperatura, umidade e insolação nas entradas de cavernas, causando alterações em comunidades paraepígeas e consequentemente nas comunidades hipógeas (Angilletta et al. 2002, Culver & Pipan 2009).

Os invertebrados troglóbios podem demonstrar tolerância a certos tipos de mudanças que podem ocorrer em cavernas impactadas (Simon & Buikema 1997), no entanto, como estes organismos geralmente possuem baixas densidades populacionais e podem não ser bons competidores em ambientes eutrofizados, os impactos podem ser mais intensos sobre estas espécies, aumentando os riscos de extinções (Sket 1999, Culver & Pipan 2009).

Vulnerabilidade e Áreas Prioritárias

Comparando com outras regiões estudadas em cavernas do Brasil em que foram utilizados o CCPi (Souza-Silva et al. 2015, Simões et al. 2014, Souza-Silva & Ferreira, 2015, Rabelo 2016, Iniesta, 2016) apenas a região noroeste de Minas Gerais apresentou um pequeno número de cavernas com vulnerabilidade extremamente alta, com uma pequena quantidade de impactos, semelhante a região de Iuiú. Entretanto, tal fato não justifica a não priorização da área para receber ações de conservação. A região cárstica de Iuiú assim como grande parte do patrimônio espeleológico brasileiro merece atenção no que diz respeito à conservação, uma vez que o desenvolvimento econômico encontra-se acelerado na atualidade e as cavernas são habitats essenciais para a manutenção de populações de espécies troglóbias (Souza-Silva et al. 2015).

O futuro da biodiversidade depende em grande parte das ações de conservação das paisagens dominadas pelos seres humanos (Daily et al. 2003). A primeira etapa para o desenvolvimento de uma estratégia nacional de conservação é ter a maior compreensão possível da distribuição da biodiversidade (Ceballos & García 2013). A destruição dos habitats sem essa compreensão prévia pode levar a populações geneticamente e demograficamente depauperadas (Travis 2003).

Das cavernas brasileiras conhecidas, apenas 11,6% se encontram em áreas protegidas por unidades de conservação, enquanto 75,6% se encontram em áreas de interesse mineral, sendo que 26,7% destas se encontram em áreas licenciadas para atividades de mineração (Sugai et al. 2015). Apesar do elevado grau de endemismo e a vulnerabilidade a que se encontram as cavernas brasileiras, as unidades de conservação com cavernas, foram criadas em sua maior parte com base na geologia e não a fauna subterrânea (Souza-Silva et al. 2014).

Como observado no presente estudo, os impactos provenientes do desmatamento e substituição por pastagens ou monoculturas devem ser considerados relevantes em

função de possíveis alterações de forma direta ou indireta no aporte de recursos orgânicos e contaminantes dos ambientes subterrâneos, (Simon & Buikema 1997, Souza-Silva et al. 2011a, 2012). Cavernas são ambientes naturalmente oligotróficos, sendo que a diminuição na importação de recursos orgânicos pode levar ao aumento deste estado de oligotrofia, o que pode alterar significativamente a estrutura e composição das comunidades de invertebrados (Souza-Silva et al. 2011a). De acordo com Reboleira et al. (2011), a mudança de floresta nativa para pastagem pode facilmente levar à extinção de populações localmente endêmicas, muitas vezes limitadas a uma única caverna. As populações de troglóbios e troglófilos fitófagos, que dependem da presença de raízes de árvores para a sobrevivência dentro das cavernas, podem ser afetadas pela remoção da vegetação (Hoch & Ferreira 2012, 2013). Além disso, a modificação da vegetação que circunda as entradas das cavernas pode alterar condições microclimáticas essenciais a manutenção de comunidades paraepígeas (Prous et al. 2004), além de potencialmente possibilitar o aumento de processos erosivos (Gillieson 1986).

Atividades agropastoris em regiões cársticas podem levar a poluição das drenagens subterrâneas com nutrientes, fertilizantes e defensivos agrícolas, o que pode ser extremamente prejudicial para as espécies aquáticas, principalmente para aquelas endêmicas como os troglóbios (Chen & Jiang 2016).

Assim como registrado em outros estudos, o desmatamento aparece como uma das principais alterações nas regiões cársticas, podendo causar severos danos à biodiversidade epígea e hipógea (Culver 1982). O reflorestamento de pelo menos 250 metros, como sugerido pela legislação, do entorno das cavernas, leva a formação de pequenos fragmentos florestais permitindo a manutenção da importação de recursos para o ambiente subterrâneo. Estes fragmentos ainda podem servir como abrigo para diversas espécies epígeas (Tscharntke et al. 2002). Segundo Auler (2016) a proteção de 250 metros do entorno das cavidades, pode ainda levar a proteção de um maior número de cavernas adjacentes e pode resultar na proteção de grandes porções do carste.

Considerações Finais

Diante das condições de elevada riqueza e endemismos encontradas nas cavernas amostradas na região cárstica de Iuiú, recomenda-se ações emergenciais de proteção, manejo e conservação das cavernas de extremamente alta e alta

vulnerabilidade. No entanto tal fato não exclui a necessidade de conservação das outras cavernas que também devem ter planos de recuperação, manejo e / ou conservação.

Estimular a criação de RPPNs no entorno das cavernas, também é de extrema importância na manutenção das comunidades subterrâneas. Além disso, a região cárstica de Iuiú ainda deve ser melhor prospectada para a descoberta de novas cavidades (Santos et al. 2007). Uma vez identificadas novas cavernas, estudos de conservação mais detalhados devem ser direcionados para essa região que possui alto potencial para se tornar um novo hotspots de biodiversidade subterrânea.

Podemos destacar o maciço de Iuiú com relação a riqueza de espécies troglomórficas. Apenas duas espécies troglóbias foram encontradas fora deste maciço, na caverna do Sepultamento. Ainda se pode destacar que nenhuma espécie troglomórfica observada no presente estudo possui populações resguardadas por unidades de conservação, o que as torna extremamente vulneráveis.

A intensificação dos estudos espeleológicos e pesquisas faunísticas na região cárstica de Iuiú são urgentes, uma vez que grandes áreas com o potencial de ocorrência de cavernas ainda não foram estudadas (Santos, et al. 2007), e os dados coletados até o presente momento revelam uma região extremamente promissora para descoberta de novas espécies endêmicas.

Referências

Angilletta MJ (2006). Estimating and comparing thermal performance curves. **Journal of Thermal Biology** 31(7):541-545.

Apgaua DMGS, RM Pereira DGSOM, GC, Pires GG, Fontes MAL (2014). Beta-diversity in seasonally dry tropical forests (SDTF) in the Caatinga Biogeographic Domain, Brazil, and its implications for conservation. **Biodiversity and conservation** 23(1): 217-232.

Auler, AS (2016). Cave protection as a karst conservation tool in the environmentally sensitive Lagoa Santa karst, southeastern Brazil. **Acta Carsologica** 45(2): 131-145.

Bento DM (2011). Diversidade de invertebrados em cavernas calcárias do oeste potiguar: subsídios para determinação de áreas prioritárias para conservação. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte.

Brasil (2008). Decreto nº 6.640, 07 novembro de 2008, dá nova redação aos arts. 1º, 2º, 3º, 4º e 5º e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto no 99.556, de 1º de outubro de 1990, que dispõe sobre proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. **Diário Oficial da União**, 218: 8-9.

Cavalcanti LF, Lima MF, Medeiros, RCS, I. Meguerditchian (2012). Plano de ação nacional para a conservação do patrimônio espeleológico nas áreas cársticas da Bacia do Rio São Francisco. **Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade**, 140p.

Ceballos G, García, A (2013). Challenges and Opportunities for Conservation of Mexican Biodiversity. In: Gibson L, Raven PH, Inogwabini, BI, Leader-Williams N, Gebresenbet F, Daniel W, Jenkins, RK (Ed.), **Conservation Biology: Voices from the Tropics**, p. 105-112.

Cheeptham N, Sadoway T, Rule D, Watson K, Moote P, Soliman LC, Azad N, Donkor KK, Horne D (2013). Cure from the cave: volcanic cave actinomycetes and their potential in drug discovery. **International Journal of Speleology** **42** (1): 35-47.

Chen Y, Jiang Y (2016). The effects of agricultural activities and atmospheric acid deposition on carbonate weathering in a small karstic agricultural catchment, southwest china. **Acta Carsologica** **45**(2):161-172.

Christman MC, Doctor DH, Niemiller ML, Weary DJ, Young JA, Zigler KS, Culver DC (2016). Predicting the occurrence of cave-inhabiting fauna based on features of the earth surface environment. **PloS one** **11**(8):e0160408.

Christman, MC, Culver DC, Madden MK, White D (2005). Patterns of endemism of the eastern North American cave fauna. **Journal of Biogeography** **32**(8):1441-1452.

Culver DC (1982). **Cave life**. Cambridge, Harvard Univ., Massachusetts.

Culver DC, Pipan T (2009). **The biology of caves and other subterranean habitats**. Oxford University Press, London.

Culver DC, Pipan T (2013) Subterranean Ecosystems. In: Levin SA (ed.) **Encyclopedia of Biodiversity**. Academic Press, p. 49–62,

Culver DC, Sket B (2000). Hotspots of subterranean biodiversity in caves and wells. **Journal of Cave and Karst Studies** **62**: 11–17.

Culver DC, Wilkens H (2000). Critical review of the relevant theories of the evolution of subterranean animals. In: Wilkens H, Culver DC, Humphreys WF (ed.). **Ecosystems of the World: Subterranean Ecosystems**, vol. **30**. Amsterdam, Elsevier, p. 381–398.

Daily GC, Ceballos G, Pacheco J, Suzán G, Sánchez-Azofeifa, ARTURO (2003). Countryside biogeography of neotropical mammals: conservation opportunities in agricultural landscapes of Costa Rica. **Conservation biology** **17**(6):1814-1826.

Day MJ, Chenoweth MS (2009). Potential impacts of anthropogenic environmental change on the Caribbean karst. In: Barker B, Dodman D, McGregor D (ed.) **Global change and Caribbean vulnerability**. University of the West Indies Press, Kingston, p. 100–122

Day MJ, Koenig S (2002). Cave monitoring priorities in Central America and the Caribbean. **Acta Carsologica** **30**:123–134.

Day, MJ (2007). Natural and anthropogenic hazards in the karst of Jamaica. In: MJ Day, Parise M, Gunn J (ed.). **Natural and Anthropogenic Hazards in Karst Areas: Recognition, Analysis and Mitigation**. Geological Society, London, Special Publications, 279p.

Dirzo R, Raven PH (2003). Global state of biodiversity and loss. **Annual Review of Environment and Resources** **28**(1):137-167.

Donato CR, Ribeiro ADS, Souto LDS (2014). A conservation status index, as an auxiliary tool for the management of cave environments. **International Journal of Speleology** **43**: 315-322.

Elliott WR (2000). Conservation of the North American cave and karst biota. In: Wilkens H, Culver DC, Humphreys WF (ed.), **Subterranean Ecosystems, Ecosystems of the World Volume 30**, Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, p. 664–689.

Ferreira RL, Martins RP (1999). Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities with special reference to Brazilian caves. **Tropical Zoology** **12** (2): 231-259.

Fleury S (2009). **Land use policy and practice on karst terrains Living on Limestone**. Springer 187 p.

Frumkin A (1999). Interaction between Karst, water and agriculture over the climatic gradient of Israel. **International Journal of Speleology** 28b(1/4): 99–110.

Gillieson D. (1986). **Cave sedimentation in the New Guinea highlands: Earth Surface Processes and Landforms** 11(5):533-543.

Gomes AM (2017). Uma luz na escuridão: desvendando os processos estruturadores da fauna cavernícola via partição de variância. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Guimarães MM, Ferreira RL (2015). Morcegos cavernícolas do Brasil: novos registros e desafios para conservação. **Revista Brasileira de Espeleologia** 2(4): 1-33.

Hardwick P, Gunn J (1993). The impact of agriculture on limestone caves. **Catena Supplement 25**: 59-98.

Hoch H, Ferreira R (2016). *Iuiuia caeca* gen. n., sp. n., a new troglobitic planthopper in the family Kinnaridae (Hemiptera, Fulgoromorpha) from Brazil. **Deutsche Entomologische Zeitschrift** 63(2): 171-181.

Hoch H, Ferreira RL (2012). *Ferricixius davidi* gen. n., sp. n.–the first cavernicolous planthopper from Brazil (Hemiptera, Fulgoromorpha, Cixiidae). **Deutsche Entomologische Zeitschrift** 59(2):201-206.

Hoch H, Ferreira RL (2013). *Potiguara troglobia* gen. n., sp. n.–first record of a troglobitic Kinnaridae from Brazil (Hemiptera: Fulgoromorpha). **Deutsche Entomologische Zeitschrift** 60(1):33-40.

Iniesta, LFM (2016). Prioridades de conservação para cavernas ao sul de Minas Gerais. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Lavras, 208p.

Keith, JH, Bassestt, JL, Duwelius, JA (1997). Findings from MOU-related karst studies for Indiana State Road 37, Lawrence County, Indiana. In: **The engineering geology and hydrogeology of karst terranes. 6th Annual Multidisciplinary Conference on Sinkholes, Engineering, and Environmental Impacts** p. 157-171.

Parise M (2011). Some Considerations on Show Cave Management Issues in Southern Italy. In: Van Beynen P. (ed.) **Karst Management**. Springer, Dordrecht, Karst Management p 159-167.

Parise M, Gunn J (Ed.) (2007). **Natural and anthropogenic hazards in karst areas: recognition, analysis and mitigation**. Geological Society of London.

Pellegrini TG, Ferreira RL (2012). Management in a neotropical show cave: planning for invertebrates conservation. **International Journal of Speleology** **41**(2): 361–368.

Pellegrini TG, Sales, LP, Aguiar P, Ferreira, RL (2016). Linking spatial scale dependence of land-use descriptors and invertebrate cave community composition. **Subterranean Biology** **5**: 1-9.

Pimm SL, Russell GJ, Gittleman JL, Brooks TM (1995). The future of biodiversity. **Science** **269**: 347-350.

Prous X, Ferreira RL, Martins RP (2004). Ecotone delimitation: epigeal-hypogean transition in cave ecosystems. **Austral Ecol.** **29**:374–382.

Rabelo LM (2016). Ecologia e conservação de cavernas no eixo Centro-norte de Minas Gerais. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Ratton P, Mahnert V, Ferreira RL (2012). A new cave-dwelling species of *Spelaeobochica* (Pseudoscorpiones: Bochicidae) from Brazil. **The Journal of Arachnology** **40**:274–280.

Reboleira AS, Borges PA, Gonçalves F, Serrano AR, Oromí P (2011). The subterranean fauna of a biodiversity hotspot region-Portugal: an overview and its conservation. **International Journal of Speleology** **40**(1):23-37.

Santos TF, Teixeira-Silva CM, Timo MB, Simões PR, Vieira FF, Morais F, Roberto GG, Oliveira GPC, Oliveira SO, Ferreira AS, Paula HC (2007). Serra do Iuiú, BA: Um grande potencial espeleológico. **Revista Espeleologia da Sociedade Excursionista e Espeológica** **12**:9-29.

Silva JMC; Casteleti CHM (2005). Estado da biodiversidade da Mata Atlântica brasileira. In: Galindo-Leal C, Câmara, IG (Ed.), **Mata Atlântica: Biodiversidade, ameaças e perspectivas**. Fundação SOS Mata Atlântica, p.43-59.

Simões MH, Souza-Silva M, Ferreira RL (2014). Cave invertebrates in northwestern Minas Gerais state, Brazil: endemism, threats and conservation priorities. **Acta carsologica** **43**(1): 159-174.

Simon KS, Buikema Jr AL (1997). Effects of organic pollution on an Appalachian cave: changes in macroinvertebrate populations and food supplies. **American Midland Naturalist** 387-401.

Sket B (1999). The nature of biodiversity in hypogean waters and how it is endangered. **Biodiversity and Conservation** **8**(10):1319-1338.

Souza MFVR (2012). Diversidade de invertebrados subterrâneos da região de Cordisburgo, MG: subsídios para definição de cavernas prioritárias para conservação e para o manejo biológico de cavidades turísticas. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Souza, LA, Ferreira RL, Senna AR (2015). Amphibious shelter-builder Oniscidea species from the New World with description of a new subfamily, a new genus and a new species from Brazilian Cave (Isopoda, Synocheta, Styloniscidae). **PloS one** **10**(5):e0115021.

Souza-Silva M, Bernardi, LFO, Martins RP, Ferreira RL (2012). Transport and consumption of organic detritus in a neotropical limestone cave. **Acta Carsologica** **41**(1): 139–150.

Souza-Silva M, Ferreira RL (2015). Cave invertebrates in Espírito Santo state, Brazil: a primary analysis of endemism, threats and conservation priorities. **Subterranean Biology** **16**(1): 79-102.

Souza-Silva M, Ferreira RL (2015). Cave invertebrates in Espírito Santo state, Brazil: a primary analysis of endemism, threats and conservation priorities. **Subterranean Biology** **16**: 79–102.

Souza-Silva M, Ferreira RL (2016). The first two hotspots of subterranean biodiversity in South America. **Subterranean Biology** **19**(1): 1-21.

Souza-Silva M, Martins RP, Ferreira RL (2011b). Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest. **Biodiversity Conservation** **20**: 1713–1729.

Souza-Silva M, Martins RP, Ferreira RL (2014). Cave conservation priority index to adopt a rapid protection strategy: a case study in Brazilian Atlantic rain forest. **Environmental management** **55**(2):279-295.

Souza-Silva M, Martins RP, Ferreira, RL (2011a). Trophic dynamics in a neotropical limestone cave. **Subterranean Biology** **9**(1): 127-138.

Sugai LSM, Ochoa-Quintero JM, Costa-Pereira R, Roque FO (2015). Beyond aboveground. **Biodiversity and Conservation** **24**(8):2109-2112.

Tihansky AB (1999). Sinkholes, west-central Florida. Land subsidence in the United States. **US geological survey circular** **1182**:121-140.

Trajano E, Bichuette ME (2010). Diversity of Brazilian subterranean invertebrates, with a list of troglomorphic taxa. **Subterranean Biology** **7**:1-16.

Trajano E, Gallão JE, Bichuette ME (2016). Spots of high diversity of troglobites in Brazil: the challenge of measuring subterranean diversity. **Biodiversity and Conservation** **25**(10):1805-1828.

Travis JMJ (2003). Climate change and habitat destruction: a deadly anthropogenic cocktail. **Proceedings of the Royal Society of London Biological Sciences** **270**: 467-473.

Tscharntke T, Steffan-Dewenter I, Kruess A, Thies C (2002). Characteristics of insect populations on habitat fragments: a mini review. **Ecological research** **17**(2):229-239.

Van Beynen P, Townsend K (2005). A disturbance index for karst environments. **Environmental Management** **36**(1):101-116.

Van Beynen PE, Van Beynen KM (2011). Human disturbance of karst environments. In: Van Beynen PE (Ed.) **Karst Management**. New York, Springer, p. 379-397.

Vasconcelos ACO, Ferreira, RL (2016). Description of two new species of *Charinus* Simon, 1892 from Brazilian caves with remarks on conservation (Arachnida: Amblypygi: Charinidae). **Zootaxa** 4072(2):185-202.

Vitousek PM, Ehrlich PR, Ehrlich AH, Matson PA (1986). Human appropriation of the products of photosynthesis. **BioScience** 36(6):368-373.

Watson J, Hamilton-Smith E, Gillieson D, Kiernan K (1997). Guidelines for Cave and Karst Protection: IUCN World Commission on Protected Areas. **IUCN Protected Area Programme Series**, 53p.

Zampaulo, RA (2010). Diversidade de invertebrados na província espeleológica de Arcos, Pains, Doresópolis (MG): Subsídios para a determinação de áreas prioritárias para a conservação. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Zeppelini Filho D, Ribeiro AC, Ribeiro GC, Fracasso MPA, Pavani MM, Oliveira OMP, Marques AC (2003). Faunistic survey of sandstone caves from Altinópolis region, São Paulo State, Brazil. **Papéis Avulsos de Zoologia** 43(5):93-99.

Conclusão Geral

Este estudo mostrou que as cavernas da região cárstica de Iuiú apresentam uma fauna endêmica e de composição bem distinta em relação a outras áreas carsticas no Brasil, guardando importantes elementos testemunhos da história evolutiva local. Além disso, os dados sugerem que a fauna subterrânea apresenta diferentes estruturas quando se alteram a escala amostral, em que organismos menores e de menor mobilidade são amostrados em escalas menores enquanto os maiores e com maior mobilidade percebidos nas escalas espaciais mais amplas. Além disto a fauna se mostrou mais rica em substratos mais heterogêneos, principalmente nas escalas menores, enquanto o guano tem influencia positiva na riqueza da fauna em escalas mais amplas na caverna. Características como a umidade do substrato podem ser determinantes na composição da fauna de invertebrados presentes em cavernas de regiões mais áridas. As espécies troglófilas presente em maciços próximos podem apresetar singularidades na composição faunística tornando os mesmos unidades distintas e importantes na definição de ações de conservação. Entretanto, a presença de areas preservadas amplas é um indicativo de elevada riqueza nas cavernas.

Neste sentido, as cavernas da região de Iuiú merecem atenção e ações emergenciais de conservação devido a relevância biológica das cavernas, singularidade faunística e impactos oriundos principalmente da remoção da vegetação no entorno das cavernas.

Referências

Apgaua DMGS, Santos RM, Pereira DGSOM, Pires GG, Fontes MAL, Tng DYP (2014) Beta-diversity in seasonally dry tropical forests (SDTF) in the Caatinga Biogeographic Domain, Brazil, and its implications for conservation. *Biodiversity and conservation* 23(1): 217-232.

Arechavaleta M, Sala, LL, Oromi P (1999) La fauna invertebada de la Cueva de Felipe Reventón (Icod de los Vinos, Tenerife, Islas Canarias). *Vieraea* 27:229-244.

Auler A, Rubbioli E, Brandi R (2001) As grandes cavernas do Brasil. Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, Belo Horizonte.

Bahia GR (2007) Sucessão ecológica em guano de morcegos insetívoros em cavernas. Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de

Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre. 117 pp.

Brasil (2008) Decreto no 6.640, 07 novembro de 2008, dá nova redação aos arts. 1o, 2o, 3o, 4o e 5o e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto no 99.556, de 1o de outubro de 1990, que dispõe sobre proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. Diário Oficial da União 218: 8-9.

Brasil (2009) Instrução Normativa No2, de 20 de agosto de 2009. Ministério do Meio Ambiente, Brasil.

Brasil (2017) Instrução Normativa nº 01, de 24/01/2017. Instituto Chico Mendes de Biodiversidade, Brasil.

Camacho AI (1992) A classification of the aquatic and terrestrial subterranean environments and their associated fauna. In A.I. Camacho (ed.), *The Natural History of Biospeleology*. Museo Nacional de Ciencias Naturales p. 57-103.

CECAV (2016) Base de Dados Geoespacializados das Cavidades Naturais Subterrâneas do Brasil. <http://www.icmbio.gov.br/cecav/>.

Christman MC, Culver DC, Madden MK, White D (2005). Patterns of endemism of the eastern North American cave fauna. *Journal of Biogeography* 32(8):1441-1452.

Culver DC, Sket B (2000) Hotspots of subterranean biodiversity in caves and wells. *Journal of Cave and Karst Studies* 62: 11–17.

Culver,DC, Sket B (2002) Biological monitoring in caves :*Acta carsologica* 31: 55-64.

Culver, DC & Pipan, T (2009). *The biology of caves and other subterranean habitats*. OUP Oxford.

Elliott, W. R. (2005) Protecting caves and cave life. *Encyclopedia of caves* 458-467.

Ferreira RL, Martins RP (1998) Diversity and distribution of spiders associated with bat guano piles in Morrinho cave (Bahia State, Brazil). *Diversity and distributions* 235-241.

Ferreira RL, Martins RP (1999) Trophic Structure and Natural History of Bat Guano Invertebrate Communities with Special Reference to Brazilian Caves . *Tropical Zoology* 12(2):231-259.

Ferreira RL (2005). A vida subterrânea nos campos ferruginosos. *O Carste* 3(17):106-115.

Ferreira RL, Oliveira MPA, Souza-Silva M (2015) Biodiversidade subterrânea em geossistemas ferruginosos. In: *Geossistemas ferruginosos do Brasil: Areas prioritárias*

para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais. Instituto Pristino p. 195-231.

Gilbert J, Danielpol DL, Stanford JA (1994) *Groundwater Ecology*. Academic Press Limited, San Diego, California 571 pp.

Hoch H, Ferreira R (2016) *Iuiuia caeca* gen. n., sp. n., a new troglobitic planthopper in the family Kinnaridae (Hemiptera, Fulgoromorpha) from Brazil. *Deutsche Entomologische Zeitschrift* 63:171-181.

Holsinger R, Culver DC (1988) The Invertebrate Cave Fauna of Virginia and a Part of Eastern Tennessee: Zoogeography and Ecology. *Brimleyana* 14:1-162.

Howarth FG, James SA, McDowell W, Preston DJ, Imada, CT (2007) Identification of roots in lava tube caves using molecular techniques: implications for conservation of cave arthropod faunas. *Journal of Insect Conservation* 3(11): 251- 261.

Howarth FG (1983) Ecology of cave arthropods. *Annual Review of Entomology* 28: 365-389.

Jasinska EJ, Knott B, McComb, AJ (1996) Root Mats in Ground Water: a Fauna-Rich Cave Habitat. *Journal of the American Benthological Society* 15(4): 508- 519.

Margules CR, Pressey RL (2000) Systematic conservation planning. *Nature* 405:243-253.

Ratton P, Mahnert V, Ferreira RL (2012) A new cave-dwelling species of *Spelaeobochica* (Pseudoscorpiones: Bochicidae) from Brazil. *The Journal of Arachnology* 40:274–280.

Romero A, Green M (2005) The end of regressive evolution: examining and interpreting the evidence from cave fishes. *Journal of Fish Biology* 67:3-32.

Santos TF, Teixeira-Silva CM, Timo MB, Simões PR, Vieira FF, Morais F, Roberto GG, Oliveira GPC, Oliveira SO, Ferreira AS, Paula, HC (2007) Serra do Iuiú, BA: Um grande potencial espeleológico. *Revista Espeleologia* 12:9-29.

Sessegolo, GC, Oliveira KL, Rocha LFS (2001) *Conhecendo cavernas*. GEEP-Acungui. Curitiba- PR.

Silva JMC, Casteleti CHM (2005) Estado da biodiversidade da Mata Atlântica brasileira. In: Galindo-Leal, C. & Câmara, I.G. (Eds.), *Mata Atlântica: Biodiversidade, ameaças e perspectivas*. Fundação SOS Mata Atlântica p.43-59.

Simon KS, Pipan T, Culver DC (2007). A conceptual model of the flow and distribution of organic carbon in caves. *Journal of Cave and Karst Studies* 69(2), 279-284.

Souza LA, Ferreira RL, Senna AR (2015). Amphibious shelter-builder Oniscidea species from the New World with description of a new subfamily, a new genus and a new species from Brazilian Cave (Isopoda, Synocheta, Styloniscidae). *PloS one* 10(5):e0115021.

Souza-Silva M, Martins RP, Ferreira RL (2014). Cave conservation priority index to adopt a rapid protection strategy: a case study in Brazilian Atlantic rain forest. *Environmental management* 55(2):279-295.

Souza-Silva M, Martins RP, Ferreira RL (2011) Trophic dynamics in a neotropical limestone cave. *Subterranean Biology* 9(1): 127-138.

Trajano E, Gallão JE, Bichuette ME (2016). Spots of high diversity of troglobites in Brazil: the challenge of measuring subterranean diversity. *Biodiversity and Conservation* 25(10):1805-1828.

Trajano E (2000). Cave faunas in the Atlantic tropical rain forest: composition, ecology and conservation. *Biotropica* 32: 882-893.

Vasconcelos ACO, Ferreira, RL (2016). Description of two new species of *Charinus* Simon, 1892 from Brazilian caves with remarks on conservation (Arachnida: Amblypygi: Charinidae). *Zootaxa* 4072(2):185-202.