



Universidade Federal de Minas Gerais

Instituto de Ciências Biológicas

Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre

**UMA LUZ NA ESCURIDÃO: DESVENDANDO OS PROCESSOS
ESTRUTURADORES DA FAUNA CAVERNÍCOLA VIA PARTIÇÃO DE
VARIÂNCIA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre da Universidade Federal de Minas Gerais como pré-requisito para a obtenção do título de Mestre.

Augusto Milagres e Gomes

Orientador: prof. Dr. Adriano Pereira Paglia

Co-orientador: prof. Dr. Rodrigo Lopes Ferreira

Belo Horizonte, 2017

Sumário

Resumo	6
Introdução	7
Métodos	
Área de estudo	11
Desenho amostral e coletas biológicas	13
Caracterização dos habitats e recursos orgânicos	15
Análises espaciais	17
Análise de dados	17
Resultados	20
Discussão	
Influência das escalas espaciais sobre a estrutura e composição da fauna ...	26
Implicações para a conservação	31
Conclusões e perspectivas futuras	33
Agradecimentos	35
Bibliografia	35
Material Suplementar	44

Figuras, Tabelas e Material Suplementar

Figura 1.....	13
Figura 2.....	22
Figura 3.....	23
Figura 4.....	24
Figura 5.....	25
Figura 6.....	25
Tabela 1.....	21
Tabela 2.....	23
Tabela 3.....	26
Material Suplementar	
Figura S1.....	44
Figura S2.....	45
Figura S3.....	46
Figura S4.....	46
Figura S5.....	47
Figura S6.....	47
Figura S7.....	48
Tabela S1.....	49
Tabela S2.....	50
Tabela S3.....	51
Tabela S4.....	52
Tabela S5.....	53
Tabela S6.....	54

Agradecimentos

Dedico este trabalho à minha família, que sempre esteve ao meu lado, incentivando, aconselhando e fazendo tudo que esteve ao seu alcance para me proporcionar as melhores experiências possíveis, e as melhores condições para enfrentar os desafios da vida e alcançar meus sonhos. Minha trajetória até aqui jamais seria possível sem vocês. Obrigado!

Eu gostaria de agradecer com meus mais profundos sentimentos a todas aquelas pessoas que fizeram uma parte importante da minha vida e de quem eu sou hoje. Cris, Aliene, Cabide, Gui, Abreu, Ana Luisa, Marinha, Hans e Pilão. Obrigado por existirem! Agradeço também aos amigos sempre presentes, ainda que distantes: Maguimba, Forrest, Fifi, Hanaisa, Claudinha e outros que sempre me trazem alegrias e boas conversas.

Ao Bill e ao Tom, meus eternos e fiéis companheiros. Vocês estarão para sempre nas minhas melhores memórias!

Agradeço aos meus orientadores, Adriano e Drops, pelas inúmeras discussões engrandecedoras e por todo o esforço despendido na minha formação.

Agradeço ao Gabriel Félix, por me ensinar a fazer ciência e por mudar meu modo de entender a natureza. Este trabalho não teria chegado neste patamar sem suas contribuições. Obrigado pelos debates fervorosos e por sempre colocar em cheque minhas convicções.

Agradeço ao Bob (Ricardo Solar) pela inestimável ajuda com as análises dos dados e pelas boas discussões sobre ecologia de comunidades. Agradeço também ao Cássio, ao Rafael e a outros amigos mais recentes pela companhia e pelas discussões frutíferas, sejam elas no ICB, no buteco ou no bandeirão. Discutir biologia e evolução com vocês é sempre muito agradável! Ainda vou conseguir abater esses créditos!

Agradeço à minha equipe de campo (Drops, Jennifer, Pirillo, Vaca, Ditcho, Perna, Marconi e Nilson) por todo o companheirismo e esforço durante a campanha de coleta no Peixe Bravo. Aqueles divertidos e exaustivos dias no sertão jamais serão esquecidos!

Aos companheiros de cada dia do Laboratório de Ecologia e Conservação (LEC), da Villa Parentoni e do Centro de Estudos em Biologia Subterrânea (CEBS).

Agradeço à toda a equipe do Instituto Prístino, pelas oportunidades que me proporcionaram nos últimos anos, dentre elas a realização deste projeto.

Agradeço a todos os professores e colegas do curso de campo de Ecologia da Floresta Amazônica. A experiência pessoal e acadêmica adquirida durante os longos anos embrenhado na floresta é indescritível. Boa parte do meu amadurecimento científico se deve a vocês!

Meus eternos agradecimentos à professora Mônica (colégio Santo Agostinho), que ainda na minha sexta série do ensino fundamental despertou uma curiosidade insaciável pela biologia. Suas aulas mudaram minha vida para sempre. Não sei seu sobrenome e muito menos por onde você anda hoje, mas eu ficaria eternamente grato em revê-la!

Agradeço também aos eternos mestres do rock: Beatles, Pink Floyd, Creedence, Led Zeppelin, Bob Dylan, Dire Straits, Rolling Stones, Lynyrd Skynyrd, Jethro Tull, ACDC, Kiss, The Grateful Dead e tantos outros que alegam meu dia a dia.

Ao “Alex Supertramp” (Christopher McCandless) e ao Chico Mendes, pelo seu papel incontestável na formação da minha filosofia de vida.

Por fim, agradeço ao mundo natural, por me encantar e instigar minha curiosidade desde que me entendo por gente.

**Uma luz na escuridão: desvendando os processos
estruturadores da fauna cavernícola via partição de variância**
*A light in the darkness: unraveling the processes behind the
cave biodiversity through variance partitioning*

Augusto Milagres e Gomes^{1,2}, Gabriel Moreira Félix³, Ricardo Ribeiro de Castro Solar,
Rodrigo Lopes Ferreira², Marconi Souza-Silva² & Adriano Pereira Paglia¹

¹Laboratório de Ecologia e Conservação, Departamento de Biologia Geral, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

²Centro de Estudos em Biologia Subterrânea, Departamento de Biologia, Universidade Federal de Lavras, Brasil.

³Laboratório de Síntese Ecológica, Departamento de Biologia Geral, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

E-mail de correspondência: augustomilagres@gmail.com

Resumo

A compreensão dos processos ecológicos atuantes em diferentes escalas de espaço, tempo, organização e evolução é fundamental para o melhor entendimento da organização das comunidades biológicas. Neste artigo nós testamos a influência de variáveis ambientais em diferentes escalas espaciais e da distribuição espacial das unidades amostrais sobre a estrutura e composição da fauna cavernícola de uma área cárstica ferruginosa no norte do estado de Minas Gerais, Brasil. A riqueza de invertebrados é influenciada pelas características da micro e meso escala, e a composição apenas pela meso escala. Já a riqueza e composição de morcegos não sofreram influência de nenhuma das escalas avaliadas. Ainda que a seleção natural seja importante na micro e meso escala, nossos resultados sugerem um papel central de processos dispersivos na estruturação das comunidades cavernícolas. A partir disso, nós discutimos medidas de conservação cabíveis para sistemas cársticos ferruginosos, caracterizados por particularidades ambientais e alta riqueza e endemismo de espécies.

Palavras-chave: escalas espaciais; carste ferruginoso; dispersão; cavernas; PCNM.

Abstract

The comprehension of ecological processes acting at different scales of space, time, organization and evolution is a crucial task to a better assessment of the organization of biological communities. In this paper we tested the influence of environmental variables at different special scales and the spatial distribution of sampling units over the structure and composition of cave fauna of a karstic ironstone province in northern Minas Gerais state, Brazil. The invertebrate richness is influenced by the characteristics of the micro and the meso scales, and its composition is influenced just by the meso scale. The bat richness and composition wasn't influenced by any of the evaluated scales. Even if the natural selection was important at the micro and meso scales, our results suggest a central role of dispersal processes over the structuring of subterranean communities. From this we discuss some suitable conservation actions for karstic ironstone ecosystems, characterized by environmental peculiarities and high richness and endemisms of species.

Key-words: *spatial scales; ironstone karst; dispersion; caves; PCNM.*

Introdução

A maioria dos debates recorrentes ou mal resolvidos em ecologia está relacionada a questões de escala (Levin 1992; Chave 2013). Alguns autores chegam a atribuir a aparente ausência de leis gerais em ecologia à falta de compatibilidade entre os estudos, que avaliam os mesmos fenômenos em escalas muito distintas (Whittaker et al. 2001). O conceito e a delimitação de escalas são, por si só, controversos, já que escalas podem representar tanto limites arbitrários adotados pelo pesquisador para estudar um dado fenômeno, quanto conjuntos hierárquicos bem definidos de organização biológica. Na natureza, inúmeros fatores bióticos e abióticos interagem para gerar padrões complexos, muitos dos quais só podem ser compreendidos se buscarmos os processos envolvidos nas escalas específicas em que eles ocorrem (Morris 1987; Wiens 1989; Levin 1992; Whittaker et al. 2001; Rahbek 2005; Chave 2013; Barton et al. 2013).

O fato de processos distintos atuarem em escalas distintas é resultado de divergências nas histórias evolutivas das espécies. Estas divergências levaram a diferenciações de nicho, fazendo com que a resposta dos organismos ao ambiente varie em função da escala em que ele é percebido (Levin 1992; Chave 2013; Barton et al. 2013). Em geral, organismos maiores têm maior demanda energética, portanto

necessitam de uma maior área de vida para obter os recursos e condições necessárias para sua sobrevivência (McNab 1963; Haskell et al. 2002). Sendo assim, eles tendem a perceber e explorar o ambiente numa escala mais ampla do que organismos menores, o que também se reflete na sua área de vida e capacidade de dispersão (McNab 1963; Haskell et al. 2002; Biedermann 2003) (para um contraponto envolvendo variação no tamanho corporal, capacidade de dispersão e distribuição geográfica de besouros do gênero *Brachinus*, veja Juliano (1983)). A área de vida e capacidade de dispersão dos organismos também é influenciada pela sua taxa metabólica, comportamento de forrageio, distribuição dos recursos pelo território e mesmo pelas condições ambientais e estado reprodutivo (McNab 1963; Haskell et al. 2002). Animais com metabolismo mais acelerado e aqueles obrigados a se deslocar mais para obter alimento, como os caçadores ativos, têm maior demanda energética e também necessitarão de uma maior área para atender seus requerimentos energéticos mínimos. Condições ambientais adversas e períodos reprodutivos também implicam em maior gasto energético (McNab 1963). Via de regra, mamíferos e animais homeotérmicos apresentam requerimentos energéticos muito superiores à de invertebrados, tanto em razão do tamanho corporal quanto pela termorregulação (Schmidt-Nielsen 2002), portanto tendem a ocupar maior área de vida e deslocar-se mais pela paisagem (Biedermann 2003). Sendo assim, múltiplos fatores contribuem para que organismos diferentes respondam ao ambiente em diferentes escalas.

A complexidade das respostas dos organismos a diferentes escalas de tempo, espaço e organização tem sido um grande desafio para biólogos evolutivos e ecólogos teóricos, principalmente na busca de regras gerais que governem os padrões entre escalas (Morris 1987; Levin 1992; Whittaker et al. 2001; Chave 2013). Na prática, isso significa compreender quais informações do sistema são preservadas e quais se perdem ao mudar a escala de observação (Levin 1992). Apesar do esforço dispendido nas últimas décadas para a elucidação destas questões, muitos aspectos acerca dos mecanismos geradores e mantenedores da diversidade ainda são obscuros (Wiens 1989; Rahbek 2005). Ricklefs (1987) propôs que a diversidade de espécies em uma área é resultante de um balanço entre processos regionais, como dispersão e evolução, e processos locais, como interações biológicas e fatores estocásticos. Vellend (2010) foi adiante e argumentou que todos os padrões de diversidade encontrados na natureza, tanto locais como regionais, são resultantes de quatro processos básicos e suas interações: seleção natural, dispersão, especiação e deriva ecológica. Estes quatro

processos, por sua vez, podem atuar em escalas distintas de espaço, tempo, organização e evolução (Wiens 1989; Levin 1992; Vellend 2010; Pinheiro et al. 2016), o que gera diferentes padrões em diferentes escalas. Grandes discrepâncias espaciais ou temporais na organização das comunidades podem indicar limites naturais entre escalas distintas, onde as diferenças ecológicas entre as espécies são mais importantes (Wiens 1989). Quando estas mudanças na organização são coincidentes para diferentes grupos de organismos, temos uma evidência de processos similares moldando comunidades distintas (Wiens 1989).

Entretanto, a maioria das análises comumente utilizadas em ecologia de comunidades mede o efeito de variáveis isoladas sobre um dado parâmetro, como riqueza e abundância de espécies ou similaridade entre pontos de amostragem. Estes métodos clássicos não permitem avaliar como um conjunto de variáveis de interesse, presente numa determinada escala, pode interagir com outro conjunto de variáveis presentes em outras escalas, para influenciar a riqueza e composição de espécies numa comunidade. Apesar disso, vários avanços foram feitos no sentido de particionar a diversidade biológica entre diversos componentes de interesse, e assim compreender com maior precisão quais fatores são responsáveis pela variância observada (Borcard & Legendre 2002; Crist et al. 2003; Borcard et al. 2004; Legendre et al. 2005; Peres-Neto et al. 2006; Gilbert & Bennet 2010; Smith & Lundholm 2010; Baselga 2010; Legendre & Legendre 2012). A análise de redundância (RDA), por exemplo, permite a partição da variância na composição das comunidades em diversas escalas espaciais. Quando utilizada em conjunto com outros métodos capazes de captar a variação espacial na estrutura das comunidades, a partição de variância é uma ferramenta útil para discernir as diferenças na composição que se devem à seleção natural (processos guiados por nicho, ou determinísticos) daquelas que se devem a limitações na dispersão (processos neutros) (Legendre et al. 2005; Smith & Londholm 2010).

Considerando a multiplicidade de respostas e padrões biológicos encontrados em escalas diferentes, é evidente que a escolha correta da escala a ser estudada pode ter grande influência não só sobre a interpretação dos processos em questão, mas também sobre aplicações práticas dos estudos, como aqueles voltados para a biologia da conservação (Barton et al. 2013). Decisões práticas de conservação e manejo são diretamente dependentes das informações disponíveis sobre a estrutura funcional dos ecossistemas, a distribuição e abundância das espécies, seu grau de ameaça, sua capacidade de resiliência e resposta à degradação ambiental. Estas informações, por sua

vez, estão condicionadas à escala em que foram coletadas e à escala em que serão interpretadas.

Nessa perspectiva, cavernas são modelos interessantes para testar hipóteses, pois apresentam comunidades muito simplificadas em relação às comunidades epígeas típicas, o que facilita inferências sobre as interações entre as espécies ali presentes e sua relação com o meio abiótico (Ferreira 2004). Apesar da simplificação da comunidade, os organismos cavernícolas apresentam enorme diversidade filogenética e ecológica (Culver & Pipan 2009), o que oferece possibilidades interessantes para investigar a resposta de diferentes grupos a processos atuantes em diferentes escalas espaciais e temporais. Já foi bem reportado na literatura que as comunidades cavernícolas podem ser influenciadas pelas características ambientais das cavernas e do seu entorno, como os tipos de substratos e recursos presentes, a disponibilidade de abrigos, presença de cursos d'água, a litologia e o micro-clima das cavernas, suas características morfológicas e estruturais, a matriz da paisagem circundante e as atividades antrópicas presentes (Trajano 1985; Ferreira 2004; Culver & Pipan 2009; Souza-Silva et al. 2011; Taylor & Ferreira 2012; Brunet & Mendellín 2001; Rodríguez-Durán & Soto-Centeno 2003; Avila-Flores & Medellín 2004; Ferreira 2005; Christman & Culver 2001; Simões et al. 2015; Pellegrini et al. 2016). Porém, existe pouco consenso sobre como variáveis atuantes em escalas muito distintas podem interagir para determinar a estrutura e composição da fauna cavernícola. Além disso, mudanças recentes na legislação brasileira de proteção a cavernas (Brasil 2008; Brasil 2009) estabelecem novas diretrizes para a classificação das cavernas em graus de relevância, por vezes com base em atributos arbitrários e pouco precisos. Nesse contexto, apenas cavernas consideradas como de máxima relevância tem proteção integral (Brasil 2009). A legislação brasileira também atribui um raio de proteção arbitrário de 250 m no entorno da planta baixa de cada cavidade (Brasil 2004), o que se mostra inconsistente em função da enorme variedade de tamanhos, formações, litologias e atributos biológicos das quase 17000 cavernas até então catalogadas no território nacional (CECAV 2017).

O objetivo deste estudo foi avaliar a resposta da comunidade cavernícola a variáveis ambientais em diferentes escalas espaciais, de forma a determinar a importância relativa de cada escala sobre a estruturação e composição da fauna subterrânea, bem como os processos ecológicos subjacentes. Nossa hipótese é que a resposta dos organismos será variável em função da escala em que eles percebem e

exploram o ambiente. Considerando a maior área e vida e maior potencial de dispersão esperados para morcegos em relação aos invertebrados, podemos prever que: 1) nos quadrantes no interior de cada caverna (micro-escala), a riqueza de invertebrados será proporcional à diversidade de substratos e às fontes primárias de recurso e abrigo, como guano, matéria orgânica e blocos de rocha; 2) nas cavernas (meso escala), a riqueza de invertebrados e morcegos será proporcional à diversidade do hábitat físico, à projeção horizontal, ao grau de estabilidade ambiental e complexidade estrutural; 3) com relação às características da paisagem no entorno das cavernas (macro-escala), a riqueza de morcegos das cavernas deve responder positivamente à heterogeneidade espacial e ao percentual de vegetação nativa, enquanto os invertebrados não devem responder a nenhuma dessas variáveis. Esperamos ainda que: 4) a comunidade de invertebrados sofra maior influência de processos de nicho na micro e meso escala, em função dos vários filtros ambientais impostos pelas cavernas, e de processos neutros na macro escala, em função de limitações na dispersão. Já com relação à comunidade de morcegos, esperamos que sofra influência dos processos de nicho tanto na meso quanto na macro escala, já que os filtros ambientais das cavernas e da paisagem devem ser restritivos, mas não limitantes para a dispersão. Além disso, esperamos que: 5) a composição de invertebrados seja auto-correlacionada espacialmente, mas não a composição de morcegos, uma vez que a distância entre as cavernas deve impor limites para a dispersão de invertebrados, mas não de morcegos, o que provoca uma diferenciação da fauna de invertebrados, mas uma homogeneização da fauna de morcegos, entre cavernas.

Pretendemos ainda, a partir dos resultados deste trabalho, fornecer subsídios para uma melhor adequação da legislação ambiental de proteção às cavernas, no que concerne ao seu raio de proteção mínimo e aos atributos bióticos e abióticos relevantes para a manutenção da fauna, principalmente em litologias ferruginosas.

Métodos

Área de estudo

O estudo foi conduzido em cavernas da região do Vale do Rio Peixe Bravo, localizado no norte do estado de Minas Gerais, Brasil, entre os municípios de Rio Pardo de Minas, Riacho dos Machados, Serranópolis de Minas e Grão Mogol (16°08'S, 42°47'W – 16°00'S, 42°40'W; Fig. 1). Esta região está inserida na transição de dois grandes biomas brasileiros: o Cerrado e a Caatinga (SIAM 2011). Carmo (2012)

apontou a ocorrência das seguintes fitofisionomias na região do Vale do Rio Peixe Bravo: floresta estacional semidecidual, floresta estacional decidual (matas secas) e campos rupestres sobre canga. A geologia da área é representada pelas unidades do Grupo Macaúbas (Supergrupo São Francisco), constituído predominantemente por diamictitos, quartzitos e filitos, e uma série de litotipos hematíticos, que frequentemente se encontram sob uma extensa cobertura de canga com até 30 m de espessura (Carmo 2012). Superficialmente, as cangas apresentam fragmentos detríticos de minério rico e se encontram em altitudes que variam entre 850 e 950 metros (Viveiros et al. 1978; Vilela 1986).

As cavernas da região do vale do rio Peixe Bravo desenvolvem-se em diferentes condições geológicas, fazendo com que diferentes cavidades possuam características litotipológicas distintas. Há cavernas desenvolvidas diretamente na canga, outras na rocha ferruginosa (e.g. itabirito) e ainda há diversas cavernas inseridas em diamictitos ferruginosos (Carmo et al. 2011; Carmo 2012; Carmo et al. 2015). Em geral, as cavernas ferruginosas apresentam pequena projeção horizontal, tem um desenvolvimento irregular na rocha encaixante e são muito superficiais, apresentando maiores flutuações climáticas diárias do que cavernas inseridas em outras litologias (Ferreira 2005; Bichuette et al. 2015; Ferreira et al. 2015). As cavernas ferruginosas são caracterizadas por um grande número de canalículos e tem como base da cadeia trófica as raízes, o guano de morcegos e a matéria orgânica oriunda de fontes diversas (Ferreira 2005; Bichuette et al. 2015; Ferreira et al. 2015).

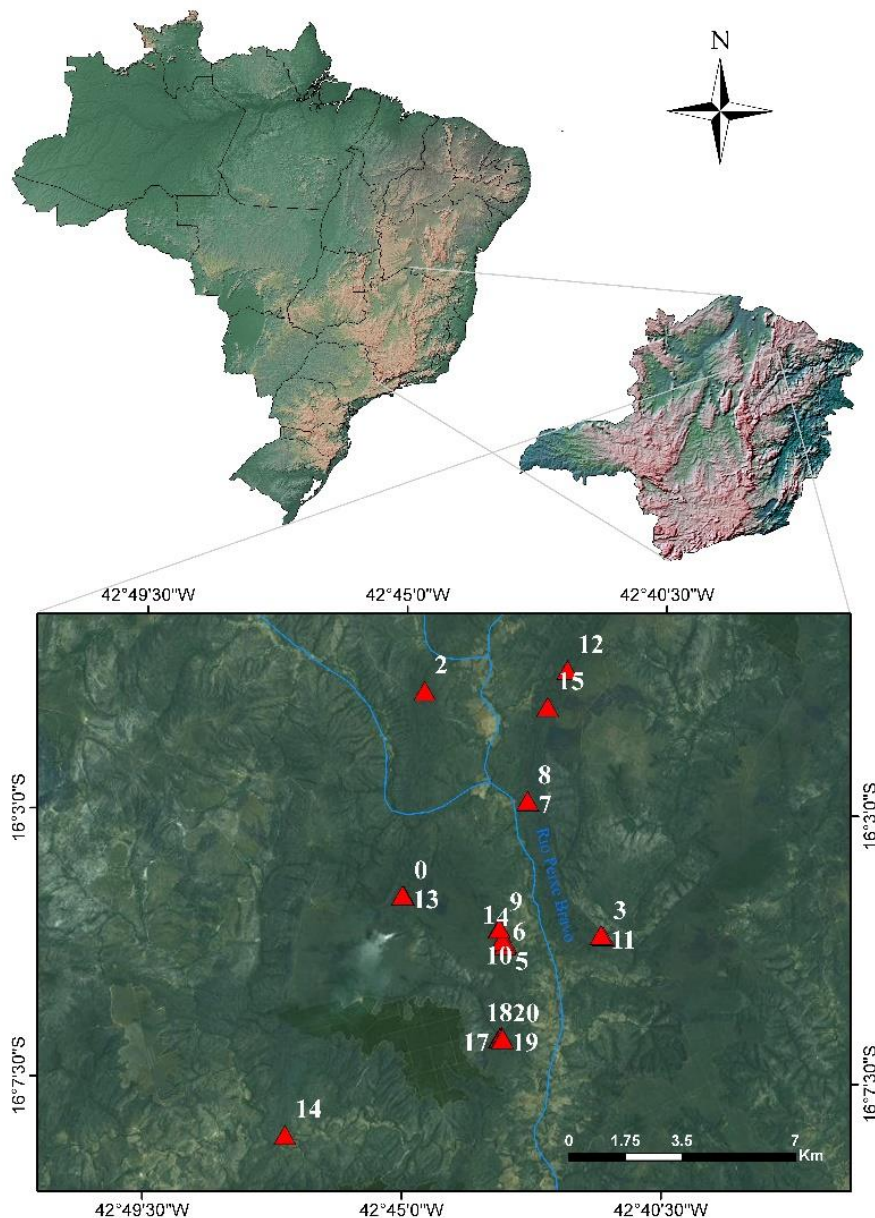


Figura 1. Área de estudo na região do Vale do Rio Peixe Bravo, no norte de Minas Gerais. Triângulos representam as cavernas estudadas. 0 = Boca Larga; 1 = Mandaçaia; 2 = Córrego das Canoas; 3 = Maritacas; 4 = Chaminé; 5 = D. Mercedes 1; 6 = Gameleira; 7 = João de Rita 1; 8 = João de Rita 2; 9 = Lago; 10 = D. Mercedes 2; 11 = Coruja Branca; 12 = Mocarorô; 13 = Morro do Capim; 14 = Morro Grande; 15 = Nilson; 16 = Paleotoca 1; 17 = Paleotoca 2; 18 = Paleotoca 3; 19 = Paleotoca 4; 20 = Paleotoca 5.

Desenho amostral e coletas biológicas

Para compreender a influência da heterogeneidade espacial sobre a fauna cavernícola em diferentes escalas, nós medimos variáveis ambientais em três escalas espaciais: *micro escala*, correspondente aos quadrantes dentro de cada caverna, *meso escala*, correspondente a cada caverna, e *macro escala*, correspondente à paisagem no entorno das cavernas. No total, nós amostramos 21 cavernas.

As coletas dos invertebrados cavernícolas foram realizadas ao nível da micro e meso escala, enquanto as coletas de morcegos apenas na meso escala, já que a determinação precisa da posição das suas colônias no interior de cada caverna se mostrou impraticável em função do seu comportamento vágil. Para as coletas na micro escala nós utilizamos quadrantes de 1x1 m, subdivididos em quadrados de 10 x 10 cm. Estes quadrantes eram sempre posicionados no solo da caverna, onde nós fizemos buscas exaustivas coletando todos os indivíduos encontrados. A coleta nos quadrantes só era encerrada quando novos indivíduos não fossem localizados (Fig. S1 A). Utilizamos um quadrante para cada 10 metros de projeção horizontal de cada caverna, de forma que o número de quadrantes por caverna era proporcional ao seu tamanho. Cavernas com projeção horizontal inferior a 10 metros foram amostradas com apenas um quadrante. O primeiro quadrante era sempre posicionado na porção mediana da caverna e os demais, caso houvessem, eram posicionados ao longo das galerias. Já para a coleta de invertebrados na meso escala, fizemos uma varredura através da extensão total de cada caverna (coleta geral), buscando ativamente pelos animais no solo, corpos d'água, paredes, fissuras, sedimento, por baixo de pedras e em possíveis fontes de recursos, como manchas de guano e matéria orgânica (Fig. S1 B). Para garantir a padronização do esforço amostral, o tempo de busca na coleta geral era de aproximadamente 10 minutos para cada 10 m² de caverna para cada membro da equipe de coleta (Souza-Silva et al. 2011; Simões et al. 2015), composta sempre por quatro biólogos com experiência em biologia subterrânea. Alguns indivíduos de cada espécie encontrada foram coletados como testemunho, enquanto o restante tinha apenas sua abundância registrada num croqui de planta baixa da caverna, segundo metodologia proposta por Ferreira (2004). Todos os invertebrados coletados foram depositados na coleção zoológica do Centro de Estudos em Biologia Subterrânea, da Universidade Federal de Lavras. Posteriormente, os invertebrados foram separados em morfótipos e identificados até o menor nível taxonômico possível. As estimativas de abundância da meso escala foram dadas pelo somatório do número de indivíduos encontrados por morfótipo nas coletas de quadrantes e coleta geral (Ferreira 2004; Souza-Silva et al. 2011; Bento et al. 2016).

Capturamos os morcegos através do bloqueio dos principais condutos das cavernas por meio de redes de neblina (Fig. S1 C, D). As redes ficavam abertas por no máximo 1:30h, ou até que todos os indivíduos fossem capturados. Nos casos em que as características da caverna impossibilitavam a captura com redes, fizemos uma busca

visual seguida de registro fotográfico, que durava 1:00h. Um indivíduo de cada espécie de morcego cuja identificação não foi possível em campo, ou caso se tratasse de um registro inédito, foi morto e depositado na Coleção de Mamíferos da Universidade Federal de Minas Gerais. Os demais indivíduos foram identificados e soltos. As identificações de morcegos e invertebrados foram feitas por taxonomistas especializados e com auxílio de chaves taxonômicas específicas de cada grupo.

Todas as coletas foram autorizadas pelo Ministério do Meio Ambiente, pela licença de nº 52169-1.

Caracterização dos habitats e recursos orgânicos

Para caracterização de micro-habitat e recursos orgânicos dos quadrantes, nós registramos as diferentes categorias de substratos encontrados em cada uma das suas 100 células, como solo exposto, blocos de rocha, corpos d'água, matéria orgânica, plantas, guano e carcaças de animais (Fig. S1 A). A partir disso, calculamos a diversidade de substratos em cada quadrante pelo índice de Shannon (Magurran & McGill 2011). Calculamos também o percentual de células ocupadas por cada uma das classes encontradas.

Já para caracterização do habitat físico das cavernas nós utilizamos dois métodos distintos. Para a caracterização dos abrigos presentes no solo para invertebrados, adaptamos o método proposto por Peck et al. (2006) para determinação de habitats físicos em ambientes aquáticos. Para tal, dividimos cada caverna em pelo menos 10 transectos, distribuídos pelos maiores condutos e equidistantes entre si (Fig. S2 A). Em geral, utilizamos mais de 10 transectos nos casos em que a morfologia da caverna era mais complexa, em termos do número e disposição dos condutos e galerias. Cada um dos transectos era dividido em cinco pontos de amostragem, totalizando pelo menos 50 pontos de amostragem por caverna. Em cada ponto nós estimamos visualmente a granulometria dominante do sedimento presente, através da sua categorização em uma das seguintes classes: rocha matriz (lisa ou rugosa, > 4000 mm), matacão largo (1000 – 4000 mm), matacão (250 – 1000 mm), bloco (64 – 250 mm), cascalho grosso (16 – 64 mm), cascalho fino (2 – 16 mm), areia (0,06 – 2 mm), argila (< 0,06 mm) ou hardpan (substrato fino compactado, < 0,06 mm). Por fim, determinamos o percentual da caverna ocupado por cada classe de substrato e calculamos a diversidade de classes granulométricas de cada caverna (pelo índice de Shannon), ao que chamamos de *diversidade de abrigos*. Para a caracterização dos recursos disponíveis para

invertebrados, nós avaliamos a presença ou ausência de cada uma das seguintes classes entre dois transectos consecutivos - guano/fezes, raízes, serapilheira, galhos/troncos, curso d'água, poça d'água, plantas vasculares, briófitas e fungos – e então ponderamos a soma das ocorrências de cada classe pelo número de seções entre transectos presentes em cada caverna. A partir disso, nós calculamos o percentual da caverna ocupada por cada uma das classes de recursos e a diversidade de recursos (índice de Shannon) por caverna.

Para avaliar a estabilidade ambiental de cada caverna, e, portanto, sua susceptibilidade a variações climáticas do ambiente externo, nós utilizamos o Índice de Estabilidade Ambiental (Ferreira 2004; Bento et al. 2016). Este índice considera que cavernas maiores e com uma única entrada apresentam um micro-clima mais estável do que cavernas menores com múltiplas entradas (Ferreira 2004). O índice é dado por: $IEA = \ln\left(\frac{PH}{LE}\right)$, para cavernas com apenas uma entrada, em que *IEA* é o índice de estabilidade ambiental, *PH* é a projeção horizontal da caverna e *LE* é a largura da entrada. Para cavernas com mais de uma entrada, o índice é modificado para: $IEA = \ln\left[\frac{PH\left(\frac{PH}{\sum LE}\right)}{(NE * DEE)}\right]$, onde: *LE* é a largura da entrada, *NE* é o número de entradas e *DEE* é a distância média entre as entradas, tomada a partir de uma entrada referencial.

Para o mapeamento e diagnóstico da projeção horizontal das cavernas nós utilizamos o princípio da descontinuidade (Rubbioli & Moura 2005), em que o tamanho final da caverna é o resultado da soma das medidas de cada conduto. Adicionalmente, nós desenvolvemos o Índice de Complexidade Estrutural da caverna, que dá uma medida sobre o seu grau de compartimentalização e, portanto, dos micro-hábitats criados pela sua divisão natural em galerias e condutos. O índice é dado por: $ICE = \frac{NG}{\ln(PH)}$, em que *ICE* é o Índice de Complexidade Estrutural, *NG* é o número de galerias da caverna e *PH* é a sua projeção horizontal. Nós determinamos visualmente o número de galerias a partir dos croquis das cavernas, onde identificamos as suas principais mudanças morfológicas estruturais que pudessem se caracterizar como compartimentos distintos de habitat para a fauna (Fig. S2 B). Consideramos como galerias individuais todas as porções expandidas das cavernas, bem como condutos independentes que se ramificavam a partir destas porções expandidas.

Análises espaciais

Para analisar a heterogeneidade espacial da vegetação do entorno das cavernas (macro escala) e verificar sua influência sobre a fauna cavernícola, nós definimos buffers de 100, 250, 500 e 1000 metros usando a caverna como centro no programa Google Earth Pro (Pellegrini et al. 2016). O maior buffer (1000 m) foi definido procurando-se abranger a maior área possível no entorno das cavernas (e que fosse representativa no caso dos morcegos, que apresentam alto potencial de dispersão), porém minimizando ao máximo a sobreposição entre os buffers de cavernas distintas.

A partir disso, delineamos os polígonos correspondentes às categorias de uso e cobertura do solo em cada um desses buffers, e calculamos as suas respectivas proporções. Calculamos também o Índice de Shannon para a diversidade de classes em cada buffer (ao que chamamos de *heterogeneidade da paisagem*), de forma a mensurar o grau de heterogeneidade espacial presente. Posteriormente, calculamos o percentual de vegetação nativa (somatório da área correspondente a Cerrado, mata e campo) e de área antrópica (somatório da área correspondente a atividades agrícolas e eucaliptais) em cada buffer. Dentro do polígono da área de estudo, compreendido pelo perímetro mais externo de todos os buffers de 1000 m das 21 cavernas estudadas (totalizando cerca de 11150 hectares), nós utilizamos 69 pontos de referência visuais da paisagem. Estes pontos, tomados ao longo do nosso trajeto na região, serviram para validar *a posteriori* as classes de vegetação identificadas nas imagens de satélite para correspondência com as classes de uso e cobertura do solo. Destes pontos, 33 correspondiam a áreas de Cerrado (diversas fitofisionomias, especialmente Cerrado sentido restrito e Cerradão), 16 a atividades agrícolas (agricultura, pecuária e desmatamentos para outros usos), 9 a eucaliptais, 8 a áreas de matas (florestas estacionais decíduais e semi-decíduais) e 3 a áreas de campos naturais (campo limpo e campo sujo).

Análise de dados

Para sumarizar as variáveis relativas ao percentual dos quadrantes ocupado por cada classe de substrato, nós fizemos Análises de Componentes Principais (PCA) no programa Past e então utilizamos os valores do primeiro eixo (ao que chamamos de *composição de substratos*) como variável explicativa para as análises subsequentes. O mesmo foi feito com os valores percentuais da meso e da macro escala, relativos, respectivamente, aos abrigos e recursos das cavernas (ao que chamamos de *composição*

de abrigos e recursos), e às classes de uso e cobertura do solo presentes nos buffers (ao que chamamos de *composição da paisagem*), a exemplo das Figuras S3 e S4.

Para verificar as relações entre diversidade de substratos, composição de substratos na micro escala e a riqueza de invertebrados nos quadrantes, nós fizemos um modelo misto (GLMm) no programa R, utilizando a caverna como variável aleatória. Já para a meso e macro escala, nós utilizamos regressões múltiplas entre os valores de riqueza da caverna e as variáveis explicativas de cada escala. Para evitar a superparametrização dos modelos da meso escala, nós testamos em separado a influência da projeção horizontal das cavidades sobre a riqueza de invertebrados e morcegos, através de regressões lineares simples. Variáveis da mesma escala espacial com correlação maior que 0,6 foram eliminadas. Na meso escala, as sete variáveis explicativas (diversidade de abrigos e de recursos, composição de abrigos e de recursos, IEA, ICE e P.H.) apresentaram diversas correlações entre si. Por isto, optamos por utilizar como variáveis preditoras da riqueza de invertebrados a diversidade de recursos e a composição de abrigos, além do IEA, do ICE e da P.H. Apenas o IEA, o ICE e a P.H. foram utilizados como variáveis explicativas para a riqueza de morcegos na meso escala. Várias correlações também ocorreram entre as variáveis explicativas da macro escala (composição e heterogeneidade da paisagem, porcentagem de vegetação nativa e de área antrópica), então utilizamos apenas a heterogeneidade da paisagem e a porcentagem de vegetação nativa como variáveis explicativas, tanto para a riqueza de morcegos quanto para invertebrados. Todas as regressões foram feitas no programa Statistica.

Para testar a influência das variáveis explicativas de cada escala sobre a comunidade de invertebrados e morcegos, em termos da composição e abundância das espécies, nós utilizamos uma PCNM (Borcard & Legendre 2002; Borcard et al. 2004). A PCNM, ou *Principal Coordinates of Neighbor Matrices*, é uma análise multivariada que usa uma Análise de Coordenadas Principais (PCoA) de uma matriz truncada de distâncias euclidianas para gerar diversos eixos com a variação espacial da composição da comunidade entre unidades amostrais, nas diversas escalas de interesse. Esses eixos, ou descritores espaciais, podem então ser utilizados como variáveis explicativas em outras análises, de forma a evidenciar a contribuição da distribuição espacial das unidades amostrais sobre a estrutura e composição das comunidades, ao que denominamos *estrutura espacial*. Para eliminar os eixos e utilizar apenas aqueles com maior relevância para o modelo, nós testamos a significância de cada um e mantivemos

os eixos cujo valor-p foi menor ou igual a 0,2 e excluimos os demais eixos. Para as análises com invertebrados, nós utilizamos quatro eixos da PCNM (2, 3, 5 e 13) e, para morcegos, cinco eixos (1, 3, 4, 5 e 6). Uma Análise de Redundância (RDA) subsequente permite a partição da variância dos componentes biológicos (neste caso, a composição das comunidades de morcegos e invertebrados) entre estrutura espacial, variáveis ambientais, interação entre a estrutura espacial e as variáveis ambientais, e os resíduos (variância não explicada pelo modelo). Para isso, construímos um modelo para cada uma das escalas espaciais, utilizando as mesmas variáveis explicativas das análises de riqueza (à exceção da P.H.), e um para a estrutura espacial da comunidade, utilizando os eixos da PCNM como variáveis explicativas. Em todos os casos, a variável resposta foi a composição de cada caverna (resultante da soma das abundâncias das espécies nos quadrantes com as abundâncias encontradas na coleta geral). Para obter um valor único para cada variável dos quadrantes por caverna, nós extraímos a média dos valores das variáveis de todos os quadrantes para cada caverna. Entretanto, ao adotar este procedimento, nós avaliamos apenas o efeito das variáveis ambientais da micro escala sobre a composição da meso escala, mas não sobre a composição da própria micro escala. Para resolver isto, nós fizemos uma Análise de Variância Permutacional (PERMANOVA) utilizando as cavernas como blocos e o índice de Bray Curtis, que leva em conta a composição e abundância das espécies (Magurran & McGill 2011). A PCNM, a RDA e a PERMANOVA foram feitas no programa R.

Para testar a significância dos quatro modelos para invertebrados (micro, meso e macro escala, e estrutura espacial) e dos três modelos para morcegos (meso e macro escala, e estrutura espacial) na RDA, utilizamos 10000 permutações diretas, que aleatorizam a matriz de dados de composição e avaliam os efeitos diretos das variáveis de uma dada escala sobre a composição, desconsiderando o efeito das demais escalas (Legendre & Legendre 2012). O método da PCNM seguida de partição da variância tem a vantagem de poder ser aplicado para amostras pequenas e para desenhos amostrais irregulares, com estruturas espaciais não lineares mais refinadas e complexas, além de permitir a distinção entre os diversos processos responsáveis pela variação na composição das comunidades (Borcard et al. 2004; Smith & Lundholm 2010).

Considerando o possível papel da estrutura espacial das cavernas sobre as comunidades subterrâneas e, portanto, a importância de processos dispersivos mediados pela abundância dos organismos, nós fizemos regressões lineares para testar relações entre a distribuição das espécies entre cavernas e sua abundância total na área de estudo.

Com o intuito de entender se a variância na composição das cavernas é proveniente de substituição de espécies (*turnover*), de aninhamento ou de ambos os processos, nós particionamos a diversidade beta de acordo com Baselga (2010), baseado na matriz de presença e ausência de espécies. Sendo assim, o valor de beta total (β_{sor}) foi decomposto em puro *turnover* (β_{sim}) e puro aninhamento (β_{nes}). Posteriormente, com um teste de Mantel, nós comparamos o valor do beta total com o modelo nulo “r2dtable” no programa R, que faz 1000 aleatorizações na matriz de dados, mantendo fixos os totais marginais das linhas e colunas (Patefield 1981).

Por se tratarem de grupos ecologicamente muito distintos, fizemos todas as análises em separado para os morcegos e para os invertebrados.

Resultados

Foram coletados 3208 invertebrados (sendo 2029 provenientes da coleta geral e 1179 da coleta de quadrantes) pertencentes a 277 morfotipos, 31 ordens e pelo menos 78 famílias (Tab. S1). Possivelmente, o número real de famílias de invertebrados é muito superior a 78, devido ao grande número de morfotipos não identificados (Tab. S1). Os *taxa* mais ricos de invertebrados foram Araneae, Diptera, Hymenoptera, Acari e Coleoptera (Fig. S5). A estimativa de abundância total (baseada nos registros de campo e nos indivíduos coletados) é de 17041 indivíduos, sendo Diptera desproporcionalmente mais abundante que os demais (Fig. S6). Foram capturados também 165 morcegos pertencentes a 12 espécies e quatro famílias (Tab. S2; Fig. S7). Foram reconhecidas oito espécies de invertebrados troglomórficos (possíveis troglóbios) distribuídos por oito das 21 cavernas (Tab. S3), e capturadas três espécies de morcegos ameaçados em seis das 21 cavernas (Tab. S4). A Tabela S5 traz informações detalhadas sobre as cavernas e a fauna associada.

A riqueza de invertebrados sofreu influência positiva da diversidade de substratos na micro escala (Fig. 2A), e negativa da composição de abrigos na meso escala (Tab. 1, Fig. 2B). A riqueza de invertebrados foi ainda influenciada positivamente pela diversidade de recursos (Fig. 2C) e pela projeção horizontal na meso escala (Fig. 2D), mas não respondeu a nenhuma das variáveis na macro escala (Tab. 1). A riqueza de morcegos respondeu positivamente apenas à projeção horizontal na meso escala (Tab. 2, Fig. 3), mas não respondeu a nenhuma das variáveis na macro escala (Tab. 2).

Tabela 1. Influência das variáveis testadas na micro, meso e macro escala sobre a riqueza de invertebrados das cavernas. São apresentados os valores de p, do coeficiente de correlação (R), do coeficiente de determinação (R²) ajustado, e das estatísticas dos testes F, t e z, quando presentes. Os valores de R² ajustado e F são do modelo da regressão, e não de cada variável independente. Variáveis significativas foram marcadas com asterisco (*).

	Variáveis	p	R	R ²	F	t	z
Micro escala							
	Diversidade de substratos*	0,000		0,529			5,190
	Composição de substratos	0,662					-0,438
Meso escala							
	Diversidade de recursos*	0,000	0,694	0,707	9,030	4,696	
	Composição de abrigos*	0,003	-0,541	0,707	9,030	-3,597	
	IEA	0,247	-0,225	0,707	9,030	-1,208	
	ICE	0,423	0,131	0,707	9,030	0,826	
	P.H.*	0,001	0,674	0,454	15,788	3,973	
Macro escala							
Buffer 100 m	Diversidade da paisagem	0,534	-0,148	-0,073	0,316	-0,634	
	% veg. nativa	0,586	-0,129	-0,073	0,316	-0,554	
Buffer 250 m	Diversidade da paisagem	0,386	-0,202	-0,033	0,681	-0,888	
	% veg. nativa	0,470	-0,168	-0,033	0,681	-0,737	
Buffer 500 m	Diversidade da paisagem	0,414	-0,193	-0,045	0,573	-0,837	
	% veg. nativa	0,446	-0,180	-0,045	0,573	-0,779	
Buffer 1000 m	Diversidade da paisagem	0,552	-0,146	-0,030	0,710	-0,606	
	% veg. nativa	0,258	-0,281	-0,030	0,710	-1,169	

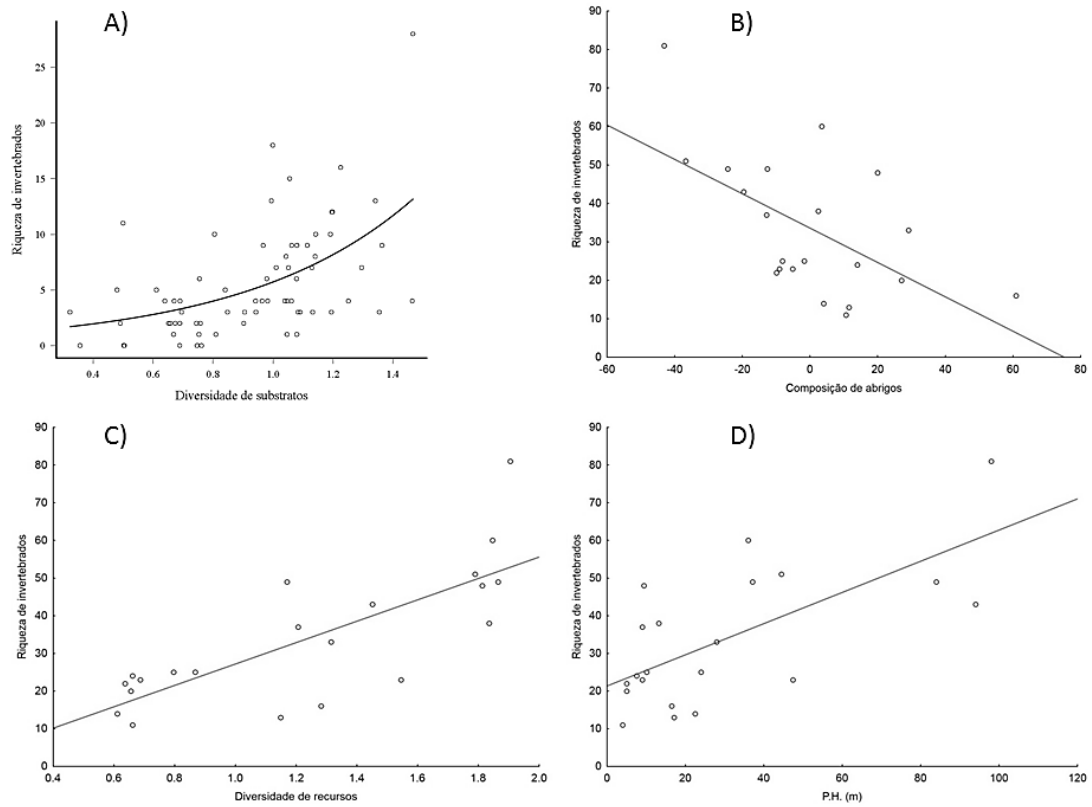


Figura 2. A) Influência da diversidade de substratos sobre a riqueza de invertebrados nos quadrantes (micro escala); B) Influência da composição de abrigos da meso escala sobre a riqueza de invertebrados nas cavernas. Valores crescentes de composição de abrigos representam um aumento no tamanho das classes granulométricas do sedimento das cavernas (Fig. S3); C) Influência da diversidade de recursos na meso escala sobre a riqueza de invertebrados nas cavernas; D) Influência da projeção horizontal das cavernas (P.H.) sobre a riqueza de invertebrados.

Tabela 2. Influência das variáveis testadas na meso e macro escala sobre a riqueza de morcegos das cavernas. São apresentados os valores de p, do coeficiente de correlação (R), do coeficiente de determinação (R²) ajustado, e das estatísticas dos testes F e t. Os valores de R² ajustado e F são do modelo da regressão, e não de cada variável independente. Variáveis significativas foram marcadas com asterisco (*).

Variáveis		p	R	R ²	F	t
Meso escala						
	IEA	0,798	0,065	0,162	2,935	0,260
	ICE	0,087	0,455	0,162	2,935	1,810
	P.H.*	0,002	0,635	0,404	12,860	3,586
Macro escala						
Buffer 100 m	Diversidade da paisagem	0,366	-0,213	-0,038	0,635	-0,927
	% veg. nativa	0,462	-0,173	-0,038	0,635	-0,752
Buffer 250 m	Diversidade da paisagem	0,525	-0,146	-0,010	0,903	-0,649
	% veg. nativa	0,260	-0,261	-0,010	0,903	-1,162
Buffer 500 m	Diversidade da paisagem	0,172	-0,315	0,040	1,421	-1,422
	% veg. nativa	0,287	-0,243	0,040	1,421	-1,096
Buffer 1000 m	Diversidade da paisagem	0,095	-0,401	0,074	1,803	-1,762
	% veg. nativa	0,228	-0,284	0,074	1,803	-1,248

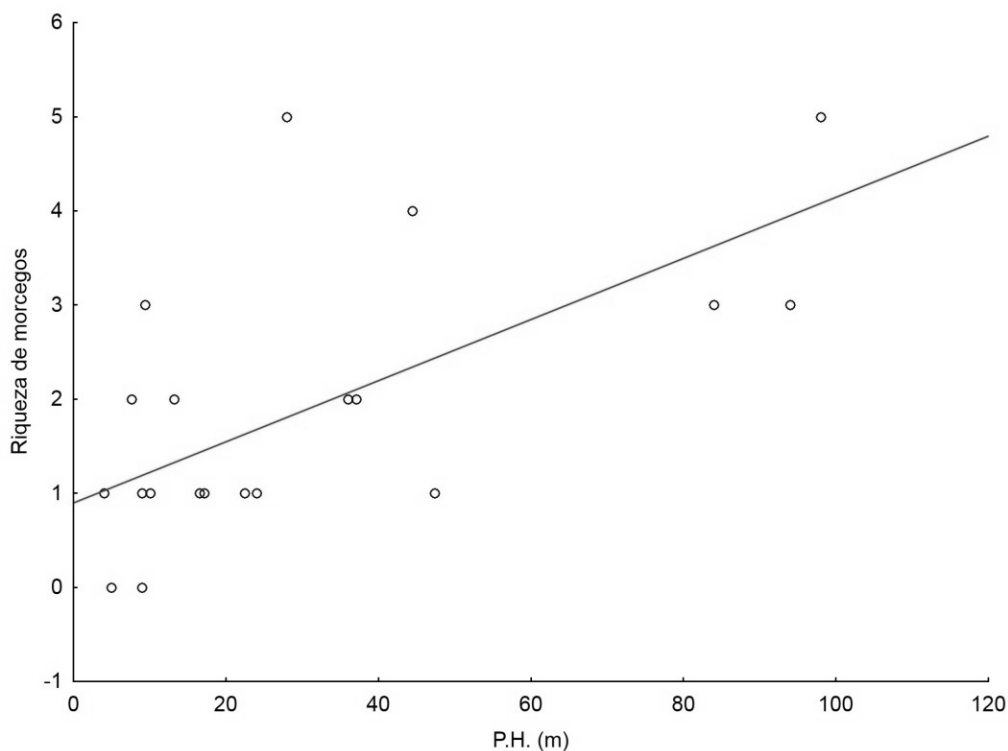


Figura 3. Influência da projeção horizontal das cavernas (P.H.) sobre a riqueza de morcegos.

A composição de invertebrados dos quadrantes não sofreu influência da diversidade de substratos ($p= 0,123$; $F= 1,17$) e nem da composição de substratos ($p= 0,784$; $F= 0,92$) na micro escala. Com relação à composição de invertebrados da caverna (meso escala), apenas o modelo da meso escala foi significativo ($p= 0,012$; $R^2_{adj}= 0,21$; $F= 1,56$) (Fig. 4). Sozinhas, as variáveis da micro escala explicaram apenas 8% da variância na composição da comunidade de invertebrados da caverna ($p= 0,083$; $F= 1,38$), e a macro escala, 11% ($p= 0,062$; $F= 1,36$) (Fig. 4). Não houve estrutura espacial na comunidade de invertebrados ($p= 0,053$; $F= 1,39$) (Fig. 4), e 63% da variância na composição (resíduos) não foram explicados pelo conjunto dos quatro modelos (escalas micro, meso e macro, e estrutura espacial) (Fig. 4). A composição de morcegos, por sua vez, não sofreu influência da meso ($p= 0,544$; $F= 0,97$) nem da macro escala ($p= 0,498$; $F= 0,99$), e também não apresentou estrutura espacial ($p= 0,680$; $F= 0,83$) (Fig. 5). O modelo da meso escala respondeu por 4% da variância da composição de morcegos e o da estrutura espacial, por apenas 2% (Fig. 5). A macro escala não teve participação na variância, e 71% permaneceram inexplicados pelos modelos (Fig. 5). Tanto no caso dos morcegos como dos invertebrados, a interação entre os fatores ambientais e a estrutura espacial foi insignificante.

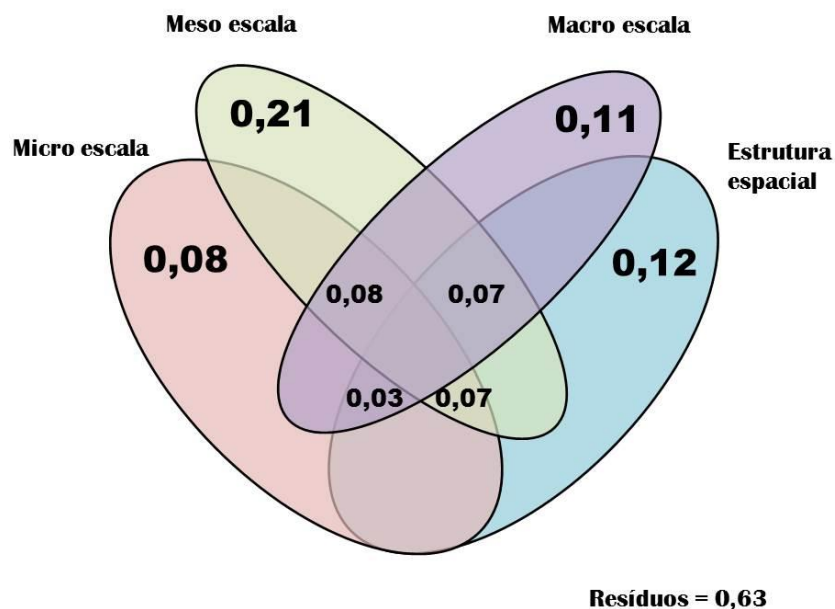


Figura 4. Partição de variância (RDA) da composição de invertebrados. Valores mostrados representam o coeficiente de determinação (R^2) ajustado. Valores inferiores a zero foram omitidos. A interseção entre os quatro componentes mostra a interação entre eles.

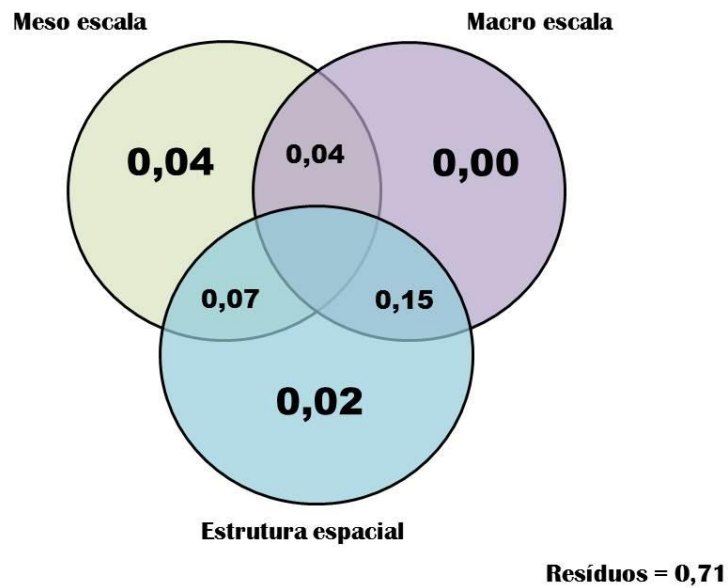


Figura 5. Partição de variância (RDA) da composição de morcegos. Valores mostrados representam o coeficiente de determinação (R^2) ajustado. Valores inferiores a zero foram omitidos. A interseção entre os quatro componentes mostra a interação entre eles.

Tanto para invertebrados ($p < 0,001$; $R = 0,77$; $R^2_{adj} = 0,59$) (Fig. 6A) quanto para morcegos ($P < 0,001$; $R = 0,89$; $R^2_{adj} = 0,76$) (Fig. 6B) existe uma relação positiva entre a abundância das espécies e sua distribuição entre cavernas. A diversidade beta, para ambos os grupos, é determinada por substituição de espécies, mas é significativamente menor do que o esperado ao acaso (Tab. 3).

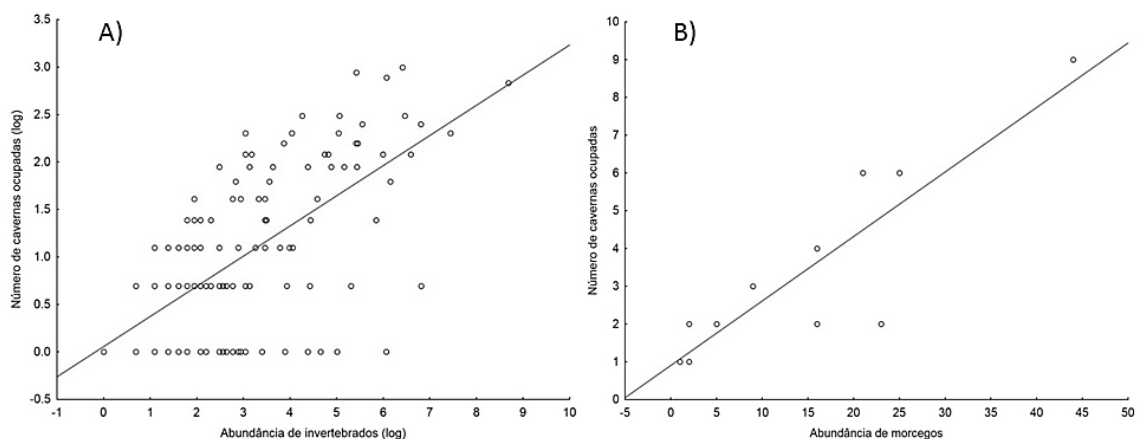


Figura 6. A) Influência da abundância absoluta total de invertebrados, por espécie, sobre sua ocorrência nas cavernas. Valores em escala logarítmica. B) Influência da abundância absoluta total de morcegos, por espécie, sobre sua ocorrência nas cavernas.

Tabela 3. Valores da diversidade beta total entre todas as cavernas amostradas (β_{sor}), e da sua partição em puro *turnover* (β_{sim}) e puro aninhamento (β_{nes}), para invertebrados e para morcegos. São apresentados também os valores de p e dos desvios padrão de distância dos valores observados em relação ao modelo nulo (DPs).

	β_{sor}	β_{sim}	β_{nes}	p	DPs
Invertebrados	0,920	0,870	0,040	0,001	-6,318
Morcegos	0,900	0,830	0,060	0,007	-1,750

Discussão

Influência das escalas espaciais sobre a estrutura e composição da fauna

Nossa hipótese inicial de que a resposta dos organismos cavernícolas seria dependente da sua escala de percepção do ambiente (portanto da sua área de vida e capacidade de dispersão) foi parcialmente suportada. A riqueza de invertebrados é dependente de fatores intrínsecos das cavidades (micro e meso escala), enquanto a riqueza de morcegos não teve relação com nenhuma das variáveis nas escalas testadas. A composição de invertebrados é determinada pela meso escala, enquanto a composição de morcegos não foi influenciada por nenhuma das escalas, e também não apresentou estrutura espacial.

Considerando que grande parte dos invertebrados encontrados na nossa amostragem tinham até 5 mm de tamanho corporal (Diptera, Acari, Collembola, a maioria dos Coleoptera e dos aracnídeos), com alguns poucos excedendo 10 mm (alguns poucos Coleoptera, algumas aranhas e opiliões, miriápodes e lepidópteros), é natural pensar que os fatores mais importantes para determinar sua ocorrência em um local estejam presentes na escala em que eles percebem o ambiente. Em geral, organismos menores também têm uma menor capacidade de dispersão e menor área de vida (McNab 1963; Reiss et al. 1988; Gaston & Blackburn 1996; Biedermann 2003), portanto sua ocorrência é restrita por fatores locais, o que nós denominamos aqui de micro-escala. Conforme o esperado, o aumento na diversidade de recursos dos quadrantes (micro escala) e da caverna (meso escala) levou a um aumento na riqueza de invertebrados. Um aumento na diversidade de recursos possibilita a coexistência de espécies com nichos tróficos mais diversos e o estabelecimento de teias alimentares mais complexas, refletindo na maior riqueza observada.

A relação entre o tamanho corporal e capacidade de dispersão (McNab 1963; Reiss et al. 1988; Gaston & Blackburn 1996; Biedermann 2003) também explica a

relação entre a composição de substratos na meso escala e a riqueza de invertebrados. Cavernas com maiores valores de composição de substrato (valores obtidos do primeiro eixo da PCA para as diversas classes granulométricas encontradas nas cavidades) significam maiores percentuais de rocha matriz rugosa e menores percentuais de argila e blocos (Fig. S3). Classes granulométricas mais refinadas (argila, areia, cascalho e blocos) criam pequenas frestas, reentrâncias, buracos e micro-cavidades que possivelmente representam muito mais possibilidades de micro-habitats e micro-climas para pequenos invertebrados do que classes granulométricas mais grosseiras (rocha matriz e matacões). Do ponto de vista de um invertebrado milimétrico, as classes granulométricas mais grosseiras devem atuar como uma superfície homogênea, tal como já foi proposto para gradientes de superfície na vegetação (Morse et al. 1985). Portanto, é natural que cavernas com menores valores de composição de substratos na meso escala sejam mais ricas. Curiosamente, essa relação entre composição de substrato e riqueza não foi verificada na micro escala. É possível que em escalas espaciais muito restritas, como é o caso dos quadrantes, a capacidade de dispersão dos invertebrados seja suficiente para que eles transponham os diversos tipos de substratos sem restrições, de forma que a composição de substratos não influencie na riqueza.

Nenhum dos índices utilizados, IEA e ICE, teve relação com a riqueza de invertebrados e morcegos na meso escala. Entretanto, o efeito da projeção horizontal sobre a riqueza foi mascarado pelo Índice de Estabilidade Ambiental, que leva em conta também o número e posição das entradas. A relação entre o tamanho das cavernas e a riqueza da fauna já foi bem reportada em outros estudos (Brunet & Mendellín 2001; Christman & Culver 2001; Culver & Pipan 2009; Souza-Silva et al. 2011; Simões et al. 2015) e, se considerarmos cavernas como ambientes isolados para certos grupos de invertebrados, é também uma predição esperada pela Teoria da Biogeografia de Ilhas (MacArthur & Wilson 1967; Culver 1970). Outras características particulares de cada caverna, como presença de corpos d'água ou de recursos específicos, podem ter sido igualmente mascaradas quando as variáveis foram sumarizadas pela PCA. Com relação ao ICE, é possível que um aumento na complexidade estrutural da caverna não necessariamente se reflita em maior quantidade de habitats disponíveis para os invertebrados. Como as cavernas em formações ferríferas já são caracterizadas naturalmente por um grande número de canalículos, que elevam exponencialmente os micro habitats disponíveis (Ferreira 2005), a presença de um maior número de galerias pode não fazer diferença, principalmente sob a ótica dos invertebrados, que

supostamente exploram o ambiente numa escala muito mais restrita (McNab 1963; Morse et al. 1985; Reiss et al. 1988; Gaston & Blackburn 1996; Biedermann 2003). Sendo assim, para os invertebrados a presença de classes granulométricas mais refinadas e a diversidade de recursos parece ser mais importante do que o grau de compartimentalização da caverna.

Como era esperado, as variáveis da macro escala não influenciaram a riqueza de invertebrados. Como as cavernas ferruginosas geralmente estão situadas nos platôs de canga ou na formação ferrífera bandada, que são mais elevados em relação ao restante da paisagem (Piló et al. 2015), mudanças na matriz do entorno, tanto representadas pela ação humana quanto por gradientes naturais de vegetação, não devem influenciar o tipo e aporte de recursos para o interior das cavernas, já que estes geralmente são carreados pela água ou pelo vento e depositados em regiões mais baixas do terreno (Julien 2010). Sabe-se que raízes oriundas da vegetação externa são um dos principais recursos existentes nas cavernas ferruginosas (Ferreira 2005; Bichuette et al. 2015; Ferreira 2015). Entretanto, as raízes são, em sua maioria, provenientes da vegetação imediatamente acima e no entorno das cavernas (Ferreira 2005; Ferreira 2015) que, no caso da área de estudo, esteve bem preservada (Tab. S5). Também não há motivos para supor que a matriz influencie as classes granulométricas ou características dos micro-habitats das cavernas. Talvez as alterações na paisagem e o tipo de vegetação circundante se reflitam em mudanças no microclima das cavernas (luz, umidade, temperatura). Entretanto, o microclima das cavernas também parece não afetar a comunidade de invertebrados, já que o Índice de Estabilidade Ambiental não teve relação com a riqueza. Isso foi inesperado, uma vez que vários estudos mostram relação entre a temperatura, estabilidade ambiental e características físico-químicas do habitat com a estrutura e composição da comunidade de invertebrados e morcegos (Lewis 1995; Rodríguez-Durán & Soto-Centeno 2003; Avila-Flores & Medellín 2004; Ferreira 2004; Taylor & Ferreira 2012; Santos 2012; Silva 2013; Simões et al. 2015; Bento et al. 2016; Pellegrini & Ferreira 2016). Alternativamente, é possível que outros fatores não medidos na macro escala, como características mais refinadas da matriz de vegetação e sua configuração espacial, estejam influenciando o pool de espécies potencialmente colonizadoras das cavernas e conseqüentemente a riqueza e composição da fauna hipógea.

A ausência de relação entre a riqueza de morcegos e qualquer uma das características observadas na meso e macro escala sugere uma ocupação oportunista das

cavernas. Apesar de algumas cavidades apresentarem depósitos de guano estabelecidos, nossos resultados demonstram que aparentemente não há preferências pela escolha do abrigo. Diferente da maioria dos invertebrados, os morcegos fogem à regra da relação entre tamanho corporal e capacidade de dispersão, uma vez que, apesar do seu porte reduzido (a grande maioria não pesa mais que 50 g, com algumas poucas espécies ultrapassando 100 g) eles têm uma grande capacidade de dispersão devido à sua habilidade de voo (Altringham 2011; Bernard & Fenton 2003). Sendo assim, é possível que a escala em que os morcegos percebem a paisagem seja bem mais ampla do que o maior buffer medido, que tinha um raio de 1000 m e aproximadamente 314 hectares de área. Estudos com rádio telemetria e captura-recaptura mostram que a área de vida de morcegos neotropicais pode atingir mais de 800 hectares, e que eles podem se deslocar mais de 3 km em uma única noite (Bernard & Fenton 2003; Aguiar et al. 2014). Isso permite que os morcegos transponham com facilidade as barreiras geográficas do terreno e se desloquem pela matriz sem restrições, independente das suas características (Bernard & Fenton 2003; Aguiar et al. 2014). Aliado a isto está a grande disponibilidade de abrigos nos geossistemas ferruginosos, caracterizados por rochas porosas com muitas reentrâncias, fendas, buracos e pequenas cavernas, oferecendo uma miríade de possíveis locais para o estabelecimento de colônias e para o repouso noturno (Gomes et al. 2015). Isso pode contribuir para uma baixa fidelidade aos abrigos ou mesmo uma ocupação estocástica das cavidades, de forma que a riqueza não esteja relacionada aos parâmetros avaliados. Outra possibilidade é que, como a região estudada ainda tem grandes porções de vegetação nativa bem preservada (Tab. S5), a variação do uso e cobertura do solo dentro dos buffers medidos não foi suficiente para gerar variações significativas na riqueza de morcegos. De fato, o percentual médio de vegetação nativa no buffer de 1000 m foi de $89 \pm 2,46\%$, enquanto a heterogeneidade da paisagem teve uma média de $0,7 \pm 0,07$. A riqueza de morcegos também não foi explicada pela estabilidade ambiental das cavernas nem pela sua complexidade estrutural. Esses resultados contradizem alguns estudos que afirmam que a seletividade por abrigos deve ser dependente da densidade de cavernas, da sua inserção na paisagem, das características do entorno, das suas dimensões e microclima (Trajano 1985; Lewis 1995; Bredt et al. 1999; Brunet & Mendellín 2001; Rodríguez-Durán & Soto-Centeno 2003; Avila-Flores & Medellín 2004; Ferreira 2005; Santos 2012; Gomes et al. 2013; Silva 2013).

A composição da fauna de morcegos também não respondeu às variáveis testadas em nenhuma das escalas, e também não apresentou estrutura espacial. Aliado ao padrão já descrito para a riqueza, estes resultados sugerem uma fraca pressão seletiva sobre os morcegos nas escalas avaliadas, pelo menos no que concerne à escolha e ocupação dos abrigos. Isto pode ser resultado de um nicho homogêneo para os morcegos, tanto entre as cavernas quanto na paisagem do entorno. Na ausência de seleção, as comunidades são estruturadas por processos neutros, caracterizados por flutuações populacionais estocásticas resultantes de eventos de dispersão, extinção e especiação (Hubbell 2001; Vellend 2010). É possível que *trade-offs* para a ocupação de cavernas por morcegos sejam encontrados em escalas espaciais muito maiores, entre ecossistemas ou biomas distintos, onde diferenças geográficas mais marcantes de relevo, clima e fitofisionomias sejam restritivas para a ocorrência de algumas espécies e necessárias para outras. A composição da comunidade de invertebrados, por outro lado, é influenciada pela meso escala. Provavelmente, as características das cavernas devem atuar como filtros ambientais para a fauna em função de variações no tipo e disponibilidade de recursos e abrigos, selecionando as espécies mais aptas à sobrevivência em cada condição ambiental específica. Ao contrário dos morcegos, para os invertebrados deve haver uma diferenciação de nicho mais forte com base nas características das cavernas, que impõem *trade-offs* para a ocupação e estabelecimento das espécies em função das suas particularidades biológicas e atributos funcionais.

A ausência de estrutura espacial nas comunidades de invertebrados e morcegos mostra que não existe uma relação entre a distância entre as cavernas e a similaridade da fauna. Isso indica que cavernas distantes compartilham mais espécies do que o esperado inicialmente (pelo menos no caso dos invertebrados), o que pode ser evidência de uma alta dispersão entre as cavernas, que estariam atuando como metacomunidades (Leibold et al. 2004). Essa ideia também é suportada pela relação entre a abundância das espécies e sua ocorrência nas cavernas, e pela baixa diversidade beta encontrada. De acordo com a hipótese de amplitude de nicho (Brown 1984), quanto mais bem sucedida for uma espécie num dado local, mais abundante ela será e maior será sua distribuição geográfica. Entretanto, nota-se que muitas espécies, principalmente no caso dos invertebrados, não acompanham a relação, apresentando uma distribuição (em termos do número de cavernas ocupadas) menor do que seria esperado para sua abundância. Isso pode ser decorrente de limitações para dispersão dessas espécies e/ou restrição ao meio cavernícola. A baixa diversidade beta, por sua vez, sugere uma homogeneização

da fauna entre cavernas, causada provavelmente pela ampla dispersão entre elas (Loreau 2000).

É bem provável que a alta riqueza (mais de 25 morfoespécies de Diptera, Hymenoptera e Coleoptera) e abundância (mais de 500 indivíduos de Diptera, Isoptera, Hymenoptera, Lepidoptera e Neuroptera) de insetos alados presentes na amostragem também tenham contribuído para a ausência de estrutura espacial na comunidade de invertebrados, tendo em vista o seu maior potencial de dispersão em relação a outros grupos de artrópodes (Danthanarayana 1986; Brusca & Brusca 2007). Outros grupos com grande representatividade na nossa amostragem, ainda que não sejam alados, podem apresentar amplo potencial dispersivo, como algumas aranhas e ácaros, muitos dos quais podem se dispersar por foresia ou mesmo pelo vento (Binns 1982; Bell et al. 2005).

Apesar de trazerem novas perspectivas para o entendimento dos processos estruturadores das comunidades cavernícolas, nossas conclusões estão sujeitas às limitações do tamanho amostral e dos métodos utilizados nas análises dos dados. Ainda que a partição de variância seja adequada para distinguir entre o efeito de variáveis ambientais e limitações de dispersão sobre a composição das comunidades, padrões mais complexos podem emergir como resultado da interação entre processos neutros e determinísticos. Isso ocorre, por exemplo, quando as próprias variáveis ambientais são espacialmente estruturadas e quando fatores ambientais não avaliados influenciam a estrutura espacial da comunidade (Gilbert & Bennet 2010; Smith & Lundholm 2010). Nesse caso, a PCNM pode subestimar a contribuição do controle ambiental e superestimar a contribuição da estrutura espacial (Gilbert & Bennet 2010). A compreensão dos fenômenos envolvidos se torna ainda mais complexa quando consideramos que a maior parte da variância da composição, tanto de morcegos quanto de invertebrados, permaneceu inexplicada pelos modelos, o que provavelmente se deve a fatores ambientais importantes que foram ignorados pelo estudo.

Implicações para a conservação

Nossos resultados podem ser extremamente úteis para a conservação e manejo de cavernas em ecossistemas ferruginosos. Como já foi bem reportado na literatura, as cavernas ferruginosas apresentam uma forte tendência ao aumento da riqueza de invertebrados com pequenos incrementos na projeção horizontal, possivelmente em razão do grande número de canalículos (Souza-Silva et al. 2011; Oliveira 2014; Ferreira

et al. 2015). Além disso, são frequentes os endemismos de espécies troglóbias (Ferreira 2005; Coelho et al. 2010; Andrade 2010; Oliveira et al. 2013; Mascarenhas 2013; Prous 2013; Bichuette et al. 2015; Ferreira 2015). Neste estudo, encontramos oito espécies troglomórficas, todas elas novas para a ciência e até agora restritas para a região do Vale do Rio Peixe Bravo. Três das cavernas estudadas abrigam populações de troglóbios endêmicos (i.e., presentes em uma única caverna), sete cavernas abrigam troglóbios raros (i.e., presentes em até três cavernas) (Tab. S3) e seis cavernas abrigam populações de morcegos ameaçados de extinção (Tab. S4). Esses dados reforçam a urgência na realização de estudos e na elaboração de iniciativas que visem a conservação dos ecossistemas ferruginosos, tendo em vista a presença de linhagens evolutivas únicas e de espécies ameaçadas de extinção. Algumas destas espécies podem ter papéis fundamentais na provisão de serviços ecossistêmicos para a região, como os morcegos frugívoros, nectarívoros e insetívoros (Kunz et al. 2011; Boyles et al. 2011). Além do contexto biológico, as cavernas do Vale do Rio Peixe Bravo contém um rico registro histórico, arqueológico e paleontológico ainda pouco estudado (Carmo et al. 2015), o que coloca 14 das 21 cavernas estudadas na categoria de relevância máxima, de acordo com a legislação vigente (Tab. S6) (Brasil 2008).

Sendo assim, a título de conservação da fauna de invertebrados, sugerimos que o entorno imediato das cavidades ferruginosas (a contar pela sua planta baixa), principalmente a vegetação localizada logo acima da caverna, seja integralmente protegido, de forma a manter constante o aporte de recursos e evitar a perturbação da granulometria e dos micro habitats das cavernas. Além disso, qualquer forma de uso das cavernas deve evitar a perturbação dos substratos. Se houver algum tipo de uso constante, como turismo, sugerimos a construção de passarelas elevadas com a mínima alteração dos substratos e recursos originalmente presentes na caverna. Por fim, e talvez o aspecto mais importante, é a manutenção da conectividade subterrânea entre cavernas. É possível que, para os organismos mais dependentes do meio cavernícola (troglófilos e troglóbios) os canalículos representem os maiores corredores de dispersão. Sendo assim, é fundamental que os platôs de canga e afloramentos de minérios de ferro onde as cavernas estão inseridas tenham sua integridade física garantida, preservando a conectividade geológica entre cavernas.

Outro ponto a ser discutido é: se a composição de morcegos cavernícolas não sofre influência de nenhuma das escalas espaciais, qual deve ser a política de conservação para cavernas ferruginosas? O raio de proteção de 250 metros estabelecido

pela legislação brasileira (Brasil 2004) se mostrou inadequado de acordo com nosso estudo, pelo menos para litologias ferruginosas, já que tanto a riqueza quanto a composição da quiropterofauna parecem não depender da paisagem do entorno. Se não é possível prever a composição de morcegos com base nas características das cavernas e da paisagem no entorno, é necessária a conservação de um grupo de cavernas que representem o maior conjunto regional de espécies, ainda que as cavernas individualmente não sejam as mais ricas. Este deve ser o fator mais importante a ser considerado no planejamento de unidades de conservação que visem a proteção da quiropterofauna cavernícola em sistemas ferruginosos. É importante ainda que os Estudos de Impacto Ambiental (EIAs) e programas de monitoramento voltados para morcegos tenham maior duração em litologias ferruginosas (no mínimo dois ciclos de seca e chuva) e sejam feitos com maior frequência. Como a composição de espécies parece ser imprevisível, é essencial que estudos mais detalhados sejam feitos de forma a determinar com maior segurança as espécies potencialmente habitantes das cavernas.

Conclusões e perspectivas futuras

A maioria dos estudos a respeito da fauna cavernícola tradicionalmente busca por fatores determinísticos para explicar a estrutura e composição das comunidades (Ferreira 2004; Prous et al. 2004, 2005; Souza-Silva et al. 2011,2013; Pellegrini & Ferreira 2011, 2012; Brescovit et al. 2012; Iniesta et al. 2012; Iniesta & Ferreira 2013, Souza & Ferreira 2012; Souza & Ferreira 2013; Hoch & Ferreira 2012; Bernardi et al. 2014; Souza-Silva & Ferreira 2014; Oliveira & Ferreira 2014; Simões et al. 2015). Os resultados aqui apresentadas ainda são incipientes e pioneiros no que diz respeito ao estudo do efeito de diferentes escalas espaciais sobre a fauna cavernícola, e até agora limitam-se ao sistema ferruginoso em questão. Entretanto, eles sugerem que as dinâmicas de dispersão, colonização e extinção nas cavernas podem ter um papel fundamental na estruturação das comunidades, por vezes mais importante do que o controle ambiental estabelecido pelas características do hábitat epígeo e hipógeo. Estas conclusões lançam luz para futuras investigações e trazem consequências para o manejo e conservação das cavernas ferruginosas.

Primeiramente, nossas análises foram baseadas na riqueza, abundância e composição de espécies em cada caverna, uma abordagem taxonômica tradicional. Contudo, alguns padrões podem emergir apenas quando considerada a estrutura funcional dos ecossistemas (Tilman et al. 1997). Uma questão essencial é entender se há

uma manutenção da diversidade funcional entre as cavernas, apesar da substituição de espécies. Se isso proceder, a perda de espécies por processos quaisquer (extinções estocásticas, interações bióticas como competição e predação, ação antrópica) não necessariamente se refletiria num empobrecimento do ecossistema cavernícola. Considerando que a riqueza de invertebrados é influenciada por características da micro e meso escala, é possível que exista um limiar de saturação da riqueza para cada caverna (Loreau 2000), e é bem provável que os atributos funcionais das espécies sejam importantes para determiná-lo. Isso tem importância direta para a conservação, já que a legislação vigente prioriza a conservação de cavernas mais ricas (Brasil 2008, 2009).

Outro ponto interessante a ser investigado é: será que o padrão encontrado por nós nas cavernas ferruginosas é universal ou ele muda quando considerados apenas os organismos estritamente cavernícolas (troglóbios), cuja capacidade de dispersão tende a ser mais reduzida, enquanto seu grau de dependência das cavidades é máximo? Este padrão é exclusivo dos ecossistemas ferruginosos ou é recorrente em qualquer sistema cárstico?

Experimentos manipulativos e empíricos seriam de grande valia para testar o quanto das diferenças na composição das comunidades cavernícolas pode ser atribuído ao controle ambiental (seleção natural) e o quanto é determinada ao acaso por processos neutros (deriva ecológica, dispersão e especiação). Pesquisas nessa linha são de suma importância, já que a maior parte da variância na composição das comunidades (63% no caso dos invertebrados e 71% no caso dos morcegos) permaneceu inexplicada pelos modelos. Para um melhor entendimento da importância dos processos neutros sobre a estruturação das comunidades cavernícolas, é importante também avaliar experimentalmente a capacidade de dispersão dos invertebrados e seu grau de dependência com relação ao meio subterrâneo (canalículos, micro e meso cavidades) para dispersão. Isso ajudaria a responder uma outra pergunta: qual é a importância da conectividade subterrânea entre cavernas para a manutenção das comunidades biológicas? Por fim, todos estes questionamentos devem ajudar no entendimento de uma questão ecológica mais abrangente: em quais escalas os processos neutros e o controle ambiental são mais importantes? Encorajamos pesquisadores da área a investigar estas questões e contribuir para o entendimento dos processos ecológicos estruturadores das comunidades cavernícolas e sua relação com diferentes escalas espaciais e temporais.

Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelas bolsas de mestrado concedidas aos dois primeiros autores, ao Ministério Público de Minas Gerais e ao Instituto Prístino, pelo financiamento da pesquisa, idealização do projeto e apoio logístico. Agradecemos à toda a equipe de campo (Jennifer Barros, Rafael Cardoso, Gabrielle Pacheco, Rodrigo Souza, Matheus Evaristo, Nilson Ferreira) pelo esforço dedicado à coleta dos dados, e ao Cássio Alencar Nunes pelas valiosas sugestões. Agradecemos ao Ministério do Meio Ambiente e ao ICMBio pelas licenças de coleta concedidas. Por fim, somos gratos ao Rafael Cardoso pelo auxílio na confecção do mapa da Figura 1, e ao Arleu Viana pelo auxílio nas análises estatísticas.

Bibliografia

- Aguiar, L.M.S.; Bernard, E. & Machado, R.B. 2014. Habitat use and movements of *Glossophaga soricina* and *Lonchophylla dekeyseri* (Chiroptera: Phyllostomidae) in a Neotropical savannah. *Zoologia* 31 (3): 223–229.
- Altringham, J.D. 2011. Bats: from evolution to conservation. 2° ed. Oxford University Press. 324 p.
- Avila-Flores, R. & Medellín, R.A. 2004. Ecological, taxonomic, and physiological correlates of cave use by Mexican bats. *Journal of Mammalogy* 85(4): 675–687.
- Barton, P.S.; Cunningham, S.A.; Manning, A.D.; Gibb, H.; Lindenmayer, D.B. & Didham, R.K. 2013. The spatial scaling of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography* 22: 639–647.
- Baselga, A. 2010. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography* 19: 134–143.
- Bell, J.R.; Bohan, D.A.; Shaw, E.M. & Weyman, G.S. 2005. Ballooning dispersal using silk: world fauna, phylogenies, genetics and models. *Bulletin of Entomological Research* 95: 69–114.
- Bento, D.M.; Ferreira, R.L.; Prous, X.; Souza-Silva, M.B.; Bellini, C.; Vasconcellos, A. 2016. Seasonal variations in cave invertebrate communities in the semiarid Caatinga, Brazil. *Journal of Cave and Karst Studies* 78: 61–71.
- Bernard, E. & Fenton, M.B. 2003. Bat Mobility and Roosts in a Fragmented Landscape in Central Amazonia, Brazil. *Biotropica* 35(2): 262-277.

- Bernardi, L.F.O., Klompen, H. & Ferreira, R.L. 2014. *Neocarus caipora*, a new mite species (Parasitiformes: Opilioacarida: Opilioacaridae) from Brazilian Amazon caves. *Acarologia* 54: 47-56.
- Bichuette, M.E.; Fonseca-Ferreira, R. & Gallão, J.E. 2015. Biota subterrânea associada às cavernas em formações ferríferas. In: Ruchkys, U.A.; Travassos, L.E.P.; Rasteiro, M.A. & Faria, L.E. Patrimônio Espeleológico em Rochas Ferruginosas. Propostas para sua conservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Sociedade Brasileira de Espeleologia. Campinas, SP. 341 p.
- Biedermann, R. 2003. Body size and area-incidence relationships: is there a general pattern?. *Global Ecology & Biogeography* 12: 381–387.
- Binns, E.S. 1982. Phoresy as migration - some functional aspects of phoresy in mites. *Biological Reviews* 57: 571-620.
- Borcard, D. & Legendre, P. 2002. All-scale spatial analysis of ecological data by means of principal coordinates of neighbour matrices. *Ecological Modelling* 153: 51–68.
- Borcard, D.; Legendre, P.; Avois-Jacquet, C. & Tuomisto, H. 2004. Dissecting the spatial structure of ecological data at multiple scales. *Ecology* 85(7): 1826–1832.
- Boyles, J.G.; Cryan, P.M.; McCracken, G.F. & Kunz, T.H. 2011. Economic Importance of Bats in Agriculture. *Science* 332: 41-42.
- Brasil 2004. Resolução nº 347 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=452>. Acesso em 08/02/2017.
- Brasil 2008. Decreto nº 6640. 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 a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm.
- Brasil 2009. Instrução Normativa nº 2. Ministério do Meio Ambiente. Institui a metodologia de classificação do grau de relevância de cavidades naturais subterrâneas. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/IN%2002_MMA_criterios_2108_09.pdf.

- Bredt, A.; Uieda, W. & Magalhães, E.D. 1999. Morcegos cavernícolas da região do Distrito Federal, centro-oeste do Brasil (Mammalia, Chiroptera). *Revista Brasileira de Zoologia* 16(3): 731-770.
- Brescovit, A.D., Ferreira, R.L., Souza-Silva, M. & Rheims, C. 2012. Brasilomma gen. nov., a new prodidomid genus from Brazil (Araneae, Prodidomidae). *Zootaxa* 3572: 23-32.
- Brown, J.H. 1984. On the Relationship between Abundance and Distribution of Species. *The American Naturalist* 124 (2): 255-279.
- Brunet, A.K. & Medellín, R.A. 2001. The species-area relationship in bat assemblages of tropical caves. *Journal of Mammalogy* 82(4): 1114-1122.
- Brusca, R.C. & Brusca, G.J. 2007. Invertebrados. 2ª ed. Guanabara Koogan Editora. Rio de Janeiro, RJ. 968 p.
- Carmo, F.F. 2012. Novo Polo para Conservação em Geossistema Ferruginoso na Região do Rio Peixe Bravo, Norte de Minas Gerais. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.
- Carmo, F.F.; Campos, I.C.; Carmo, F.F. & Junior, R.T. 2015. O Vale do Rio Peixe Bravo: área prioritária para a conservação dos geossistemas ferruginosos do norte de Minas Gerais. In: Carmo, F.F. & Kamino, L.H.Y. Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais. 3i Editora, Belo Horizonte. 552 p.
- Carmo, F.F.; Carmo, F.F.; Salgado, A.A.R. & Jacobi, C.M. 2011. Novo sítio espeleológico em sistemas ferruginosos, no Vale do Rio Peixe Bravo, norte de Minas Gerais, Brasil. *Espeleo-Tema* 22: 25-39.
- CECAV (Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas) 2017. Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE). Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html>.
- Chave, J. 2013. The problem of pattern and scale in ecology: what have we learned in 20 years?. *Ecology Letters* 16: 4-16.
- Christman, M.C. & Culver, D.C. 2001. The relationship between cave biodiversity and available habitat. *Journal of Biogeography* 28: 367-380.
- Coelho, A., Piló, L.B., Auler, A. & Bessi, R. 2010. Espeleologia da área do projeto Apolo, Quadrilátero Ferrífero, MG. Carste Consultores Associados. 179 p.

- COPAM (Conselho Estadual de Política Ambiental) 2010. Lista das Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção no Estado de Minas Gerais. Diário do Executivo, Deliberação Normativa nº 147. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=13192>. Acesso em 03/02/2017.
- Crist, T.O.; Veech, J.A.; Gering, J.C. & Summerville, K.S. 2003. Partitioning Species Diversity across Landscapes and Regions: A Hierarchical Analysis of α , β , and γ Diversity. *The American Naturalist* 162(6): 734-743.
- Culver, D.C. 1970. Analysis of Simple Cave Communities I. Caves as Islands. *Evolution* 24 (2): 463-474.
- Culver, D.C. & Pipan, T. 2009. The Biology of Caves and Other Subterranean Habitats. Oxford University Press. 273 p.
- Danthanarayana, W. 1986. Insect Flight: Dispersal and Migration. Springer-Verlag. 289 p.
- Ferreira, R.L. 2004. A medida da complexidade biológica e suas aplicações na Conservação e Manejo de sistemas subterrâneos. 161p. Tese de doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre - Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte.
- Ferreira, R.L. 2005. A vida subterrânea nos campos ferruginosos. *O Carste* 3(17): 106-115.
- Ferreira, R.L.; Oliveira, M.P.A. & Silva, M.S. 2015. Biodiversidade subterrânea em geossistemas ferruginosos. In: Carmo, F.F. & Kamino, L.H.Y. Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais. 3i Editora, 552 p.
- Gaston, K.J. & Blackburn, T.M. 1996. Range size-body size relationships: evidence of scale dependence. *Oikos* 75: 479-485.
- Gilbert, B. & Bennet, J.R. 2010. Partitioning variation in ecological communities: do the numbers add up?. *Journal of Applied Ecology* 47: 1071-1082.
- Gomes, A.M.; Araujo, A.V.; Falcão, L.A.D.; Rodrigues, M.S.P.; Carmo, F.F. & Paglia, A.P. 2013. Seleção de cavernas ferruginosas como abrigo por morcegos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Anais do 32º Congresso Brasileiro de Espeleologia*, Barreiras, BA. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais32cbe/32cbe_131-136.pdf. Acesso em 09/02/2017.

- Gomes, A.M.; Silva, L.H.D. & Tavares, V.C. 2015. Morcegos associados a ecossistemas ferruginosos de Minas Gerais. In: Carmo, F.F. & Kamino, L.H.Y. Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais. 3i Editora, 552 p.
- Haskell, J.P.; Ritchie, M.E. & Olf, H. 2002. Fractal geometry predicts varying body size scaling relationships for mammal and bird home ranges. *Nature* 418: 527 – 530.
- 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: 201-206.
- Hubbell, S.P. 2001. The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography. Princeton University Press. 375 p.
- Iniesta, L.F.M. & Ferreira, R.L. 2013. Two new species of Pseudonannolene Silvestri, 1895 from Brazilian iron ore caves (Spirostreptida: Pseudonannolenidae). *Zootaxa* 3716: 75-80.
- Iniesta, L.F.M., Ferreira, R.L. & Wesener, T. 2012. The first troglobitic Glomeridesmus from Brazil, and a template for a modern taxonomic description of Glomeridesmida (Diplopoda). *Zootaxa* 3550: 26-42.
- IUCN (International Union for the Conservation of Nature) 2017. The IUCN Red List of threatened species. Disponível em: <http://www.iucnredlist.org/>. Acesso em: 03/02/2017.
- Juliano, S.A. 1983. Body size, dispersal ability, and range size in North American species of *Brachinus* (Coleoptera: Carabidae). *The Coleopterists Bulletin* 37(3): 232-238.
- Julien, P.Y. 2010. Erosion and Sedimentation. 2° ed. Cambridge University Press. 390 p.
- Kunz, T.H.; Torrez, E.B.; Bauer, D.; Lobova, T. & Fleming, T.H. 2011. Ecosystem services provided by bats. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1223: 1-38.
- Legendre, P. & Legendre, L.L. 2012. Numerical Ecology. 3° ed. Elsevier Editora. 1006 p.
- Legendre, P.; Borcard, D. & Peres-Neto, P.R. 2005. Analyzing beta diversity: partitioning the spatial variation of community composition data. *Ecological Monographs* 75(4): 435–450.

- Leibold, M.A.; Holyoak, M.; Mouquet, N.; Amarasekare, P.; Chase, J.M.; Hoopes, M.F.; Holt, R.D.; Shurin, J.B.; Law, R.; Tilman, D.; Loreau, M. & Gonzalez, A. 2004. The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. *Ecology Letters* 7: 601–613.
- Levin, S.A. 1992. The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology* 73: 1943–1967.
- Lewis, S.E. 1995. Roost fidelity of bats: a review. *Journal of Mammalogy* 76 (2): 481-496.
- Loreau, M. 2000. Are communities saturated? On the relationship between α , β , and γ diversity. *Ecology letters* 3: 73-76.
- MacArthur, R.H. & Wilson, E.O. 1967. The Theory of Island Biogeography. Princeton University Press. 224 p.
- Magurran, A.E. & McGill, B.J. 2011. Biological Diversity: Frontiers in Measurement and Assessment. Oxford University Press. 368 p.
- Mascarenhas, J. 2013. Bioespeleologia. In. Carste. Diagnóstico espeleológico e análise de relevância das cavidades do projeto Várzea do Lopes, Itabirito, MG. Belo Horizonte. 235p.
- McNab, B.K. 1963. Bioenergetics and the determination of home range size. *The American Naturalist* 97 (894): 133-140.
- MMA (Ministério do Meio Ambiente) 2014. Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção. Diário Oficial da União, portaria nº 444. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/biodiversidade/fauna-brasileira/avaliacao-do-risco/PORTARIA_N%C2%BA_444_DE_17_DE_DEZEMBRO_DE_2014.pdf. Acesso em 03/02/2017.
- Morris, D.W. 1987. Ecological Scale and Habitat Use. *Ecology* 68(2): 362-369.
- Morse, D.R.; Lawton, J.H.; Dodson, M.M. & Williamson, M.H. 1985. Fractal dimension of vegetation and the distribution of arthropod body lengths. *Nature* 314: 731-733.
- Oliveira, M. P. A. & Ferreira, R. L. 2014. Aspects of the behavior and activity rhythms of *Rowlandius potiguar* (Schizomida: Hubbardiidae). *PlosOne* 9(3): 1-9.
- Oliveira, M.P.A.; Mescolotti, M.B. & Silva, T.G. 2013. Diagnóstico Bioespeleológico. Projeto Brumafer – Diagnóstico Geoespeleológico, Bioespeleológico e Análise de Relevância. Belo Horizonte. 312p.

- Oliveira, M.P.A. 2014. Os métodos de coleta em cavernas são eficientes para a amostragem da fauna subterrânea?. 85p. Dissertação de Mestrado em Ecologia Aplicada, Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras.
- Patefield, W.M. 1981. Algorithm AS159. An efficient method of generating $r \times c$ tables with given row and column totals. *Applied Statistics* 30: 91–97.
- 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. EPA/620/R-06/003. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, D.C.
- Pellegrini, T.G. & Ferreira, R.L. 2011. *Coarazuphium tapiaguassu* (Coleoptera: Carabidae: Zuphiini), a new Brazilian troglobitic beetle, with ultrastructural analysis and ecological considerations. *Zootaxa* 3116: 47-58.
- Pellegrini, T.G. & Ferreira, R.L. 2012. Management in a neotropical show cave: planning for invertebrates conservation. *International Journal of Speleology* 41: 359-366.
- Pellegrini, T.G. & Ferreira, R.L. 2016. Are inner cave communities more stable than entrance communities in Lapa Nova show cave?. *Subterranean Biology* 20: 15–37.
- Pellegrini, T.G.; Sales, L.P.; Aguiar, P. & Ferreira, R.L. 2016. Linking spatial scale dependence of land-use descriptors and invertebrate cave community composition. *Subterranean Biology* 18: 17–38.
- Peres-Neto, P.R.; Legendre, P.; Dray, S. & Borcard, D. 2006. Variation partitioning of species data matrices: estimation and comparison of fractions. *Ecology* 87(10): 2614–2625.
- Piló, L.B.; Coelho, A. & Reino, J.C.R. 2015. Geoespeleologia em rochas ferríferas: cenário atual e conservação. In: Carmo, F.F. & Kamino, L.H.Y. Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais. 3i Editora, Belo Horizonte. 552 p.
- Pinheiro, R.B.P.; Félix, G.M.; Chaves, A.V.; Lacorte, G.A.; Santos, F.R.; Braga, E.M. & Mello, M.A.R. 2016. Trade-offs and resource breadth processes as drivers of performance and specificity in a host–parasite system: a new integrative hypothesis. *International Journal for Parasitology* 46: 115-121.

- Prous, X. 2013. Diagnóstico Bioespeleológico. In: Projeto Ferro Puro Ltda. DNPM 9.608/1942. 2013. Estudo Espeleológico, Paleontológico, Arqueológico e Análise de Relevância de 17 Cavernas inseridas na ADA e AID do Empreendimento. 588p.
- Prous, X.; Ferreira, R.L. & Martins, R.P. 2004. Ecotone delimitation: epigeal hypogean transition in cave ecosystems. *Austral Ecology* 29: 374-382.
- Reiss, M. 1988. Scaling of home range size: body size, metabolic needs and ecology. *Trends in Ecology and Evolution* 3(3): 85-86.
- Rodríguez-Durán, A. & Soto-Centeno, J.A. 2003. Temperature selection by tropical bats roosting in caves. *Journal of Thermal Biology* 28: 465-468.
- Rubbioli, E. & Moura, V. 2005. Mapeamento de cavernas: guia prático. São Paulo, Redespeleo Brasil, 92 p.
- Santos, C.G.T. 2012. Ecologia de abrigos de morcegos neotropicais. Dissertação de mestrado em Zoologia de Vertebrados – PUC Minas.
- Schmidt-Nielsen, K. 2002. Fisiologia Animal: adaptação e meio ambiente. 5ª ed. Santos Editora. 620 p.
- SIAM (Sistema Integrado de Informação Ambiental) 2011. SIG para Mineração. Disponível em <http://www2.siam.mg.gov.br/webgis/mineracao/viewer.htm>. Consulta dia 15/08/2011.
- Silva, L.H.D. 2013. Caracterização da fauna de quirópteros (Chiroptera, Mammalia) em diferentes áreas na região cárstica de Minas Gerais - Brasil. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal). Universidade Feral de Viçosa, Minas Gerais, Brasil.
- 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.
- Smith, T.W. & Lundholm, J.T. 2010. Variation partitioning as a tool to distinguish between niche and neutral processes. *Ecography* 33: 648-655.
- Souza, M.F.V.R. & Ferreira, R.L. 2012. *Eukoenenia virgemdalapa* (Palpigradi: Eukoeneniidae): a new troglobitic palpigrade from Brazil. *Zootaxa* 3295: 59-64.
- Souza, M.F.V.R. & Ferreira, R.L. 2013. Two new species of the enigmatic *Leptokoenenia* (Eukoeneniidae: Palpigradi) from Brazil: first record of the genus outside intertidal environments. *Plos One* 8: 1-18.
- Souza-Silva, M. & Ferreira, R.L. 2014. *Loxosceles* spiders (Araneae: Sicariidae) preying on invertebrates in Brazilian caves. *Speleobiology Notes* 6: 27-32.

- Souza-Silva, M.; Martins, R.P. & Ferreira, R. L. 2011. Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest. *Biodiversity and Conservation* 20: 1713-1729.
- Souza-Silva, M.; Júnior, A.S. & Ferreira, R.L. 2013. Food availability in a quartzitic cave in a Brazilian mountain Atlantic forest. *Journal of Caves and Karst Studies*. *Journal of Caves and Karst Studies* 75: 177-188.
- Taylor, E.L.S. & Ferreira, R.L. 2012. Determinants on the structure of an aquatic invertebrate community in a neotropical limestone cave. *Revista Brasileira de Espeleologia* 2 (1): 1-12.
- Tilman, D.; Knops, J.; Wedin, D.; Reich, P.; Ritchie, M. & Siemann, E. 1997. The Influence of Functional Diversity and Composition on Ecosystem Processes. *Science* 277: 1300-1302.
- Trajano, E. 1985. Ecologia de populações de morcegos cavernícolas em uma região cárstica do sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 2 (5): 255-320.
- Vellend, M. 2010. Conceptual synthesis in community ecology. *The Quarterly Review of Biology* 85 (2): 183-206.
- Vilela, O.V. 1986. As jazidas de minério de ferro dos municípios de Porteirinha, Rio Pardo de Minas, Riacho dos Machados e Grão-Mogol, norte de Minas Gerais. In: Schobbenhaus C. & Coelho C.E.S. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil: Ferro e Metais da Indústria do Aço, v. 2, p.111-120.
- Viveiros, J.F.M.; Sá, E.L.; Vilela, O.V.; Santos, O.M.; Moreira, J.M.P.; Neto, F.H. & Vieira, W.S. 1978. Geologia dos Vales dos rios Peixe Bravo e Alto Vacaria, norte de Minas Gerais. In: Congresso Brasileiro Geologia, 30, Recife. Anais. Recife, SBG. V1. P. 243-254.
- Whittaker, R.J.; Willis, K.J. & Field, R. 2001. Scale and species richness: towards a general, hierarchical theory of species diversity. *Journal of Biogeography* (28): 453-470.
- Wiens, J.A. 1989. Spatial Scaling in Ecology. *Functional Ecology* 3(4): 385-397.

Material suplementar



Figura S1. Coletas biológicas nas cavernas do Vale do Rio Peixe Bravo. A) Coleta na micro escala, com busca exaustiva no quadrante e caracterização dos substratos presentes. B) Coleta geral na Paleotoca 5. C) Captura de morcegos com auxílio de redes de neblina posicionadas na entrada da Gruta da Coruja Branca. D) Preparação das redes de neblina para captura de morcegos no interior da Gruta do Lago.

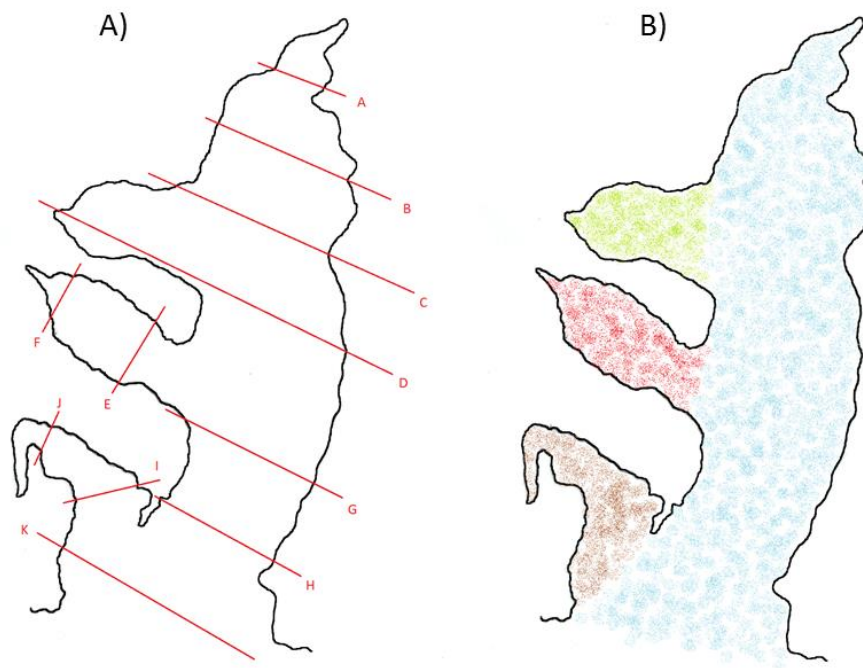


Figura S2. Croqui de planta baixa da Gruta do Lago. A) Posicionamento dos 11 transectos utilizados. B) Distinção entre as quatro diferentes galerias, aqui representadas por cores diferentes.

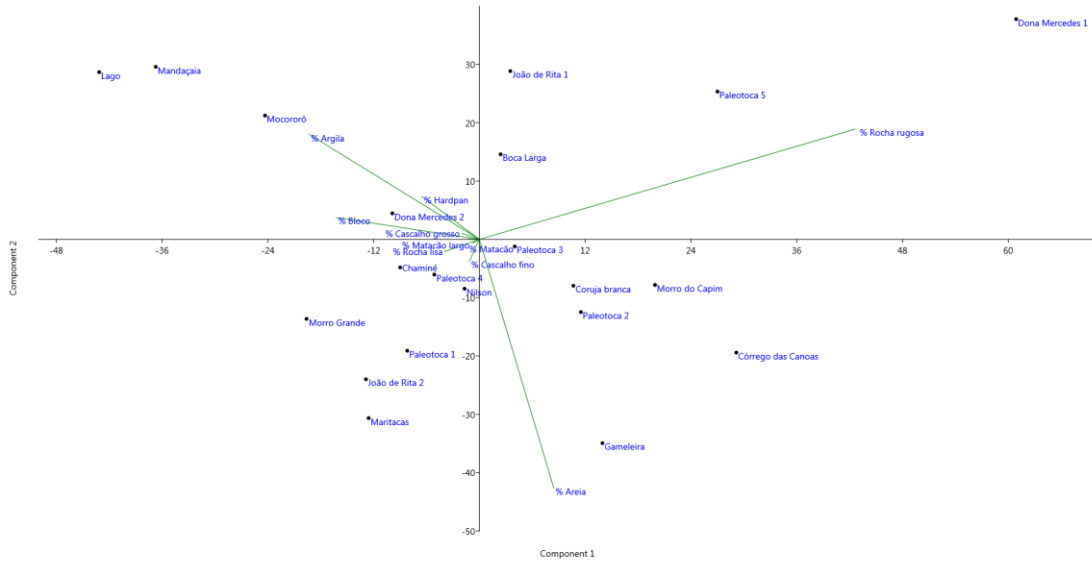


Figura S3. Análise de componentes principais (PCA) realizada para sumarizar as diversas classes granulométricas da meso escala encontradas nas cavernas, e fornecer uma única escala de valores para a composição de abrigos.

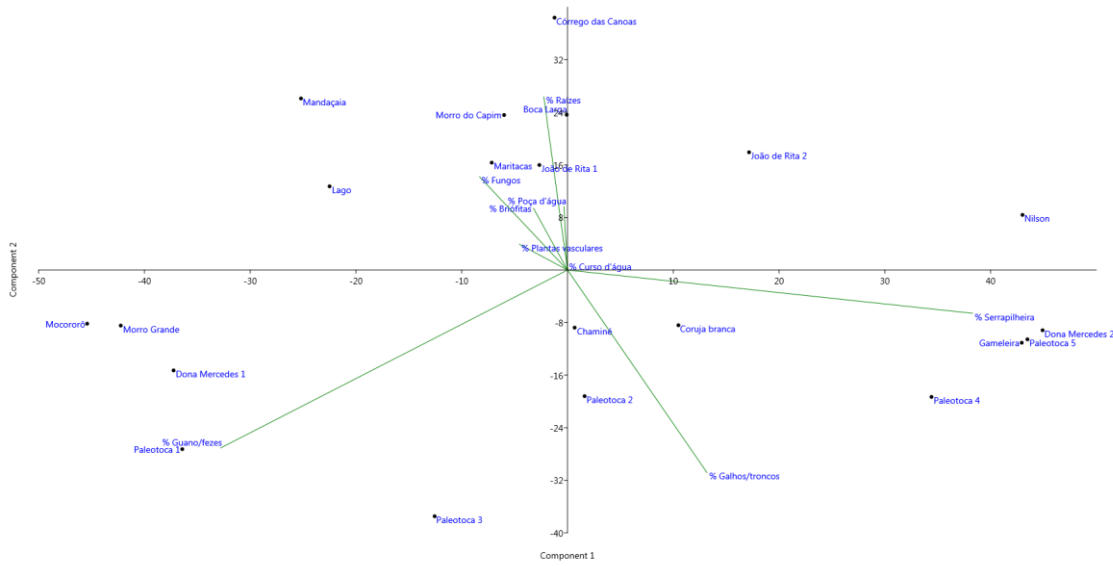


Figura S4. Análise de componentes principais (PCA) realizada para sumarizar as diversas classes de recursos da meso escala encontradas nas cavernas, e fornecer uma única escala de valores para a composição de recursos.

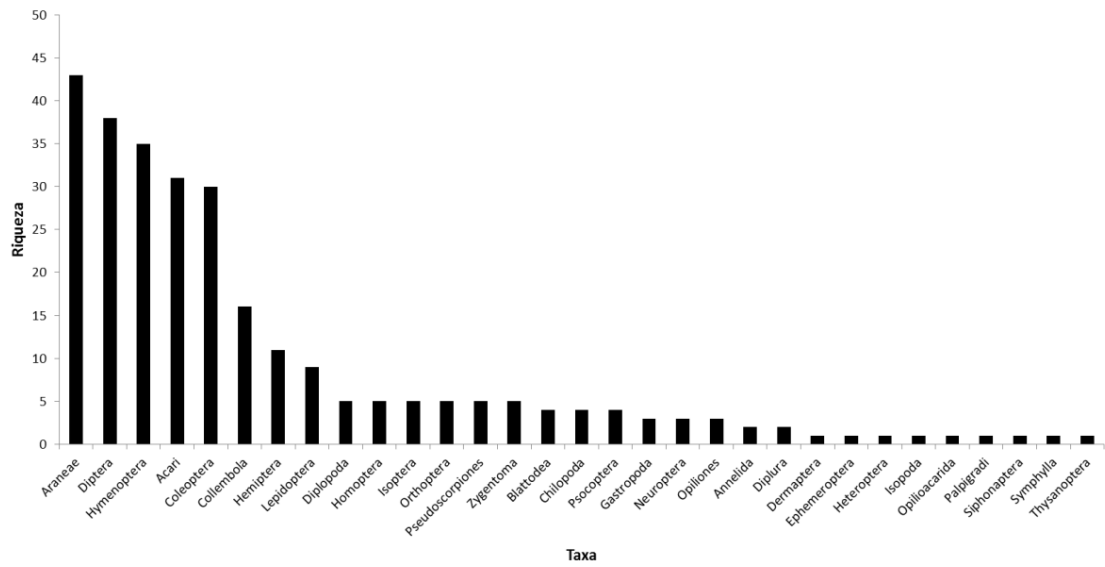


Figura S5. Riqueza dos *taxa* de invertebrados encontrados nas cavernas do Vale do Rio Peixe Bravo, MG.

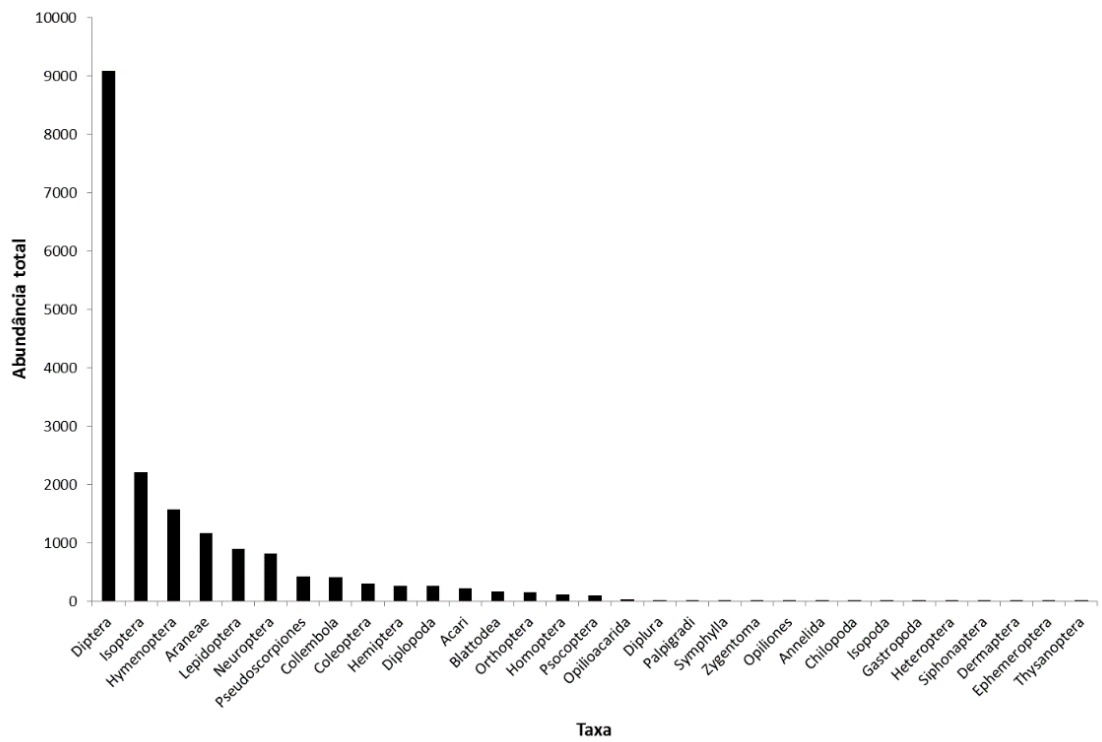


Figura S6. Abundância total absoluta dos *taxa* de invertebrados encontrados nas cavernas do Vale do Rio Peixe Bravo, MG.

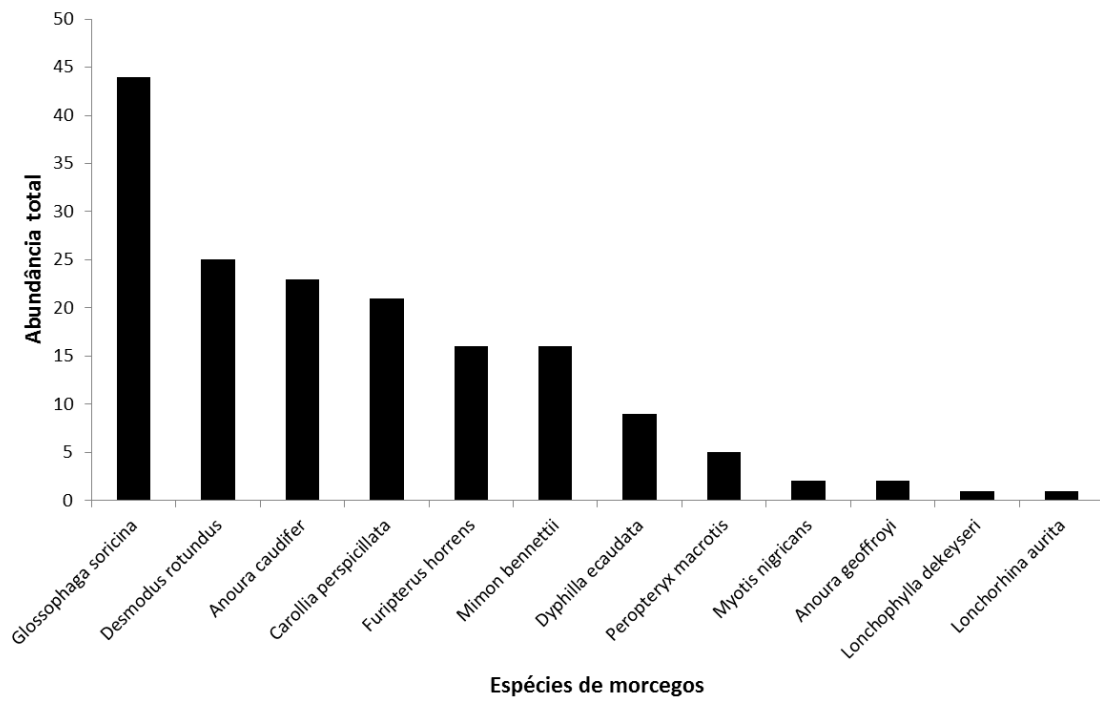


Figura S7. Abundância total absoluta de morcegos encontrados nas cavernas do Vale do Rio Peixe Bravo, MG.

Tabela S1. Lista de taxa e famílias de invertebrados encontrados nas cavernas do Vale do Rio Peixe Bravo, região norte de Minas Gerais. Entre parênteses está o número de espécies de cada família. Números após as barras representam o número de espécies troglomórficas pertencentes às respectivas famílias. NI = não identificado.

Taxa	Famílias
Acari	Argasidae (1), Anystidae (1), Macronyssidae (1), NI (28)
Annelida	NI (2)
Araneae	Araneidae (1), Caponiidae (1), Ctenidae (3), Filistatidae (3), Gnaphosidae (1), Linyphiidae (2), Nemesiidae (1), Nesticidae (2), Ochiroceratidae (2/1), Oonopidae (5), Pholcidae (4), Platoridae (1), Salticidae (3), Sicariidae (1), Teridiidae (5), Theraphosidae (1), NI (7)
Blattodea	NI (4)
Chilopoda	Geophyllidae (1), Scolopocryptopidae (1/1), NI (2)
Coleoptera	Bostrichidae (1), Carabidae (4), Curculionidae (1), Dermestidae (1), Elateridae (1), Histeridae (1), Lampyridae (1), Rhizophagidae (1/1), Staphylinidae (3), Tenebrionidae (5), NI (11)
Collembola	Arrhopalitidae (1), NI (15/3)
Dermaptera	Diplatiidae (1)
Diplopoda	Chelodesmidae (1), Pseudonannolenidae (1/1), Spirostreptidae (1), NI (2)
Diplura	Anajapygidae (1), Japygidae (1)
Diptera	Ceratopogonidae (2), Chaoboridae (1), Chironomidae (2), Chloropidae (1), Culicidae (5), Dolichopodidae (1), Drosophilidae (6), Milichiidae (3), Muscidae (3), Mycetophilidae (3), Phoridae (2), Psychodidae (3), Sciaridae (2), Streblidae (1), NI (3)
Ephemeroptera	NI (1)
Gastropoda	NI (3)
Hemiptera	Cydnidae (1), Lygeidae (1), Reduviidae (6), Tingidae (1), Veliidae (1), NI (1)
Heteroptera	NI (1)
Homoptera	Cercopidae (1), Cicadelidae (1), Cixiidae (3)
Hymenoptera	Braconidae (1), Evaniidae (1), Formicidae (23), Mutillidae (1), NI (9)
Isopoda	Dubioniscidae (1)
Isoptera	NI (5)
Lepidoptera	Noctuidae (2), Pyralidae (1), Tineidae (3), NI (3)
Neuroptera	Chrysopidae (1), Myrmeleontidae (2)
Opilioacarida	NI (1)
Opiliones	Gonyleptidae (3)
Orthoptera	Gryllidae (1), NI (4)
Palpigradi	Eukoeneniidae (1/1)
Pseudoscorpiones	Chernetidae (2), Chthonidae (1), NI (2)
Psocoptera	Psyllipsocidae (1), Ptiloneuridae (1), NI (2)
Siphonaptera	NI (1)
Symphyla	NI (1)
Thysanoptera	NI (1)
Zygentoma	Lepismatidae (3), Nicoletiidae (2)

Tabela S2. Lista de famílias e espécies de morcegos encontrados nas cavernas do Vale do Rio Peixe Bravo, região norte de Minas Gerais. Espécies ameaçadas em algum grau estão marcadas com asterisco: *VU (MMA 2014); **EN (COPAM 2010; MMA 2014; IUCN 2017).

Família	Espécie
Emballoniridae	<i>Peropteryx macrotis</i>
Furipteridae	<i>Furipterus horrens*</i>
Phyllostomidae	<i>Desmodus rotundus</i>
Phyllostomidae	<i>Anoura caudifer</i>
Phyllostomidae	<i>Anoura geoffroyi</i>
Phyllostomidae	<i>Carollia perspicillata</i>
Phyllostomidae	<i>Dyphilla ecaudata</i>
Phyllostomidae	<i>Glossophaga soricina</i>
Phyllostomidae	<i>Lonchophylla dekeyseri**</i>
Phyllostomidae	<i>Lonchorhina aurita***</i>
Phyllostomidae	<i>Mimon bennettii</i>
Vespertilionidae	<i>Myotis nigricans</i>

Tabela S3. Invertebrados troglomórficos encontrados nas cavernas do Vale do Rio Peixe Bravo, MG. A presença das espécies nas cavernas é assinalada com um X.

Caverna	<i>Arrhopalitidae</i>	<i>Collembola sp 1</i>	<i>Collembola sp 2</i>	<i>Eukoenenia sp</i>	<i>Newportia sp</i>	<i>Ochiroceratidae</i>	<i>Pseudonannolene sp</i>	<i>Rhizophagidae</i>
Boca Larga								
Chaminé								
Córrego das Canoas								
Coruja branca								
Dona Mercedes 1								
Dona Mercedes 2								
Gameleira								
João de Rita 1				X			X	
João de Rita 2							X	
Lago	X						X	
Mandaçaia						X	X	
Maritacas				X			X	X
Mocororô		X		X	X		X	
Morro do Capim	X	X						
Morro Grande			X			X	X	
Nilson								
Paleotoca 1								
Paleotoca 2								
Paleotoca 3								
Paleotoca 4								
Paleotoca 5								

Tabela S4. Morcegos ameaçados de extinção encontrados nas cavernas do Vale do Rio Peixe Bravo, MG.

A presença das espécies nas cavernas é assinalada com um X.

*VU (MMA, 2014); **EN (COPAM, 2010; MMA, 2014; IUCN, 2017).

Caverna	<i>Furipterus horrens</i>*	<i>Lonchophylla dekeyseri</i>**	<i>Lonchorhina aurita</i>*
Boca Larga			
Chaminé			
Córrego das Canoas			X
Coruja branca	X		
Dona Mercedes 1			
Dona Mercedes 2			
Gameleira			
João de Rita 1			
João de Rita 2			
Lago		X	
Mandaçaia			
Maritacas	X		
Mocororô			
Morro do Capim			
Morro Grande			
Nilson			
Paleotoca 1			
Paleotoca 2	X		
Paleotoca 3	X		
Paleotoca 4			
Paleotoca 5			

Tabela S5. Cavernas amostradas no Vale do Rio Peixe Bravo (MG), com suas respectivas coordenadas (*datum* WGS 84), projeção horizontal (P.H.), riqueza de invertebrados (entre parênteses o número de espécies troglomórficas), riqueza de morcegos (entre parênteses o número de morcegos ameaçados), e grau de alteração antrópica na paisagem no entorno de 1000 m da caverna, em valores percentuais.

Caverna	Latitude	Longitude	P.H. (m)	Alteração antrópica	Riq. Invert.	Riq. Morcegos
Boca Larga	8221613.47	740665.71	13.2	1.07	38	2
Chaminé	8220223.11	743696.65	47.4	17.03	23	1
Córrego das Canoas	8227967.71	741313.24	28	1.10	33	5 (1)
Coruja branca	8220363.55	746837.96	4	2.15	11	1 (1)
Dona Mercedes 1	8220151	743819	16.536	19.52	16	1
Dona Mercedes 2	8220079	743797	5	17.13	22	0
Gameleira	8220235.25	743711.65	7.6	17.67	24	2
João de Rita 1	8224535.66	744515.62	36	8.97	60 (2)	2
João de Rita 2	8224562.51	744499.78	9	8.97	37 (1)	0
Lago	8220624.8	743619.14	98	20.64	81 (2)	5 (1)
Mandaçaia	8220595.24	743622.38	44.45	19.35	51 (2)	4
Maritacas	8220401.24	746767.02	37.134	1.09	49 (3)	2 (1)
Mocororô	8228609	745735.32	84	32.35	49 (4)	3
Morro do Capim	8221634.32	740631.8	9.4	1.20	48 (2)	3
Morro Grande	8214203	736989	94	17.99	43 (3)	3
Nilson	8227474	745117.79	10.1	38.11	25	1
Paleotoca 1	8217254	743692	24	1.89	25	1
Paleotoca 2	8217211	743629	17.13	0.68	13	1 (1)
Paleotoca 3	8217189	743642	22.461	0.61	14	1 (1)
Paleotoca 4	8217200	743700	9	1.52	23	1
Paleotoca 5	8217180	743723	5	1.66	20	0

Tabela S6. Análise de relevância das cavernas do Vale do Rio Peixe Bravo, MG. Cavernas de relevância máxima são marcadas com um X, de acordo com seis atributos (em números romanos) determinados pelo Decreto 6640/2008 (Brasil 2008). São eles: I - gênese única ou rara; III - dimensões notáveis em extensão, área ou volume; VI - abrigo essencial para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais; VII - habitat essencial para preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de troglóbios endêmicos (presentes em uma única caverna) ou relíctos; VIII - habitat de troglóbios raros (presentes em até três cavernas); XI - destacada relevância histórico-cultural ou religiosa.

Caverna	I	III	VI	VII	VIII	XI
Boca Larga						
Chaminé						
Córrego das Canoas			X			
Coruja branca			X			
Dona Mercedes 1						
Dona Mercedes 2						
Gameleira 2						
João de Rita 1					X	
João de Rita 2						
Lago		X	X		X	
Mandaçaia					X	
Maritacas			X	X	X	X
Mocororô	X	X		X	X	
Morro do Capim					X	
Morro Grande		X		X	X	
Nilson						
Paleotoca 1	X					
Paleotoca 2	X		X			
Paleotoca 3	X		X			
Paleotoca 4	X					
Paleotoca 5	X					