



ANAIS do 36º Congresso Brasileiro de Espeleologia

Brasília-DF, 20-23 de Abril de 2022



O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 36º Congresso Brasileiro de Espeleologia (CBE) disponível gratuitamente em www.cavernas.org.br.

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

VENÂNCIO, P. C. R.; FERREIRA, R. L.; SILVA, M. S.. Diversidade de invertebrados terrestres em cavernas: Os efeitos da distância da entrada e extensão da caverna na riqueza de espécies e suficiência amostral. In: MOMOLI, R. S.; STUMP, C. F.; VIEIRA, J. D. G.; ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 36, 2022. Brasília. *Anais...* Campinas: SBE, 2022. p.032-040. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais36cbe/36cbe_032-040.pdf>. Acesso em: *data do acesso*.

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

**DIVERSIDADE DE INVERTEBRADOS TERRESTRES EM CAVERNAS:
OS EFEITOS DA DISTÂNCIA DA ENTRADA E EXTENSÃO DA
CAVERNA NA RIQUEZA DE ESPÉCIES E SUFICIÊNCIA AMOSTRAL**
*TERRESTRIAL INVERTEBRATE DIVERSITY IN CAVES: THE EFFECTS OF ENTRANCE DISTANCE
AND CAVE EXTENSION ON SPECIES RICHNESS AND SAMPLING SUFFICIENCY*

Paulo César Reis VENÂNCIO (1,2); Rodrigo Lopes FERREIRA (1,2); Marconi SOUZA SILVA (1,2)

(1) Universidade Federal de Lavras, Instituto de Ciências Naturais, Departamento de Ecologia e Conservação, Centro de Estudos em Biologia Subterrânea, Caixa Postal 3037, CEP 37200-900, Lavras, MG, Brasil;

(2) Programa de Pós-graduação em Ecologia Aplicada - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

Contatos: paulocv55@hotmail.com; drops@dbi.ufla.br; marconisilva@dbi.ufla.br.

Resumo

Avaliamos as diferenças na riqueza e suficiência amostral de espécies troglóbias e não-troglóbias em resposta às variações da extensão de 29 cavernas, localizadas no estado de Minas Gerais, Brasil. A amostragem de invertebrados se deu por meio de coleta ativa ao longo de toda a extensão acessível da caverna. A localização dos espécimes coletados e observados era registrada em um croqui da caverna, posteriormente dividida em 10 setores, sendo cada setor uma unidade amostral. Os resultados corroboram com estudos prévios, que demonstram a relação positiva entre a riqueza de invertebrados e a extensão da caverna. Foi evidenciado que, em média, é possível acessar cerca de 80% da fauna com a amostragem de 60% da extensão da caverna. Porém, considerando separadamente as espécies troglóbias e não troglóbias, fica claro que a amostragem de 60% da caverna é insuficiente para acessar a fauna troglóbia, que se concentra nas regiões mais profundas. Por fim, utilizando-se de estimadores de diversidade para medir a suficiência amostral, em média, 66% da riqueza esperada foi acessada. Os resultados indicam que o método empregado em um único evento amostral é capaz de acessar boa parte da fauna. Todavia, visando melhores estimativas da biodiversidade subterrânea, recomendamos a aplicação de múltiplos métodos de coleta, além da amostragem de toda a extensão acessível da caverna, buscando contemplar a fauna troglóbia e não-troglóbia.

Palavras Chave: Comunidades; troglóbios; estimadores; métodos de amostragem.

Abstract

We evaluated the differences in the richness and sampling sufficiency of troglobitic and non-troglobitic species in response to variations in the extension of 29 caves, located in the state of Minas Gerais, Brazil. Invertebrate sampling was carried out through active collect along the entire accessible length of the cave. The location of the collected and observed specimens was recorded in a sketch of the cave and later, divided into 10 sectors, each sector being a sampling unit. The results corroborate with previous studies, that they demonstrated the positive relationship between the richness of invertebrates and the extension of the cave. It was evidenced that, on average, it is possible to access about 80% of the fauna with the sampling of 60% of the cave extension. However, considering separately the troglobitic and non-troglobitic species, it's clear that the sampling of 60% of the cave is insufficient to access the troglobitic fauna, that is concentrated in the deepest regions. Lastly, using diversity estimators to measure sample sufficiency, on average, 66% of the expected richness was accessed. The result indicates that the method used in a single sampling event is able to access a good part of the fauna. However, aiming at better estimates of subterranean biodiversity, we recommend the application of multiple collecting methods, in addition to sampling the entire accessible extension of the cave, seeking to contemplate the troglobitic and non-troglobitic fauna.

Keywords: Communities; troglobionts; estimators; sampling methods.

1. INTRODUÇÃO

Quantificar o número de espécies tem sido uma prática essencial para avaliar a estrutura de comunidades biológicas e os padrões de riqueza de espécies em distintas escalas e ambientes. A riqueza de espécies é uma maneira intuitiva de buscar descrever uma comunidade, sendo a base de diversos modelos de estruturação, relações ecológicas e estratégias de conservação. Seu valor informa justamente o número de espécies presente em determinada área amostral que, embora seja uma métrica relativamente simples, é errôneo assumir que seja de fácil obtenção (May, 1988; Gaston, 1996; Gotelli e Colwell, 2001; Magurran, 2004).

O número de espécies presente em uma comunidade se mostra como forte ferramenta para elaboração de medidas de conservação e realização de inventários biológicos (Brook et al., 2003; King e Porter, 2005). Além disso, a riqueza pode ser usada para monitorar a dinâmica temporal de comunidades em áreas naturais ou alteradas. Não diferentemente, a riqueza de espécies associadas aos ambientes subterrâneos tem sido utilizada como uma poderosa ferramenta para caracterização e valoração de comunidades, com objetivo de auxiliar nas tomadas de decisão no que se refere ao seu uso e conservação (Souza-Silva et al., 2015). Para tais estudos, a amostragem faunística é uma das etapas primordiais, demandando enorme esforço e precisão.

Um levantamento faunístico bem executado é essencial, uma vez que dados coletados de maneira inadequada são passíveis de má interpretação. Fatores como o tempo e limitação nos recursos financeiros restringem cada vez mais a capacidade de acessar a biodiversidade e, assim, poder conservá-la (Gibney, 2015; Andrade, 2019; Thomaz et al., 2020). Tais fatores, somados às dificuldades encontradas na realização de amostragens precisas de invertebrados cavernícolas (Howarth et al., 2007; Wynne et al., 2018; Wynne et al., 2019), acabam impactando diversos aspectos na pesquisa da biodiversidade e restringindo sua aplicação na conservação e manejo das espécies. Dentre essas dificuldades, destaca-se o emprego eficaz dos métodos de coleta, a capacidade do pesquisador em acessar microhabitats e a detecção de espécies, em especial, crípticas e restritas ao meio subterrâneo.

Nesse contexto, existe uma preocupação em entender se os métodos empregados na amostragem de fauna subterrânea realmente são eficazes em acessar a riqueza destes ambientes. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar diferenças na ri-

queza e suficiência amostral de espécies troglóbias e não troglóbias em função das variações na extensão das cavernas.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

O estudo foi conduzido em 29 cavernas carbonáticas, localizadas em 12 municípios do estado de Minas Gerais, Brasil (figura 1). As cavernas encontram-se predominantemente no Bioma Cerrado, considerado um dos “hotspots” mundiais de Biodiversidade (Myers et al., 2000; Strassburg et al., 2017).

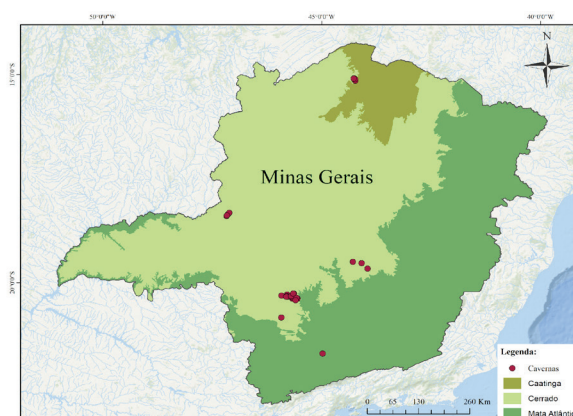


Figura 1: Distribuição das 29 cavernas do estudo, no estado de Minas Gerais, Brasil.

O clima da região estudada, segundo a classificação de Köppen (Alvares et al., 2013), varia entre “AS” (clima tropical com inverno chuvoso) e “AW” (com estações delimitadas e períodos secos nos meses de julho a setembro).

Foram selecionadas apenas cavernas apresentando uma configuração geomorfológica linear, entrada única e projeção horizontal inferior a 1.000 metros.

2.2. Coleta de dados abióticos e amostragem faunística

Medidas do tamanho das cavernas (projeção horizontal) e suas respectivas entradas foram feitas *in loco*, com o auxílio de trena a laser. Nas entradas das cavernas, mediu-se a maior distância horizontal/vertical. A localização das cavernas foi obtida com um GPS.

2.3. Amostragem da fauna

Os invertebrados terrestres foram coletados com o auxílio de pinças e pincéis umedecidos em álcool 70%. A amostragem se deu por meio de busca e

coleta ativa ao longo de toda a extensão medida da caverna, em um único evento amostral. As coletas foram conduzidas durante o período de 1999 a 2001 (Ferreira, 2004). Durante as coletas, a distribuição dos espécimes era registrada em um croqui da caverna, como mostrado na figura 2. No mapa, cada espécie foi representada por um número, indicando o local onde foi coletado ou observado durante amostragem (figura 2). Caso mais de um indivíduo fosse coletado ou observado em um mesmo local, sua abundância era representada pelo número de indivíduos, entre parênteses, logo a frente do número correspondente à sua espécie (Ferreira, 2004).

Legenda:

- 1- Gonyleptidae sp1
- 2- Noctuidae sp2
- 3- Araneida sp39
- 4- Tineidae sp1
- 5- *Atta* sp.
- 6- *Endecous* sp.
- 7- *Zelurus* sp.
- 8- *Enoploctenus* sp.
- 9- *Spistostreptida* sp.
- 10- Araneida sp15

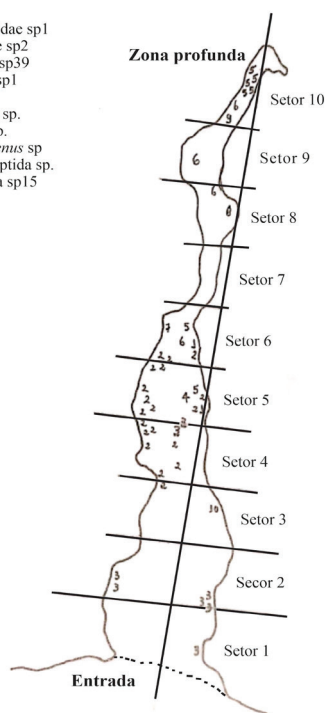


Figura 2: Croqui da caverna V30, ilustrando a metodologia empregada, proposta por Ferreira, 2004. Cada número representa um único indivíduo de dada espécie, sendo cada setor equivalente a 10% da projeção total da caverna.

As coletas foram conduzidas por no mínimo dois biólogos com experiência em amostragem de fauna subterrânea. Todos os potenciais biótipos acessíveis foram examinados, buscando obter o máximo de informação possível.

Todos os indivíduos coletados foram armazenados em recipientes de plástico contendo álcool 70%, e então encaminhados para laboratório. Foram identificados até o nível taxonômico possível, com o auxílio de microscópios ópticos, estereomicroscópios e chaves de identificação e agrupados em morfótipos (Oliver e Beattie, 1996a; Oliver e Beattie, 1996b).

A determinação de espécies potencialmente troglóbias foi realizada por meio da identificação de indivíduos apresentando algum tipo de troglomorfismo, no caso do presente estudo, características exclusivamente morfológicas associadas ao isolamento nos ecossistemas subterrâneos (Christiansen, 2012).

2.4. Análises estatísticas

A riqueza de espécies foi obtida a partir do somatório do número de espécies amostradas, para cada caverna. Com o auxílio dos mapas e anotações em campo, foi possível obter a abundância das espécies por caverna, além do posicionamento de cada espécime ao longo de cada setor. Cada caverna foi dividida em 10 setores, sendo cada setor equivalente à 10% da sua projeção horizontal coletada. O primeiro setor corresponde à região mais próxima da entrada, e o décimo setor, a região mais distante, conforme ilustrado na figura 2. Curvas de Acumulação de Espécies foram construídas para cada uma das cavernas (Anderson et al., 2008), sendo cada setor tratado como uma unidade amostral, totalizando 10 unidades por caverna.

O Teste T de Student foi usado para verificar diferenças significativas na média de acúmulo de espécies com o aumento do esforço amostral.

O número potencial de espécies na caverna foi conseguido com o uso do estimador de riqueza Jackknife 1 (Colwell e Coddington, 1994; Melo et al., 2003; Hortal et al., 2006; Pellegrini e Ferreira, 2012; Ernesto, 2013). Os valores de suficiência amostral foram obtidos a partir da divisão da riqueza observada pela riqueza estimada.

A influência do tamanho da entrada, distância da entrada e tamanho da caverna sobre a suficiência amostral e riqueza observada de espécies foi avaliada com o uso da análise de DistLm (Distance-based Linear Model) (McArdle e Anderson, 2001). Como critério de seleção, utilizou-se o valor de AICc e o método Forward como meio de seleção. Para a efetuação da análise, foi utilizada uma matriz quadrada de similaridade baseada na Distância Euclidiana (Anderson et al., 2008).

As análises e a construção de gráficos foram realizadas no software R (R core team, 2021).

3. RESULTADOS

3.1. Fauna Geral

A riqueza média por caverna foi de 30.69 espécies (sd= 13.256). A gruta do Retiro, em Pains, (56 spp.) e a lapa do Caboclo (54 spp.) apresentaram as

maiores riquezas. A Gruta Escondida (9 spp.) e Gruta do Sorvetão (12 spp.) apresentaram as menores.

No total, foram amostradas 28 ordens de invertebrados, sendo elas: Acari (21 spp.), Amblypygi (2 spp.), Araneae (80 spp.), Archaeognatha (1 sp.), Blattodea (4 spp.), Coleoptera (41 spp.), Collembola (24 spp.), Dictyoptera (8 spp.), Diplopoda (1 sp.), Diptera (96 spp.), Ephemeroptera (1 sp.), Glomeridsmida (1 sp.), Hemiptera (28 spp.), Hymenoptera (38 spp.), Isopoda (11 spp.), Lepidoptera (51 spp.), Neuroptera (3 spp.), Opiliones (11 spp.), Orthoptera (11 spp.), Palpigradi (1 sp.), Polydesmida (6 spp.), Pseudonannolenida (1 sp.), Pseudoscorpiones (11 spp.), Psocodea (23), Scutigermorpha (1 sp.), Spirobolida (3 spp.), Spirostreptida (5 spp.), Trichoptera (2 spp.) e Zygentoma (1 sp.). As ordens Diptera e Araneae apresentaram as maiores riquezas de morfótipos.

A riqueza média para a fauna observada, por setor, apresentou os seguintes valores: para o setor 1, 32.75% da riqueza total das cavernas, 49.26% para o setor 2, 62.8% para o setor 3, 71.27% setor 4, 78.41% setor 5, 82.21% setor 6, 83.92% setor 7, 92% setor 8, 96.83% setor 9 e 100% no setor 10. Nota-se que as amostragens realizadas até o 6º e 7º permitiu acessar aproximadamente 80% da fauna total observada para as cavernas (figura 3).

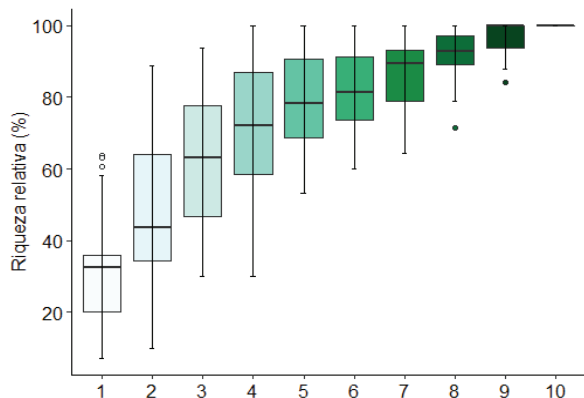


Figura 3: Boxplot demonstrando aumento na riqueza média observada, em função do esforço amostral (acúmulo no número de setores).

3.2. Fauna troglóbia

Seis morfótipos apresentaram espécies com características troglomórficas. A gruta do Retiro, em São José da Lapa, apresentou duas espécies (*Trichorhina* sp. (Isopoda: Platyarthridae); *Spelunconiscus* sp. (Isopoda: Styloniscidae)), caverna do Alinhamento duas espécies (*Arrhopalites* sp. (Collembola: Sminthuridae); Cryptodesmidae (Myriapoda: Polydesmida)). As demais cavernas apresentaram uma

única espécie troglomórfica, cada. lapa do Caboclo (*Relictopiolus* sp. (Opiliones: Kimulidae)) e gruta do Peixe (*Spelunconiscus* sp. (Isopoda: Styloniscidae)), Canyon do São Francisco e gruta do Retiro (Pains) partilharam a mesma espécie troglomórfica, *Paratricommatus* sp. (Opiliones: Cryptogeobiidae).

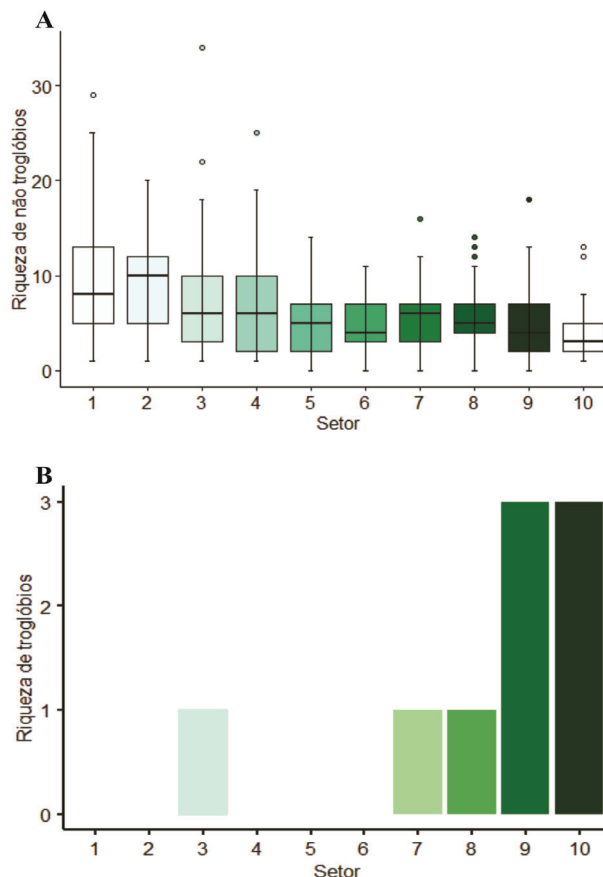


Figura 4: A Riqueza média de espécies não troglóbias por setor; B riqueza de espécies troglóbias por setor.

Observou-se uma redução na riqueza de espécies não troglóbias e aumento da riqueza de espécies troglóbias em função do distanciamento da entrada (figura 4-A e B).

Tabela 2: Valores obtidos a partir do Teste T de Student. As linhas destacadas indicam pares de setores que demonstraram diferenças significativas entre seus valores de riqueza ($p \leq 0,05$).

Setor	$\bar{X} 1$ (%)	$\bar{X} 2$ (%)	Valor T	Valor-p
1-2	32,75	49,26	-3,55959	0,000766
2-3	49,26	62,81	-2,84823	0,006138
3-4	62,81	71,27	-1,82747	0,072959
4-5	71,27	78,41	-1,69368	0,095883
5-6	78,41	82,21	-1,12758	0,264304
6-7	82,21	86,44	-1,50044	0,139118
7-8	86,44	92,006	-2,45003	0,017436
8-9	92,006	96,83	-3,08290	0,003179
9-10	96,83	100	-3,67934	0,000527

A partir dos resultados do Teste T (tabela 2), podemos observar diferenças significativas na riqueza amostrada na região próxima à entrada (setores 1, 2 e 3) e fundo das cavernas (setores 7, 8, 9 e 10). Na porção mediana, esse aumento na riqueza não se mostra significativo.

3.3. Variáveis determinantes da riqueza

O valor médio da projeção horizontal foi de 138m (sd= 193,59m), com valores mínimo e máximo de 15m e 1000m, respectivamente. Largura da entrada variou entre 0.5 e 40 metros, apresentando valor médio de 8.49m (sd= 9,57m). Dados separados por caverna dispostos na tabela 1.

Tabela 1: Características físicas medidas nas cavernas amostradas. Projeção horizontal (P.H.), largura da entrada (L.E.). Os números dispostos na coluna código (Cod.) se referem ao nome da caverna, sendo: Gruta Sumidouro da Caixa (1), Caverna Seca (2), Caverna do Alinhamento (3), Canyon do São Francisco (4), Gruta do Huguinho (5), Gruta do Urubu (6), Gruta João do Pó (7), Gruta do Senhor Ronan (8), Gruta do Muro Perdido (9), Lapa do Carlúcio (10), Lapa do Rezar (11), Gruta Bonita (12), Lapa do Caboclo (13), Lapa Lateral da Urtiga 1 (14), Gruta do Retiro (Pains) (15), SL1 (16), Gruta N10 (17), Gruta V10 (18), Gruta do Peixe (19), Gruta do Sorvetão (20), SL11 (21), Gruta do Davi (22), Gruta Dona Rita (23), Gruta dos Estromatólitos (24), Gruta da Simone do Davi (25), Gruta V30 (26), Gruta do Retiro (27), Gruta do Carimbado (28), Gruta Escondida (29).

Cod.	P.H. (m)	L.E. (m)	Long.	Lat.
1	25	4	-45,6522	-20,2601
2	35	4	-45,6446	-20,2645
3	230	10	-45,6375	-20,2646
4	70	5	-45,9221	-20,3089
5	35	4	-47,1406	-18,3517
6	60	2	-47,1119	-18,3208
7	180	4	-47,1731	-18,3993
8	1000	10	-47,1634	-18,3825
9	150	0,5	-45,9265	-20,839
10	120	40	-44,2628	-15,085
11	380	80	-44,235	-15,1421
12	420	20	-44,2404	-15,1078
13	120	15	-44,2677	-15,0895
14	15	4	-44,0936	-19,5332
15	25	4	-45,6768	-20,3693
16	30	5	-45,6974	-20,3227
17	30	3	-45,555	-20,3827
18	35	4	-45,67	-20,3838
19	40	5	-45,7945	-20,2863
20	40	3	-45,657	-20,3691
21	45	3,5	-45,6917	-20,3222
22	120	3	-45,7791	-20,3384
23	120	4	-45,574	-20,3664
24	130	7	-45,8104	-20,3381
25	60	6	-45,8008	-20,3217
26	210	13,5	-45,5991	-20,4275
27	120	15	-43,9542	-19,6631
28	120	4	-44,9816	-21,708
29	37	5,5	-44,2881	-19,4981

A projeção horizontal exerceu influência positiva e significativa sobre a riqueza total de espécies observadas nas cavernas ($R^2= 0,158$; $AICc = 148,31$; $Pseudo-F = 5,08$; $p = 0,023$).

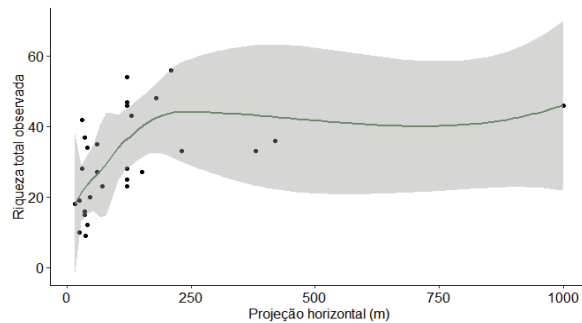


Figura 5: Relação positiva da riqueza total observada em função da projeção horizontal da caverna.

3.4. Suficiência amostral

O valor médio para suficiência amostral, utilizando-se os valores obtidos a partir do estimador Jackknife 1, foi de 0,66 (sd= 0,03). Logo, o método de amostragem de invertebrados empregado nos permitiu acessar, em média, 66% da fauna total esperada. Os dados obtidos para riqueza observada e estimada são mostrados na tabela 2.

Tabela 3: Valores de riqueza observada (Sobs), riqueza estimada pelo Jackknife1 (Jack1) e valores de suficiência amostral, por caverna.

Cod.	Sobs	Jack1	Suficiência amostral
1	19	30,7	0,62
2	15	21,3	0,7
3	33	47,4	0,7
4	23	37,4	0,61
5	37	55	0,67
6	35	57,5	0,61
7	48	72,3	0,66
8	46	77,5	0,59
9	27	39,6	0,68
10	46	72,1	0,64
11	33	49,2	0,67
12	36	54,9	0,65
13	54	77,4	0,7
14	18	25,2	0,71
15	10	14,5	0,69
16	28	43,3	0,65
17	42	63,3	0,66
18	16	25	0,64
19	34	50,2	0,67
20	12	16,5	0,73
21	20	29,9	0,67
22	28	40,6	0,69
23	47	74,9	0,63
24	43	66,4	0,65
25	27	41,4	0,65
26	56	89,3	0,63
27	23	35,6	0,65
28	25	38,5	0,65
29	9	13,5	0,67
Média	30,69	40	0,66

Nenhuma das variáveis físicas testadas no trabalho exerceu influência significativa sobre a variação da suficiência amostral.

4. DISCUSSÃO

Nossos resultados corroboram com estudos previamente realizados, demonstrando a forte associação entre a extensão da caverna e a riqueza de invertebrados terrestres. Cavernas maiores tendem a apresentar uma maior riqueza de espécies, devido a uma maior disponibilidade de habitats e recursos, fatores importantes na estruturação da fauna subterrânea (Souza-Silva et al., 2011; Simões et al., 2015; Souza-Silva et al., 2020), permitindo o estabelecimento de um maior número de espécies no ambiente.

Foi demonstrado que, em média, é possível acessar cerca de 80% da fauna subterrânea com a amostragem de 60% da extensão da caverna. Isso se deve provavelmente ao fato de haver uma redução da riqueza de espécies não troglóbias em função da distância da entrada. Assim, regiões mais próximas da entrada promovem um aumento mais substancial na riqueza, uma vez que consiste em espécies residentes tanto do ambiente cavernícola como espécies epígeas que integram o pool regional (Prous et al., 2015; Rabelo et al., 2021). O número de espécies coletadas se mantém constante na porção mediana da caverna e, posteriormente, nas regiões mais profundas, o acúmulo de espécies volta a aumentar significativamente, já que são regiões onde habitam organismos altamente especializados às condições ali presentes (Poulson e White, 1969; Mammola, 2019).

Em contrapartida, quando consideramos separadamente as espécies troglóbias e não-troglóbias, é evidente que a amostragem de apenas 60% da extensão da caverna é insuficiente para acessar a riqueza de fauna troglóbia. As espécies troglóbias ocorrem predominantemente, como representado na figura 4-b, nas regiões mais profundas da caverna. Nestes locais, as condições mais favoráveis à sobrevivência dessas espécies são encontradas (principalmente

temperaturas constantes e elevada umidade). Portanto, é possível estabelecer dois casos distintos, onde o acúmulo de espécies não-troglóbias decresce e, o de espécies troglóbias aumenta, ao passo que se adentra a caverna (Souza-Silva et al., 2021).

Por fim, ao utilizarmos o estimador para medirmos a suficiência amostral nas cavernas estudadas, foi possível visualizar que, em média, 66% da riqueza esperada foi acessada. Este resultado indica que o método empregado durante um único evento amostral é capaz de acessar boa parte da fauna. Entretanto, afim de melhorar a suficiência amostral, é recomendado o emprego de múltiplos eventos e técnicas de amostragem (Wynne et al., 2018). A importância de múltiplos eventos amostrais pode ser exemplificada com o relato de Culver e colaboradores (2004), que após mais de 100 incursões à região Cárstica Dinárica, encontraram um gênero de Amphipoda estigobionte até então, desconhecido pela ciência.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo revela que para se ter estimativas precisas da biodiversidade subterrânea, é de extrema necessidade que a extensão completa da caverna seja amostrada, contemplando a fauna não-troglóbia e troglóbia.

Além disso, o estudo corrobora com trabalhos prévios, que demonstram a forte relação entre a riqueza de espécies e a extensão das cavernas.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por fornecer a bolsa de estudos de mestrado ao autor e às demais instituições apoiadoras do projeto: Programa de Pós-graduação em Ecologia Aplicada (PPGEco-UFLA), ao Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV/ICMBio), Vale, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.D.M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711-728, 2013.
- ANDERSON, M.; GORLEY, R.N.; CLARKE, K.R. PERMANOVA+ for PRIMER: *Guide to Software and Statistical Methods*. PRIMER-E: Plymouth, UK, 214pp., 2008.
- ANDRADE, R.O. Brazil budget cuts threaten 80,000 science scholarships. *Nature*, v.572, n.7771, p.575-576, 2019.

- BROOK, B.W.; SODHI, N.S.; NG, P.K.L. Catastrophic extinctions follow deforestation in Singapore. **Nature**, v.424, n.6947, p.420-423, 2003.
- CHRISTIANSEN, K. Morphological adaptations. In: White W, Culver D (Eds) Encyclopedia of Caves (2nd edn). **Academic Press**, p.517–528, 2012. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-383832-2.00075-X>.
- COLWELL, R.K.; CODDINGTON, J.A. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v.345, n.1311, p.101-118, 1994.
- CULVER, D.C.; CHRISTMAN, M.C.; SKET, B.; TRONTELJ, P. Sampling adequacy in an extreme environment: species richness patterns in Slovenian caves. **Biodiversity & Conservation**, v.13, n.6, p.1209-1229, 2004.
- ERNESTO, M.V. Térmitas de duas áreas de floresta atlântica brasileira: uma análise do desempenho de estimadores não paramétricos. Dissertação (Mestrado em Ecologia), Universidade Federal da Paraíba, Rio Tinto, 71pp, 2013.
- FERREIRA, R.L. A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos. PhD Thesis, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 158 pp, 2004.
- GASTON, K.J. Biodiversity-congruence. **Progress in physical geography**, v.20, n.1, p.105-112, 1996.
- GIBNEY, E. Brazilian science paralysed by economic slump. **Nature News**, v.526, n.7571, p.16, 2015.
- GOTELLI, N.J.; COLWELL, R.K. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. **Ecology letters**, v.4, n.4, p.379-391, 2001.
- HORTAL, J.; BORGES, P.A.V.; GASPAR, C. Evaluating the performance of species richness estimators: sensitivity to sample grain size. **Journal of animal ecology**, v.75, n.1, p.274-287, 2006.
- HOWARTH, F.G.; JAMES, S.A.; MCDOWELL, W.; PRESTON, D.J.; IMADA, C.T. Identification of roots in lava tube caves using molecular techniques: implications for conservation of cave arthropod faunas. **Journal of Insect Conservation**, v.11, n.3, p.251-261, 2007.
- KING, J.R.; PORTER, S.D. Evaluation of sampling methods and species richness estimators for ants in upland ecosystems in Florida. **Environmental Entomology**, v.34, n.6, p.1566-1578, 2005
- MAGURRAN, A.E. **Measuring biological diversity**. John Wiley & Sons, 2004.
- MAMMOLA, S. Finding answers in the dark: caves as models in ecology fifty years after Poulson and White. **Ecography**, v.42, n.7, p.1331-1351, 2019.
- MAY, R.M. How many species are there on earth?. **Science**, v.241, n.4872, p.1441-1449, 1988.
- MCARDLE, B.H.; ANDERSON, M.J. Fitting multivariate models to community data: a comment on distance-based redundancy analysis. **Ecology**, v.82, n.1, p.290-297, 2001.
- MELO, A.S.; PEREIRA, R.A.; SANTOS, A.J.; SHEPHERD, G.J.; MACHADO, 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.

- MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; DA FONSECA, G.A.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v.403, n.6772, p.853-858, 2000.
- OLIVER, I.; BEATTIE, A.J. Designing a cost-effective invertebrate survey: a test of methods for rapid assessment of biodiversity. **Ecological applications**, v.6, n.2, p.594-607, 1996-a.
- OLIVER, I.; BEATTIE, A.J. Invertebrate morphospecies as surrogates for species: a case study. **Conservation biology**, v.10, n.1, p.99-109, 1996-b.
- PELEGRINI, T.G.; FERREIRA, R.L. Sampling effort in mite communities associated with cave bat guano. **Speleobiology Notes**, v.4, p.10-16, 2012. <https://dspace.icmbio.gov.br/jspui/handle/cecav/1007>.
- PELLEGRINI, T.; SALES, L.P.; AGUIAR, P.; FERREIRA, R.L. Linking spatial scale dependence of land-use descriptors and invertebrate cave community composition. **Subterranean Biology**, v.18, p.17, 2016.
- POULSON, T.L.; WHITE, W.B. The cave environment. **Science**, v.165, n.3897, p.971-981, 1969.
- PROUS, X.; FERREIRA, R.L.; JACOBI, C.M. The entrance as a complex ecotone in a Neotropical cave. **International Journal of Speleology**, v.44, n.2, p.5, 2015.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021. URL <https://www.R-project.org/>.
- RABELO, L.M.; SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R.L. Epigeal and hypogean drivers of Neotropical subterranean communities. **Journal of Biogeography**, v.48, n.3, p.662-675, 2021.
- 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, 2015.
- SOUZA-SILVA, M.; MARTINS, R.P.; FERREIRA, R.L. Cave conservation priority index to adopt a rapid protection strategy: a case study in Brazilian Atlantic rain forest. **Environmental management**, v.55, n.2, p.279-295, 2015.
- SOUZA-SILVA, M.; CERQUEIRA, R.F.V.; PELLEGRINI, T.G.; FERREIRA, R.L. Habitat selection of cave-restricted fauna in a new hotspot of subterranean biodiversity in Neotropics. **Biodiversity and Conservation**, v.30, n.14, p.4223-4250, 2021.
- SOUZA-SILVA, M.; INIESTA, L.F.M.; FERREIRA, R.L. Cave lithology effect on subterranean biodiversity: a case study in quartzite and granitoid caves. **Acta Oecologica**, v.108, p.103645, 2020
- SOUZA-SILVA, M.; MARTINS, R.P.; FERREIRA, R.L. Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest. **Biodiversity and Conservation**, v.20, n.8, p.1713-1729, 2011.
- STRASSBURG, B.B.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEC, A.E.; OLIVEIRA-FILHO, F.J.B.; SCARAMUZZA, C.A.M.; SCARANO, F.R.; SOARES-FILHO, B.; BALMFORD, A. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, v.1, n.4, p.1-3, 2017.
- THOMAZ, S.M.; BARBOSA, L.G.; DE SOUZA DUARTE, M.C.; PANOSSO, R. Opinion: The future of nature conservation in Brazil. **Inland Waters**, v. 10, n. 2, p. 295-303, 2020.



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.

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, n.10, p.1478-1491, 2018.