



35^o
Bonito - MS

ANAIS do 35^o Congresso Brasileiro de Espeleologia
19 - 22 de julho de 2019 - ISSN 2178-2113 (online)



O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 35^o Congresso Brasileiro de Espeleologia disponível gratuitamente em www.cavernas.org.br.

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

BORGES FILHO, E.L. et al. Comparação da eficiência de três métodos de amostragem de invertebrados em cavidades naturais subterrâneas neotropicais. In: ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35, 2019. Bonito. *Anais...* Campinas: SBE, 2019. p.710-719. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe_710-719.pdf. Acesso em: *data do acesso*.

Esta é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia.
Consulte outras obras disponíveis em www.cavernas.org.br

COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE TRÊS MÉTODOS DE AMOSTRAGEM DE INVERTEBRADOS EM CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS NEOTROPICAIS

COMPARISON OF THE EFFICIENCY OF THREE INVERTEBRATE SAMPLING METHODS IN NEOTROPICAL CAVES

Elmir Lúcio BORGES FILHO (1); Lívia Dorneles AUDINO (2); Leopoldo Ferreira de Oliveira BERNARDI (3); Robson de Almeida ZAMPAULO (4); Marco Túlio Magalhães SOUZA (1)

- (1) Spelayon Consultoria.
(2) BioData.
(3) Universidade Federal de Lavras (UFLA).
(4) Vale S/A.

Contatos: luciborgesfilho@gmail.com; livia.audino@gmail.com; leopoldobernardi@gmail.com; rzampaulo@yahoo.com.br; mt.ms86@gmail.com

Resumo

A diversificação dos métodos de coleta é imprescindível para o levantamento de invertebrados cavernícolas. Este trabalho compara a eficácia de três métodos de coleta: i) busca ativa; ii) extrator de *winkler*; iii) armadilha de queda (*pitfall traps*). A amostragem de invertebrados ocorreu em cinco cavernas, alvo de resgate bioespeleológico, nos municípios de Nova Lima e Rio Acima, Minas Gerais. Dentre os métodos aplicados, a coleta ativa mostrou-se mais eficaz em relação aos demais, tendo sido obtido um maior número de espécies e indivíduos. Além disso, foi o único que registrou espécies troglomorfas e o que obteve a amostragem de um maior número de espécies indicadoras. Contudo, os três métodos foram considerados complementares, uma vez que, contribuíram com a coleta de diferentes componentes da comunidade cavernícola. Desta forma, este trabalho, demonstra a importância da utilização de métodos complementares para acessar uma maior diversidade de espécies associadas a ambientes cavernícolas, seja nas etapas de inventariamento ou de resgate de fauna.

Palavras-Chave: busca ativa; *winkler*; *pitfall traps*; cavernas; biodiversidade.

Abstract

Diversification of sampling methods is essential for the survey of cave invertebrate fauna. This work compares the efficacy of three sampling methods: i) active search; ii) winkler extractor; iii) pitfall traps. Invertebrates were sampled in five caves, that was going to be submitted to bioespeleological rescue, in the municipalities of Nova Lima and Rio Acima, Minas Gerais. Active search was more effective in relation to the other methods, sampling a higher number of species and individuals. In addition, it was the only method registering troglomorphic species and that presented indicator species. However, the three methods were considered complementary, since they contributed with the sampling of different components of cave community. In this way, we demonstrate the importance of using complementary methods to sample a greater variety of species associated to cave environments, in the inventory or rescue phases of fauna.

Keywords: active search; *winkler*; *pitfall traps*; caves; biodiversity.

1. INTRODUÇÃO

Discussões sobre quais métodos são mais eficazes para amostragem da fauna cavernícola sempre estiveram presentes na literatura científica (e.g. WEINSTEIN; SLANEY, 1995; BICHUETTE et al., 2015; WYNNE et al., 2018; WYNNE et al.,

2019). Isso acontece, principalmente, porque os métodos de amostragem utilizados no meio epígeo nem sempre são igualmente eficazes para o meio hipógeo (WEINSTEIN; SLANEY, 1995). Essa discussão se faz ainda mais necessária nos dias atuais, onde informações robustas sobre a estrutura e composição de comunidade cavernícola são

fundamentais para a avaliação de impactos ambientais de origem antrópica e na definição de estratégias para a conservação desses ecossistemas (ZHAO et al., 2011; MEDELLIN et al., 2017; JAFFÉ et al., 2018).

A aplicação de métodos de coletas eficazes e padronização destes em estudos no mundo é essencial para a ampliação do conhecimento sobre a biodiversidade cavernícola, mas principalmente para um melhor entendimento sobre a distribuição das espécies nestes ambientes e comparação de resultados obtidos em diferentes estudos (WYNNE et al., 2018). Segundo Culver; White (2005) a fauna dos ambientes subterrâneos ainda permanece amplamente desconhecida. Há uma urgente necessidade de conhecer essas espécies aprimorando o conhecimento nas áreas de taxonomia e biologia para que se possa estabelecer recomendações apropriadas para o monitoramento e conservação destes ecossistemas (WYNNE et al., 2018). Além disso, a padronização de técnicas de amostragem facilitaria a comparação de resultados obtidos em diferentes estudos e o desenvolvimento de projetos em escalas geográficas mais amplas, aprimorando a definição de áreas prioritárias para conservação (OLIVEIRA, 2014).

Historicamente, o método de captura ativa é o mais utilizado no Brasil (TRAJANO; GNASPINETTO, 1991; HUNT; MILLAR, 2001; PROUS et al., 2004; SOUZA-SILVA et al., 2011a, b; PELLEGRINI; FERREIRA, 2012). Porém, alguns poucos trabalhos realizados no Brasil também utilizaram métodos de captura passiva sendo utilizadas técnicas como extratores de winkler, funis de berlese, armadilhas de queda do tipo *pitfall*, que podem conter iscas ou não.

Os diferentes métodos de coleta também podem variar em quanto ao custo-benefício, sendo estes valores diretamente proporcionais ao tempo despendido em coletas de campo e atividade em laboratório. Por este motivo, estudos que revelam a eficiência de diferentes técnicas de amostragem são fundamentais para o delineamento amostral, avaliação de custos financeiros e de recursos humanos na pesquisa, tempo de execução e efetividade na amostragem da fauna subterrânea.

Poucos são os estudos no mundo que comparam a eficácia de diferentes métodos de coleta no ambiente cavernícola (e.g. WEINSTEIN; SLANEY, 1995; BICHUETTE et al., 2015; WYNNE et al., 2018), sendo ainda mais escassos estudos desta natureza no Brasil (OLIVEIRA,

2014). Diferenças obtidas na eficiência de cada método de amostragem em cavernas de distintas regiões do mundo podem ser decorrentes de diferenças na história evolutiva das cavernas e/ou da colonização por grupos pré-adaptados característicos de cada região. Assim, diferenças históricas evolutivas das cavernas podem gerar ambientes com características morfológicas e dinâmica de processos muitos distintos (e.g. forma, tipo e quantidade de matéria orgânica importada), sendo estes extremamente importantes na determinação dos métodos de coleta a serem empregados.

Neste contexto, objetivo deste trabalho foi a comparação da eficiência de três diferentes métodos de coleta mais utilizados em estudos cavernícolas (coleta ativa, *winkler* e *pitfall*) na amostragem de invertebrados em cinco cavernas alvo de resgate bioespeleológico. Assim, pretende-se, especificamente: a) verificar qual método obteve um maior número de espécies e de indivíduos; b) avaliar se os métodos aplicados se diferenciam em relação a composição de espécies obtidas, e; c) identificar possíveis espécies indicadoras para cada metodologia de coleta.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

As cavidades alvo do resgate bioespeleológico (Tabela 1) estão localizadas na Mina de Abóboras (Lat.20°13'03"/Long. 43°51'92") pertencente ao complexo Vargem Grande o qual a está localizada nos municípios de Nova Lima e de Rio Acima (Figura 1). Esta área está inserida na aba leste do sinclinal Moeda, que faz parte da Unidade Geomorfológica Quadrilátero Oeste, incluindo também as serras do Curral e Itabirito (OLIVEIRA et al., 2011). A região do Quadrilátero Ferrífero constitui uma importante província espeleológica com ocorrência de milhares de cavidades associadas principalmente a rochas ferruginosas e quartzíticas. Neste estudo foram amostradas um total de cinco cavidades, sendo três delas em rochas ferríferas e duas em rochas siliciclásticas.

Tabela 1: Coordenadas e dados espeleométricos das cavidades do presente estudo. * PH = Projeção horizontal;

Cavidade	Coordenadas Geográficas (UTM SAD69 23S)			Litótipo	*PH (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Desnível (m)
	X	Y	Z					
ABOB_0003	616919	7772011	1347	Ferrífera	22,8	32,9	27	0,7
ABOB_0004	616924	7771977	1355	Ferrífera	18,6	22,6	24	0,8
ABOB_0009	617588	7771483	1365	Ferrífera	8,9	5,2	3	1,9
ABOB_0017	618558	7769739	1196	Quartzítica	8,24	33,75	38,47	3,1
ABOB_0020	617988	7771929	1148	Quartzítica	9,3	23,3	38	4,1

Segundo a classificação de Köppen, o município de Rio Acima possui um clima considerado mesotérmico, apresentando verão quente e chuvoso e o inverno frio e seco, com mais de 120 dias secos por ano. Na região, o período

chuvoso inicia-se normalmente no mês de outubro até final de março tendo pico de chuva e temperaturas máximas no mês de janeiro.

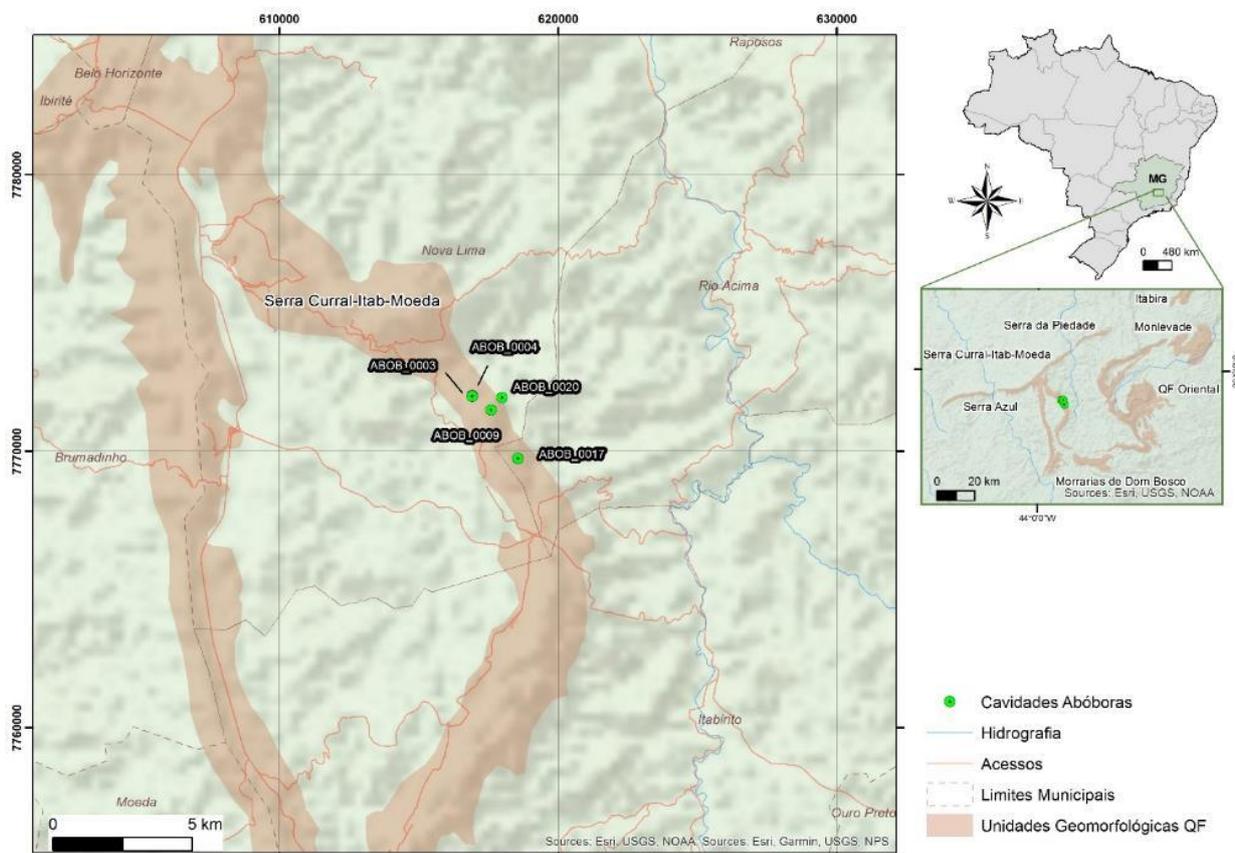


Figura 1: Mapa de localização das cavidades inseridas na Mina de Abóboras (Quadrilátero Ferrífero) e alvo do resgate bioespeleológico.

2.2 Amostragem da fauna cavernícola

A coleta teve como objetivo o resgate da fauna cavernícola das cinco cavidades (Tabela 1), sendo realizada em outubro de 2018 utilizando três métodos de amostragem: busca ativa e dois métodos de captura passiva: i) armadilhas de queda (*pitfall traps*); ii) Extração por *winkler*.

O método de busca ativa é amplamente utilizado em estudos bioespeleológicos brasileiros (e.g. FERREIRA et al., 2010; PELLEGRINI; FERREIRA, 2012; SIMÕES et al., 2015) e envolve a busca por espécies em toda a cavidade de forma exaustiva e sem a padronização de tempo, tanto no piso como nas paredes, dedicando atenção especial a

micro-habitats e recursos encontrados no interior das cavernas (por exemplo: banco de sedimento, carcaças, depósitos de guano, fezes, detritos vegetais, raízes e poças).

A segunda metodologia utilizada foi a instalação de armadilhas de queda do tipo *pitfall* que consiste em um recipiente plástico contendo uma solução conservante (álcool 80%) para fixar os animais coletados. Instalou-se uma armadilha de queda em cada cavidade, sendo o local de instalação o ponto mais distante da entrada. Optou-se pela não utilização de iscas minimizando assim a atração espécies epígeas. O tempo de amostragem para este método foi de 72h contínuas conforme metodologia proposta por Mommertz et al. (1996).

Como terceiro método de coleta utilizou-se a extração por *winkler*. Esta técnica consiste na utilização de uma rede de contenção de tecido perfurado, de 40 cm de comprimento por 20 cm de largura, com malha de 4 mm. Cada rede acomoda cerca de 600 g de material particulado (matéria orgânica). Para a coleta de matéria orgânica em cada cavidade foram realizadas amostragens em depósitos de serapilheira, onde o foram retirados 1m² de amostra de folhço por cavidade e peneirados com auxílio de uma peneira (*sifter*). O particulado selecionado foi transferido a um saco de tecido liso e levado ao laboratório, onde o material coletado foi adicionado aos “*winklers*”. Estes ficaram armados por 48h para a extração dos organismos presentes naquela fração de serapilheira (ALONSO; AGOSTI, 2000; BESTELMEYER et al., 2000). Após este período, o material remanescente foi revisado por um profissional em busca de espécies com pouca mobilidade que não foram extraídas pelo aparato sendo estas adicionados a amostra.

As amostras provenientes das coletas foram triadas e conservadas em álcool 80%. Os espécimes coletados foram identificados até o menor nível taxonômico acessível e separados em morfoespécies. Os espécimes foram depositados na coleção de Referência de Fauna de Solo da Paraíba (CRFS-UEPB) da Universidade Estadual da Paraíba, no Laboratório Especial de Coleções Zoológicas do Instituto Butantan e na Coleção de Invertebrados Subterrâneos de Lavras da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

2.3 Análises estatísticas

A riqueza total de espécies entre os três métodos de coleta utilizados (coleta ativa, *winkler* e *pitfall*) foi comparada usando curvas de interpolação

e extrapolação baseada em número de indivíduos com intervalos de confiança de 95% (COLWELL et al., 2012). Quando os intervalos de confiança das curvas se sobrepõem, isto significa que a riqueza de espécies entre os métodos é similar. Contudo, a não sobreposição entre os intervalos de confiança das curvas mostra que a riqueza de espécies é diferente. As curvas de interpolação e extrapolação foram construídas porque estes métodos de coleta tendem a apresentar diferenças em relação ao número de indivíduos amostrados. Estas diferenças na abundância podem influenciar a comparação da riqueza de espécies entre os métodos. Isso acontece porque métodos que amostram um maior número de indivíduos irão geralmente coletar um maior número de espécies. Por este motivo, vários estudos têm aconselhado colocar estes no mesmo patamar de abundância a fim de realizar a comparação (GOTELLI; COLWELL, 2001; MELO et al., 2003; COLWELL et al., 2004; COLWELL et al., 2012; CHAO et al., 2016). A igualação de abundância pode ser feita através de curvas de extrapolação. Nas curvas de extrapolação, as abundâncias dos métodos em comparação são colocadas no mesmo patamar do método que amostrou um maior número de indivíduos. Assim, faz-se a comparação utilizando-se a riqueza extrapolada, que nada mais é do que a riqueza de espécies obtida se todas os métodos tivessem o mesmo número de indivíduos. Esta análise foi realizada usando o software INEXT online implementado pelo software R (CHAO et al., 2016).

Utilizou-se a análise de GLM (Modelos Lineares Generalizados) para verificar quais métodos de coleta capturaram um maior número de indivíduos. A variável explicativa utilizada no modelo foi o método de coleta e a variável resposta a abundância total. Quando os métodos foram considerados diferentes em relação a variável resposta, utilizou-se uma análise de contraste para verificar as diferenças estatísticas entre pares de métodos. Posteriormente utilizou-se a estrutura de erros do tipo Poisson, adequado para dados de contagem (abundância), corrigindo para sub ou sobredispersão (Quasi-Poisson). Finalmente, os modelos foram submetidos à análise de resíduo para a adequação da distribuição de erros. A análise de GLM foi realizada através do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016).

Para avaliar se existem diferenças na composição de espécies de invertebrados coletados com o método de *winkler*, busca ativa e *pitfall* foram realizadas análises de NMDS e de variância

multivariada permutacional (PERMANOVA). A análise de NMDS permite comparar visualmente diferenças na composição de espécies da comunidade coletada com busca ativa, *winklere pitfall*. A matriz de composição de espécies foi transformada em uma matriz triangular de similaridade utilizando o índice de Jaccard (que considera diferenças na presença e ausência das espécies para o cálculo). Posteriormente a análise de PERMANOVA foi realizada para identificar se os três métodos de coleta são estatisticamente diferentes em relação à composição de espécies amostrada, realizando múltiplas comparações pareadas pelo procedimento permutacional do programa. Estas análises foram realizadas no programa R, pacote vegan (OKSANEN et al., 2016; R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016).

Para verificar se existem espécies que são coletadas especificamente por um determinado tipo de método, foi realizada uma análise de espécies indicadoras (Indval). Esta análise irá identificar possíveis espécies indicadoras dentro de cada método de coleta, combinando medidas de especificidade das espécies (abundância relativa), assim como a sua fidelidade (frequência) a um método. Uma matriz de abundância das espécies por tipo de método foi utilizada para realizar a análise. A análise de Indval foi realizada através do software R, pacote labdsv (ROBERTS 2013, R Development Core Team 2016).

Dentre as espécies consideradas “significativas” ($p < 0.05$), aquelas com valores de indicação acima de 70% foram consideradas “indicadoras verdadeiras” de um dos três métodos, ou seja, são aquelas coletadas em um único tipo de método e dificilmente amostrada de outra forma (MCGEOCH et al., 2002; VERDÚ et al., 2011). Espécies significativas com valores de indicação entre 45 e 70% foram consideradas “espécies detectoras”. As espécies detectoras são aquelas que são coletadas preferencialmente por um tipo de método, mas podem ocasionalmente ser coletadas por. Espécies significativas, mas com baixo valor de indicação ($< 45\%$) não receberam nenhum tipo de categorização, pelo fato de apresentarem uma baixa associação com o método indicado.

3. RESULTADOS

Foram amostradas um total de 166 morfoespécies e 868 indivíduos de invertebrados. Dentre as metodologias de coletas aplicadas, a coleta ativa registrou um total de 121 morfoespécies

e 610 indivíduos, o método de coleta extração por Winkler 55 morfoespécies e 186 indivíduos e o método de armadilha de queda (*pitfall*) 17 morfoespécies e 72 indivíduos.

As curvas de interpolação e extrapolação mostraram que a riqueza total de espécies foi diferente entre os métodos de coleta, já que não houve sobreposição dos intervalos confiança das curvas. Esta sobreposição aconteceu somente entre a coleta ativa e *winkler* até as curvas atingirem um patamar de cerca de 90 indivíduos. Após esse nível, as curvas deixaram de sobrepor. Isso significa que a riqueza passou a ser estatisticamente diferente entre esses métodos de coleta. A curva de riqueza obtida através de armadilhas de queda (*pitfall traps*) foi extrapolada para o mesmo patamar de número de indivíduos das curvas dos invertebrados coletados por coleta ativa e *winkler* e, mesmo assim, a coleta ativa e *winkler* registraram um número maior de espécies (Figura 2).

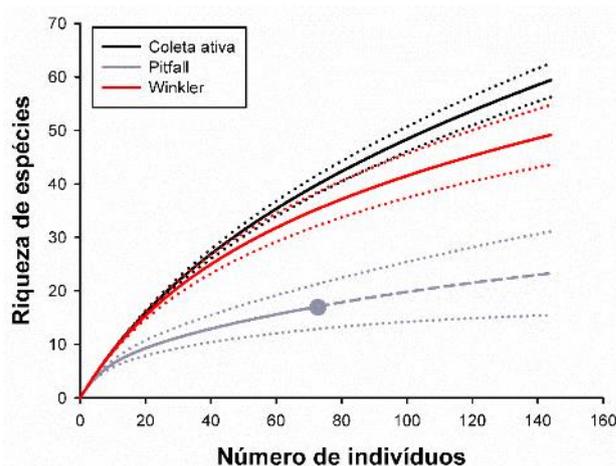


Figura 2: Curvas de interpolação e extrapolação baseadas no número de indivíduos coletados por coleta ativa, armadilhas do tipo pitfall e método de Winkler. Linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança a 95%, linhas contínuas as curvas de interpolação e tracejadas de extrapolação.

O número de indivíduos coletados diferiu estatisticamente entre os métodos de amostragem ($F = 15,41$; $p = 0,0002$). A coleta ativa capturou um número médio maior de indivíduos (122), o que foi estatisticamente diferente do método de *winkler* (média de 37,2 indivíduos) e *pitfall* (média de 18 indivíduos). Estes dois últimos métodos foram iguais em relação a abundância média coletada (Figura 3).

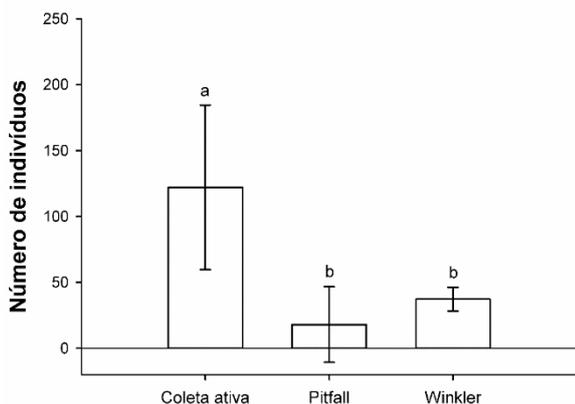


Figura 3: Número de indivíduos médio registrados em cavidades subterrâneas através do método de coleta ativa, armadilha de queda do tipo pitfall e método de *winkler*.

As barras indicam desvio padrão. Letras diferentes representam diferença significativa ($p < 0.05$) entre as categorias.

No gráfico de NMDS houve a formação de três grupamentos distintos em relação aos métodos de coleta de invertebrados (Figura 4).

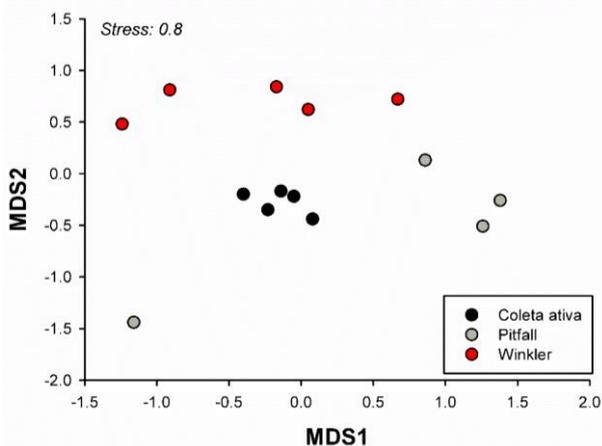


Figura 4: Análise de NMDS da composição de espécies baseada na similaridade de Jaccard para comparar as comunidades de invertebrados coletadas com método de coleta ativa, Winkler e *pitfall*.

A análise de PERMANOVA confirmou esse padrão mostrando a existência de diferença significativa entre a composição de espécies obtida com o método de *winkler*, coleta ativa e *pitfall* (Pseudo-F= 1,84; $p = 0,001$). A comunidade de invertebrados coletada pelo método de *winkler* foi apenas 3% similar daquela coletada com o método de coleta ativa. *Pitfall* e *winkler* apenas 1% similar e coleta ativa e *pitfall* 1,5% similar.

Essa diferença na composição de espécies entre os métodos de coleta também pode ser observada através do “Diagrama de Venn” (Figura

5). São poucas as espécies que são coletadas através de mais de um método. Noventa e oito espécies foram amostradas exclusivamente através da coleta ativa, 36 foram exclusivas do método de *winkler* e 5 exclusivas de armadilhas de queda (*pitfall traps*). Quatorze espécies foram coletadas tanto através de coleta ativa como através de *winkler*, cinco através de coleta ativa e *pitfall*, três através de *pitfall* e *winkler* e apenas uma foi amostrada em todos os métodos de coleta (Figura 5).

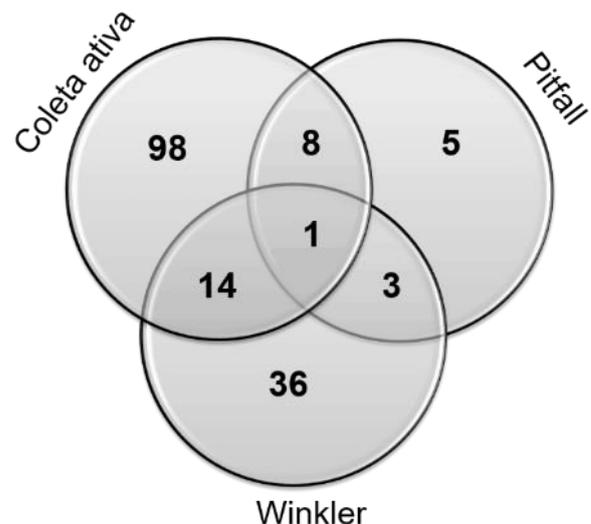


Figura 5. “Diagrama de Venn” mostrando o número de espécies coletadas exclusivamente por cada método de coleta e amostradas em mais de um método.

Das 166 morfoespécies amostradas, seis foram consideradas como indicadoras do método de coleta de busca ativa e apenas uma espécie indicadora do método de *winkler* (Tabela 2). Não foram encontradas espécies indicadoras de armadilhas do tipo *pitfall* (Tabela 2). Todas estas espécies foram consideradas indicadoras verdadeiras, ou seja, são coletadas especificamente por aquele método de coleta e dificilmente amostradas de outra forma.

Tabela 2: Morfoespécies indicadoras estatisticamente significantes ($p < 0.05$) de cada um dos métodos de coleta. A última coluna representa o método pelo qual a espécie está indicando.

Ordem	Morfoespécie	“p”	Indval	Met.
Pseudoescorpiones	Chernetidae sp.1	0.009	0.8	CA
Palpigradi	<i>Eukoenia</i> cf. <i>ferratilis</i>	0.002	1	CA
Acari	<i>Neoteneriffiola xerophila</i>	0.01	0.78	CA
Araneae	Pholcidae sp.	0.017	0.8	CA

Ordem	Morfoespécie	"p"	Indval	Met.
Diptera	Phoridae sp.2	0.017	0.75	W
Psocoptera	Imaturo	0.005	0.79	CA
Araneae	<i>Loxosceles</i> sp.	0.009	0.8	CA

Legenda: Met. = método de coleta; CA = Coleta ativa; W. Extrator de *Winkler*.

Dentre as espécies encontrados no presente estudo, quatro apresentaram troglomorfismos, sendo duas espécies de colêmbolos (Figura 6a), uma de pseudoescorpião (Figura 6b) e uma espécie de opilião (Figura 7). Todas as espécies foram coletadas no método de coleta ativa (Tabela 3).

Tabela 3. Morfoespécies troglomórficas coletadas durante o estudo.

Taxa	Morfótipos	Nº Ind.	Método
Collembola	<i>Pseudosinella</i> sp.1	48	CA
	<i>Trogolaphysa</i> sp.2	1	CA
Opiliones	aff. <i>Spinopilar</i> sp.1	2	CA
Pseudoscorpiones	<i>Pseudochthonius</i> sp.1	3	CA

Legenda: CA. Coleta ativa; Nº Indiv. = Número de indivíduos coletados.

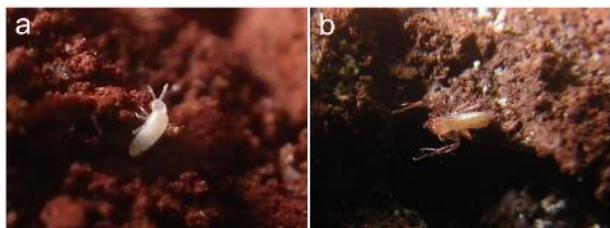


Figura 6: Espécies troglomórficas observadas durante o estudo. a. *Pseudosinella* sp.1; b. *Pseudochthonius* sp.1



Figura 7. Espécie troglomórfica observadas durante o estudo: Opilião aff. *Spinopilar* sp.1.

4. DISCUSSÃO

Apenas dois trabalhos compararam diretamente os métodos de coleta mais utilizados em

estudos bioespeleológicos (coleta ativa, *winkler* e *pitfall traps*) (WEINSTEIN; SLANEY, 1995; OLIVEIRA, 2014), sendo apenas um deles realizado no Brasil e o outro na Austrália. Nossos resultados demonstram que o método de coleta ativa foi o mais eficaz. Nele foi obtido um maior número de indivíduos, uma maior quantidade de espécies de invertebrados e todas as espécies consideradas troglomórficas obtidas nas cinco cavernas amostradas.

Contudo, nossos resultados também demonstram que para se obter um maior êxito na amostragem invertebrados cavernícolas, é necessário utilizar métodos complementares de amostragem. A coleta ativa, *winkler* e *pitfall* se complementam e são capazes de amostrar espécies distintas. Assim, a escolha sobre qual método se deve utilizar dependerá do objetivo de cada estudo, bem como de acordo com as características morfológicas e tipos de recursos orgânicos de cada caverna. Isso é especialmente importante para estudos de resgate de fauna, onde o objetivo é amostrar o maior número de espécies possível antes da cavidade ser suprimida, mas, também indicam sua real necessidade em estudos que buscam aferir a relevância de cavidades naturais subterrâneas onde diagnósticos robustos são fundamentais.

Weinstein; Slaney (1995) e Oliveira (2014) encontraram resultados similares aos nossos, demonstrando que a coleta ativa foi mais eficaz em relação a armadilhas de serapilheira (*winkler*) e *pitfall*. Weinstein; Slaney (1995) também comprovaram que armadilhas do tipo *pitfall* apresentam os piores resultados em relação a coleta de invertebrados cavernícolas. A própria natureza da coleta ativa já explica sua melhor eficácia em relação aos outros métodos empregados. Nesta técnica, toda a cavidade é vistoriada e, portanto, um número maior de micro-habitats e recurso são acessados (FERREIRA et al., 2010; PELLEGRINI; FERREIRA, 2012; OLIVEIRA, 2014; SIMÕES et al., 2015). Além disso, neste método, biótopos com maior potencial de abrigar organismos cavernícolas são priorizados (OLIVEIRA, 2014). Nesse sentido, quanto mais heterogênea for a caverna, maior será a quantidade de espécies esperadas para este ambiente.

No entanto, é importante ressaltar que o método de coleta ativa é extremamente dependente da experiência do coletor do tempo despendido para a realização da amostragem (OLIVEIRA, 2014). Sendo assim, torna-se evidente a importância de

profissionais capacitados na execução de estudos tão específicos como a amostragem de ambientes cavernícolas.

De forma geral, os métodos de coleta passiva não se mostraram tão eficientes neste trabalho. Isso acontece porque estes métodos são capazes de amostrar apenas uma parcela pequena das espécies de invertebrados cavernícolas. No método de *winkler* são capturados apenas organismos que habitam os folhios (OLIVEIRA, 2014) e nas armadilhas do tipo *pitfall* apenas os organismos errantes e, portanto, mais ativos e com maior capacidade de dispersão (MOMMERTZ et al., 1996). No entanto, estes dois métodos apresentam algumas vantagens: i) fácil instalação; ii) Demandam pouco tempo dos profissionais no campo; iii) São capazes de coletarem organismos dificilmente observáveis em campo. Contudo, os esforços de triagem do material em laboratório são significativamente maiores em relação ao método de coleta ativa.

De acordo com Sharratt et al. (2000), as armadilhas do tipo *pitfall* devem ser utilizadas com cautela especialmente quando estas são utilizadas como iscas, pois podem impactar a fauna local em virtude do excessivo número de exemplares coletados, superestimando alguns grupos taxonômicos, como colêmbolos, ortópteros e baratas. Adicionalmente, podem ser de difícil instalação em alguns casos devido ao tipo de solo e/ou substrato, prejudicando a eficácia da captura pelo armadilhamento (BICHUETTE et al., 2015). Assim, a escolha de métodos adequados de coleta que impactem minimamente a fauna são de extrema importância, uma vez que as cavernas são ambientes sensíveis a qualquer alteração e/ou coletas exaustivas podem provocar o desequilíbrio das

comunidades cavernícolas ou mesmo a extinção local de espécies troglóbias.

Finalmente, nós ainda demonstramos a existência de algumas espécies indicadoras dos diferentes métodos de coleta aqui testados. Estes resultados podem auxiliar na escolha de métodos mais eficientes na amostragem de uma determinada espécie.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo demonstra a importância da utilização de distintos métodos de coleta para a obtenção de resultados mais efetivos no diagnóstico de comunidades cavernícolas. Dentre os três métodos testados, tornou-se evidente que o método de coleta ativa foi o que apresentou os melhores resultados, inclusive na amostragem de espécies troglomórficas. Vale lembrar que tais espécies são potencialmente endêmicas de ambientes subterrâneos e, portanto, mais suscetíveis a impactos ambientais e processos de extinção. Neste sentido, além da necessidade de profissionais experientes na execução de diagnósticos bioespeleológicos, ressalta-se a importância da utilização de métodos complementares de amostragem na realização de estudos de licenciamento ambiental espeleológicos.

AGRADECIMENTOS

À toda a equipe envolvida na coleta e tratamento dos dados, à Spelayon Consultoria principalmente na pessoa do Frederico Ribeiro por toda ajuda prestada na logística e organização das atividades de campo, Ao Matheus Simões pela revisão e correção do relatório técnico de resgate o qual serviu de base para a elaboração deste trabalho e à Vale S.A pelo apoio para publicação dos dados.

REFERÊNCIAS

- ALONSO, L. E.; AGOSTI, D. Biodiversity studies, monitoring, and ants: an overview. In: AGOSTI, J. D.; MAJER, L. E.; ALONSO, L.E.; SCHULTZ, T. R. (Eds.). **Ants**: standard methods for measuring and monitoring biodiversity. Smithsonian Institution Press, Washington, 2000. 280p.
- BESTELMEYER, B.T.; AGOSTI, D.; LEEANNE, F.; ALONSO, T.; BRANDÃO, C.R.F.; BROWN, W.L.; DELABIE, J.H.C.; SILVESTRE, R. Field techniques for the study of ground-living ants: An Overview, description, and evaluation. In: AGOSTI, D.; MAJER, J.D.; TENANT, A.; SCHULTZ, T.R. (Eds.). **Ants**: standard methods for measuring and monitoring biodiversity. Smithsonian Institution Press, Washington, 2000. 280p.
- BICHUETTE, M. E.; SIMÕES, L. B.; SCHIMONSKY, D. M. V.; GALLÃO, J. E. Effectiveness of quadrat sampling on terrestrial cave fauna survey - a case study in a Neotropical cave. **Acta Scientiarum**, v. 37, n. 3, p. 345-351, 2015.

- CULVER, D. C.; WHITE, W. B. **Encyclopedia of caves**. Elsevier Academic Press: San Diego, 2005. 662p.
- CHAO, A.; CHIU, C. H. **Species richness**: estimation and comparison. Wiley StatsRef: Statistics Reference Online, 2016. p. 1-26
- COLWELL, R. K.; CHAO, A.; GOTELLI, N. J.; LIN, S.-Y.; MAO, C.X., CHAZDON, R. L.; LONGINO, J. T. Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation, and comparison of assemblages. **Journal of Plant Ecology** v. 5, p. 3-21, 2012.
- COLWELL, R.K.; MAO, C.X.; CHANG, J. Interpolating, extrapolating, and comparing incidence-based species accumulation curves. **Ecology**, v.85, n. 10, p. 2717-2727, 2004.
- GOTELLI, N.J.; COLWELL, R.K. Quantifying Biodiversity: Procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. **Ecology Letters**, v. 4, p. 379-391, 2001.
- FERREIRA, R.L. **A medida da complexidade biológica e suas aplicações na Conservação e Manejo de sistemas subterrâneos**. Tese de Doutorado - Programa de Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Universidade Federal de Minas Gerais, 161 pp, 2004.
- FERREIRA, R. L.; PROUS, X.; BERNARDI, L. F. O.; SOUZA-SILVA, M. Fauna subterrânea do estado do Rio Grande do Norte: caracterização e impactos. **Revista Brasileira de Espeleologia**, v. 1, n. 1, 2010.
- HUNT, M. R.; MILLAR, I. **Cave invertebrate collecting guide**. Wellington, New Zeland, Department of Conservation, 2001, p. 29.
- JAFFÉ, R.; PROUS, X.; CALUX, A.; GASTAUER, M.; NICACIO, G.; ZAMPAULO, R.; SOUZA-FILHO, P.W.M.; OLIVEIRA, G.; BRANDI, I.V.; SIQUEIRA, J.O. Conserving relics from ancient underground worlds: assessing the influence of cave and landscape features on obligate iron cave dwellers from the Eastern Amazon. **PeerJ**, v.J6:e4531, p.1-23, 2018.
- MCGEOCH, M. A. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. **Biological Reviews**, v. 73, p. 181-201, 1998.
- MEDELLIN, R. A., WIEDERHOLT, R., LOPEZ-HOFFMAN, L. Conservation relevance of bat caves for biodiversity and ecosystem services. **Biological Conservation**, v. 211, p.45-50, 2017.
- MELO, A.S.; PEREIRA, R.A.S.; SANTOS, A.J.; SHEPERD, G.J.; MCHADO, G.; MEDEIROS, H.F.; SAWAYA, R.J. Comparing species richness among assemblages using sample units: why not use extrapolation methods to standardize different sample sizes? **Oikos**, v. 101, n. 2, p. 398-410, 2003.
- MOMMERTZ, S., SCHAUER, C., KÖSTERS, N., LANG, A. & FILSER, J. A comparison of D-vac suction, fenced and unfenced pitfall trap sampling of epigeal arthropods in agroecosystems. **Annales Zoologici Fennici**, v. 33, p. 117– 124, 1996.
- PELLEGRINI, T.G.; FERREIRA, R.L. Metodologias diferenciadas aumentam a eficiência de inventários faunísticos em cavernas? **Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico**, v. 21, n.1, p. 111-122, 2012.
- PROUS, X.; FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Ecotone delimitation: epigeal hypogean transition in cave ecosystems. **Austral Ecology**, v. 29, p. 374-382, 2004.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. 2016.

- SHARRATT, N.; PICKER, M.D.; SAMWAYS, M.J. The invertebrate fauna of the sandstone caves of the Cape Peninsula (South Africa): patterns of endemism and conservation priorities. **Biodiversity and Conservation**, v. 9, p. 107–143, 2000.
- SIMÕES, M. H.; SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R. L. Cave physical attributes influencing the structure of terrestrial invertebrate communities in Neotropics. **Subterranean Biology**, v. 16, p. 103–121, 2015.
- SOUZA-SILVA, M., MARTINS, R. P. & FERREIRA, R. L. Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest. **Biodiversity and Conservation**, v. 20, p. 1713-1729, 2011a.
- SOUZA-SILVA, M., NICOLAU, J. C., FERREIRA, R.L. Comunidades de invertebrados terrestres de três cavernas quartzíticas no vale do Mandembe, Luminárias, MG. **Espeleo-Tema**, v. 22, p. 79-91, 2011b. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/espeleo-tema/espeleo-tema_v22_n1_155-167.pdf>.
- OLIVEIRA, M. P. A. **Os métodos de coleta utilizados em cavernas são eficientes para a amostragem da fauna subterrânea?** Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, p. 1-216, 2014.
- OLIVEIRA, O. A. B.; OLIVITO, J. P. R. & RODRIGUES-SILVA, D. Characterization of the speleological unit and of the geomorphological units of the Quadrilátero Ferrífero region – MG. **Espeleo-Tema**, v.22, n.1. 2011. Disponível em: <http://www.sbe.com.br/espeleo-tema/espeleo-tema_v22_n1_061-080.pdf>.
- OKSANEN, J.; BLANCHET, F.G.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MINCHIN, P.R.; O'HARA, R.B.; SIMPSON, G.L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M.H.H.; WAGNER, H. **Package 'vegan'**. R package ver. 2.4–1, 2016. 264p.
- ROBERTS, D.W. **Labdsv**: ordination and multivariate analysis for Ecology. R package, version 1.6 - 1. 2013.
- TRAJANO, E.; GNASPINI-NETTO, P. Composição da fauna cavernícola brasileira, com uma análise da distribuição dos táxons. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 7, n. 3, p. 383-407, 1991.
- VERDÚ, J. R.; NUMA, C.; HERNÁNDEZ-CUBA, O. The influence of landscape structure on ants and dung beetles diversity in a Mediterranean savanna—Forest ecosystem. **Ecological Indicators**, v. 11, p. 831–839, 2011.
- WEINSTEIN, P.; SLANEY, D. Invertebrate faunal survey of Rope Ladder Cave, Northern Queensland: a comparative study of sampling methods. **Australian Journal of Entomology**, v. 34, n. 3, p. 233-236, 1995.
- WYNNE, J.J.; SOMMER, S.; HOWARTH F.G.; DICKSON, B.G. & VOYLES, K.D. Capturing arthropod diversity in complex cave systems. **Diversity and Distributions**, v.24, p. 1478–1491, 2018.
- WYNNE, J.J.; HOWARTH F.G.; SOMMER, S. & DICKSON, B.G. Fifty years of cave arthropod sampling: techniques and best practices. **International Journal of Speleology**, v.48, n. 1, p. 33-48, 2019.
- ZHAO, Y.H.; GOZLAN, R.E.; ZHANG, C.G. Out of sight out of mind: current knowledge of Chinese cave fishes. **Journal of Fish Biology**, v. 79, p. 1545-1562, 2011.