



# ANAIS do 37º Congresso Brasileiro de Espeleologia

## Curitiba - Paraná, 26 a 29 de julho de 2023



O artigo a seguir é parte integrante dos Anais do 37º Congresso Brasileiro de Espeleologia, disponível gratuitamente em [www.cavernas.org.br](http://www.cavernas.org.br).

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

VAZ, G. A. S.; SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R. L.. Fatores determinantes na estruturação das comunidades de invertebrados em uma caverna calcária. In: MISE, K. M.; GUIMARÃES, G. B.. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 37, 2023. Curitiba. *Anais...* Campinas: SBE, 2023. p.366-377. Disponível em: <[http://www.cavernas.org.br/anais37cbe/37cbe\\_366-377.pdf](http://www.cavernas.org.br/anais37cbe/37cbe_366-377.pdf)>. Acesso em: *data do acesso*.

Esta é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia.  
Consulte outras obras disponíveis em [www.cavernas.org.br](http://www.cavernas.org.br)

# FATORES DETERMINANTES NA ESTRUTURAÇÃO DAS COMUNIDADES DE INVERTEBRADOS EM UMA CAVERNA CALCÁRIA

*DETERMINING FACTORS IN THE STRUCTURING OF INVERTEBRATE  
COMMUNITIES IN A LIMESTONE CAVE*

Gabriel Augusto Silva VAZ (1); Marconi SOUZA-SILVA (1); Rodrigo Lopes FERREIRA (1)

(1) Centros de Estudos em Biologia Subterrânea, Departamento de Biologia, Universidade Federal de Lavras, Lavras MG

Contatos: [gabrielpeixevez@gmail.com](mailto:gabrielpeixevez@gmail.com); [marconisilva@ufla.br](mailto:marconisilva@ufla.br); [drops@ufla.br](mailto:drops@ufla.br).

## Resumo

As cavernas são consideradas laboratórios naturais o que facilita o acesso às informações sobre os fatores estruturantes das comunidades animais. Diversos fatores ambientais determinantes da composição e riqueza da fauna entre cavernas têm sido descritos para a região Neotropical. No entanto poucos estudos têm abordado a variação de composição e riqueza de invertebrados ao longo de uma mesma caverna. Nosso estudo buscou determinar quais são os fatores estruturantes das comunidades de invertebrados, em duas escalas de amostragem, em uma caverna calcária do Oeste da Bahia. As análises mostraram que a diversidade de substratos determina a variação de composição da fauna na mesoescala. A variação de riqueza é explicada por parâmetros ambientais diferentes dependendo da escala e entre categorias ecológico-evolutivas (troglóbios e não-troglóbios). Além disso, como já mencionado na literatura, também foi demonstrado que a riqueza de troglóbios aumenta em direção às zonas mais profundas da caverna.

**Palavras-Chave:** ecologia de cavernas; fauna subterrânea; troglóbios; composição; riqueza.

## Abstract

*Caves are considered natural laboratories, which facilitates access to information about the structuring factors of animal communities. Several environmental factors determining the composition and richness of fauna among caves have been described for the Neotropical region. However, few studies have addressed the variation in composition and richness of invertebrates within the same cave. Our study aimed to determine the structuring factors of invertebrate communities at two sampling scales in a limestone cave in Western Bahia. The analyses showed that substrate diversity determines the variation in fauna composition at the mesoscale. The variation in richness is explained by different environmental parameters depending on the scale and ecological-evolutionary categories (troglobites and non-troglobites). Furthermore, as previously mentioned in the literature, it was also demonstrated that troglobite richness increases towards the deeper zones of the cave.*

**Keywords:** cave ecology; subterranean fauna; troglobites; composition; richness.

## 1. INTRODUÇÃO

Determinar quais fatores estruturam comunidades biológicas bem como compreender os padrões de distribuição das espécies constituem grandes desafios em ecologia de comunidades. Entretanto, as cavernas, por serem consideradas “laboratórios naturais” são importantes locais para o estudo de fatores ecológicos que determinam estes padrões, já que representam ambientes isolados e simplificados em relação ao meio epígeo (MAMMOLA *et al.*, 2019; POULSON; WHITE, 1969;). Além de serem responsáveis por diversos serviços ecossistêmicos (CULVER; PIPAN, 2009; MAMMOLA *et al.*, 2019) as cavernas ainda abrigam espécies raras e endêmicas (troglóbios/estigóbios). Por isso a compreensão de possíveis padrões ecológicos acabam sendo essen-

ciais para a conservação e manejo desses ecossistemas.

Alguns fatores estruturantes das comunidades cavernícolas neotropicais já são conhecidos, como a variação sazonal, a estrutura da paisagem, o desenvolvimento linear, tipo de rocha em que a caverna se insere, os tipos de substrato, a heterogeneidade do habitat, a presença de corpos de água e a distância da entrada (BENTO *et al.*, 2016; PELLEGRINI *et al.*, 2016; FURTADO *et al.*, 2022; PACHECO *et al.*, 2020; SOUZA-SILVA; MARTINS; FERREIRA, 2011b; SIMÕES; SOUZA-SILVA; FERREIRA, 2015; SOUZA-SILVA; INIESTA; FERREIRA, 2020). No entanto poucos estudos têm demonstrado quais fatores influenciam a estruturação das comunidades ao longo de uma mesma caverna.

Diante disso, o presente estudo visa determinar quais fatores ambientais influenciam na variação da composição e riqueza de invertebrados, em duas escalas de amostragem, em uma caverna calcária. Esperamos que a estrutura do habitat e a distância da entrada influenciem a variação de composição e de riqueza. No entanto esperamos que distintos componentes da estrutura do habitat atuem sobre esta variação de forma distinta dependendo da escala sob análise. Também esperamos que os troglóbios sejam encontrados em maior proporção nas áreas mais profundas da caverna e sejam influenciados por fatores ambientais diferentes em relação às espécies não-troglóbias.

## 2. METODOLOGIA

### Área de Estudo

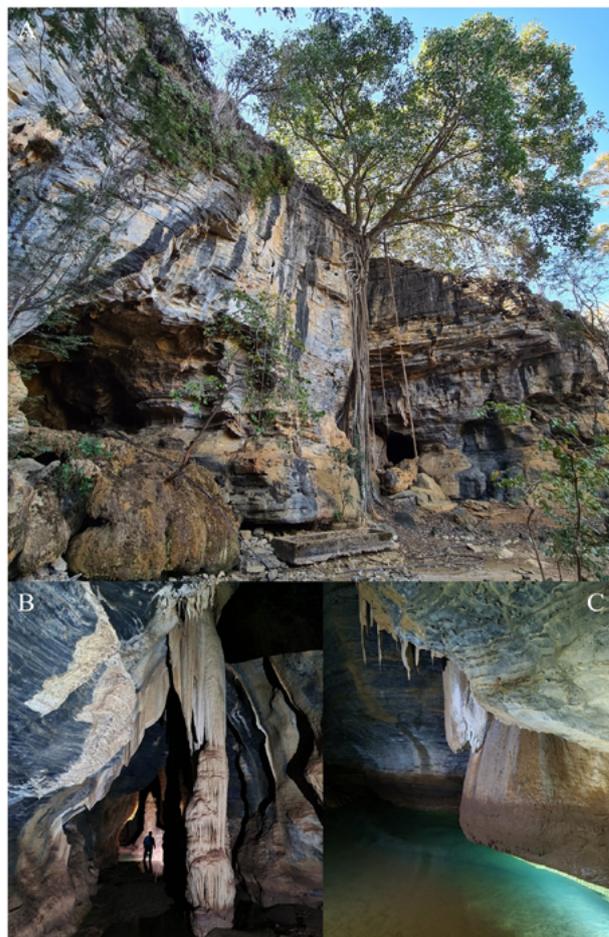
O estudo foi conduzido na Gruna do Pedro Cassiano, localizada no município de Carinhanha, oeste da Bahia (UTM 23L: 617427 - 8474330) inserida na região cárstica da Serra do Ramalho. O clima da região é do tipo “Aw”, sendo caracterizado como tropical com inverno seco (março a outubro) (ALVARES et al., 2013). A região está inserida no Bioma Caatinga.

A caverna se desenvolve em rocha carbonática e apresenta 2660m de extensão. Ela é transpassada por duas drenagens autogênicas e que percorrem dois ramos tributários em sua porção final (à montante) e conectam-se formando uma única drenagem (Figura 1).

### Coleta de dados abióticos e bióticos

A amostragem dos dados bióticos e abióticos se deu em mesoescala (setores) e microescala (quadrantes) no piso dos condutos em uma única visita à caverna. Os setores compreendem uma área de 10x3 m e foram dispostos desde regiões mais próximas à entrada até regiões mais profundas. Cada setor possui três quadrantes de 1 m<sup>2</sup>, dois situados nas extremidades e um no centro de cada setor (Figura 2). O número de setores foi definido como base no desenvolvimento linear da caverna, sendo amostrados um total de 15 setores.

O levantamento da fauna foi feito através do método de busca visual e coleta manual ativa (WYNNE et al., 2019). Os espécimes coletados foram colocados em frascos devidamente etiquetados contendo uma solução de etanol 70%. Posteriormente, esses foram triados com auxílio de um estereomicroscópio no Centro de Estudos em Biologia Subterrânea (CEBS) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), identificados até o menor nível taxonômico possível com auxílio de chaves de identificação e posteriormente separados em morfótipos (OLIVER; BEATTIE, 1996). Todos os espécimes foram depositados na Coleção de Invertebrados Subterrâneos de Lavras (ISLA), vinculada ao Centro de Estudos em Biologia Subterrânea



**Figura 1:** Gruna do Pedro Cassiano. A) Aspecto da região externa, próxima à entrada da caverna. B) Conduto que representa o ramo direito e é transpassado por um dos tributários da drenagem principal da caverna. C) Conduto principal da caverna.

da Universidade Federal de Lavras ([www.biologiasubterranea.com.br](http://www.biologiasubterranea.com.br)).

Aquelas espécies que apresentaram algum traço troglomórfico como redução dos olhos e da pigmentação e apêndices alongados foram consideradas troglóbias (CRISTIANSEN, 1962). Para alguns grupos taxonômicos foi necessário o auxílio de especialistas para identificação.

As variáveis ambientais (temperatura e umidade do ar) foram medidas em cada setor por meio de um termohigrômetro, posicionado junto ao piso, durante 15 minutos. Cada setor foi dividido em 10 sessões de 1 metro cada, e, em cada uma dessas sessões, foi estimado o percentual de substratos e recursos disponíveis (guano, detritos animais, vegetais, fungos, sedimento fino, cascalho, blocos, espeleotemas, rocha matriz dentre outros). Em laboratório foi feito o somatório dessas proporções e calculada a média aritmética das áreas ocupadas por cada substrato. Para a caracterização e mensuração dos substratos em microescala, fotografias digitais de cada quadrante foram tiradas em campo para serem analisadas em laboratório através do software IMAGEJ (FERREIRA; RASBAND, 2012).



Figura 2: Métodos de coleta e escalas de amostragem.

### Preditores utilizados nas análises de composição

Os parâmetros ambientais analisados em mesoescala, de acordo com a área ocupada, foram: guano (GU), detritos vegetais (DTV), água (W) que é o agrupamento de curso d'água (ST) e poças d'água (WP), gotejamento (DP), actinomicetos (ACT), basidiomicetos (BAM), bloco (64-250 mm) (CB), cascalho grosso (17-63 mm) (CAG), cascalho fino (2-16 mm) (CAF), areia (ARE), silte (SEF), *hardpan* (argila consolidada) (HP), espeleotemas (ES), temperatura (°C) (Temp), umidade (UMI), distância da entrada (m) (DE). Para a microescala os substratos foram: guano, raízes (RZ), água (W) que neste caso remete às poças d'água, rocha rugosa (RR), matacão pequeno (SB), bloco, cascalho grosso, cascalho fino, areia, silte, *hardpan*, espeleotema e distância da entrada.

Em ambas as escalas utilizamos medidas de heterogeneidade do habitat calculadas através do índice de diversidade de Shannon ( $H'$ ), sendo estas a diversidade de substratos (DS), a diversidade de abrigo (div\_Abrigo) e a diversidade de recurso (div\_Recurso) (CARDOSO et al., 2022; FURTADO et al., 2022; PACHECO et al., 2020; PELEGRINI et al., 2016). A diversidade de recurso não foi utilizada nas análises de microescala pois correspondeu a zero em todos os quadrantes.

### Preditores utilizados nas análises de riqueza

Para esse tipo de análise fizemos alguns agrupamentos visando diminuir o número de preditores e quantificar a disponibilidade de recurso e abrigo em ambas as escalas. (REIS-VENÂNCIO et al., 2022; SOUZA-SILVA et al., 2021). Na mesoescala a variável recurso remete à soma das proporções de guano, detrito vegetal, actinomicetos e basidiomicetos. A variável abrigo foi obtida através da soma das proporções de gotejamento, bloco, cascalho grosso, cascalho fino e espeleotema.

Em microescala a variável recurso foi obtida através da soma de guano e raiz e a variável abrigo através da soma de rocha rugosa, matacão pequeno, bloco, cascalho grosso, cascalho fino e espeleotema.

### Análise de dados

Visando compreender quais componentes da estrutura do habitat são responsáveis por determinar variações na composição geral de espécies, de espécies troglóbias e de espécies não-troglóbias utilizamos a análise DistLM (*distance based linear model*) nas duas escalas de amostragem. Inicialmente foi realizado o tratamento dos dados por meio da standardização dos valores de abundância das espécies (raiz quadrada dos valores), seguida da análise de similaridade entre pontos pelo índice de Bray-Curtis. Utilizamos o AICc como critério de seleção utilizando o procedimento *forward step-wise* que seleciona os melhores modelos a partir do menor valor do critério (ANDERSON; GORLEY; CLARKE, 2008). Utilizamos o software Primer 7 & Permanova® para estas análises.

Para compreender quais componentes da estrutura do habitat são responsáveis por determinar variações na riqueza total de espécies, na riqueza de troglóbios e na riqueza de não-troglóbios, utilizamos Modelos Lineares Generalizados (GLM). Na microescala optamos por utilizar apenas a riqueza total, pois não encontramos muitas espécies troglóbias nesta escala. Todas essas análises foram realizadas no software R.

Inicialmente verificamos a possibilidade de multicolinearidade entre todas as variáveis preditoras, utilizando o índice de correlação de *Spearman* através da função '*chart.correlation*' do pacote PerformanceAnalytics (PETERSON; CARL, 2018). Variáveis com valores de correlação acima de 70% foram analisadas de forma separada (SCHOBER; BOER; SCHWARTE, 2018). Também utilizamos *variance inflation factors* (VIF) para evitar questões de colinearidade. Aqueles preditores com valores acima de 10 foram removidos e analisados de forma separada.

Na mesoescala foram gerados inicialmente para cada tipo de riqueza seis modelos glm com a família de distribuição Poisson. Caso apresentasse *overdispersion* seguimos para distribuição binomial negativa. Definido o tipo de distribuição utilizamos o procedimento *forward step-wise*, em cada um dos seis modelos, que consiste na retirada dos preditores com maior valor de P até que resulte em um modelo com somente preditores significativos. Por fim, para cada tipo de riqueza (total, troglóbios e não-troglóbios), o modelo com menor *Akaike information criterion* (AIC) foi escolhido. Na microescala foram gerados inicialmente 3 modelos glm poisson, que passaram pelo mesmo procedimento descrito para a mesoescala.

Para verificar se os troglóbios estão em maior proporção em áreas mais profundas da caverna usamos uma regressão linear simples, visto que o 'SHAPIRO.TEST' do pacote 'STATS' revelou que os resíduos seguem uma distribuição normal, utilizando a distância da entrada da caverna como variável preditora e a proporção riqueza de troglóbios/riqueza total de espécies de cada setor como variável resposta. Como em alguns setores foram encontradas apenas espécies troglóbias optamos pela utilização da proporção riqueza de troglóbios/riqueza total adaptada do trabalho de SOUZA-SILVA e colaboradores em 2021,

que utilizaram a proporção riqueza de troglóbios/riqueza de não-troglóbios.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Composição e riqueza de espécies

Considerando os 15 setores e a coleta geral encontramos 53 espécies que compreendem diferentes táxons como Amblypygi, Lepidoptera, Palpigradi, Siluriforme, Gastropoda, Chilopoda (1 spp.), Blattoidea (incluindo Isoptera), Hemiptera, Hymenoptera, Orthoptera, Pseudoscorpiones, Isopoda (2 spp.), Opiliones, Diplopoda (3 spp.), Diptera (4 spp.), Collembola (5 spp.), Coleoptera e Araneae (9 spp.) (Anexo 1). Dessas, 17 espécies apresentaram troglomorfmismos, tendo sido consideradas troglóbias (Figura 3).



**Figura 3:** Alguns troglóbios presentes na Gruna do Pedro Cassiano. A) *Giupponia chagasi* (Opliones, Gonyleptidae); B) *Charinus troglobius* (Amblypygi, Charinidae); C) Araneae sp4; D) *Eukoenia* sp. (Palpigradi, Eukoeneniidae); E) *Pseudochthonius* (Pseudoscorpiones, Chthoniidae); F) Ochyroceratidae (Araneae); G) Clivinina (Coleoptera); H) *Endecous infernalis* (Ensiptera, Phalangopsidae); I) Blattidae (Blattoidea/Isoptera); J) *Xangoniscus* sp. (Isopoda, Styloniscidae); K) *Pectenoniscus* sp. (Isopoda, Styloniscidae); L) *Trychomycterus* sp. (Siluriformes, Trichomycteridae).

#### Parâmetros ambientais determinantes na variação de composição e riqueza

Em mesoescala a diversidade de substratos foi determinante tanto para a variação da composição total de invertebrados (AICc = 121,48; R<sup>2</sup> = 0,1554;

p = 0,014), quanto para a composição de espécies troglóbias (AICc = 118,15; R<sup>2</sup> = 0,1548; p = 0,032) e para composição de espécies não-troglóbias (AICc = 100,94; R<sup>2</sup> = 0,2012; p = 0,004).

Nessa mesma escala de amostragem, a variação da riqueza total e da riqueza de troglóbios foram mais bem explicadas pela variável porcentagem de areia no interior dos setores. Já a variação da riqueza de não-troglóbios foi mais bem explicada pelas variáveis disponibilidade de recursos e diversidade de substratos (Tabela 1).

Na microescala nenhuma das variáveis preditoras utilizadas foi capaz de explicar a variação de composição. Desta forma, variáveis que não foram incluídas neste estudo podem ser responsáveis pela estruturação das comunidades nessa escala de amostragem. No entanto a variação de riqueza total foi explicada pelas variáveis água (poças d'água), porcentagem de areia, diversidade de substratos e disponibilidade de abrigo (Tabela 2).

**Tabela 1:** Modelos GLM selecionados para explicar a variação de riqueza na mesoescala. S (riqueza total), S\_troglo (riqueza de troglóbios), S\_nt (riqueza de não-troglóbios), are (% de areia), ds (diversidade de substrato), hp (% de argila consolidada), div\_abrigo (diversidade de abrigo), W (% de área com corpos de água).

Modelo: S ~ are + ds + div_abrigo, família = binomial negativa PseudoR <sup>2</sup> = 0,6630844				
Variáveis	Estimate	Std.Error	Zvalue	Pr(> z )
Intercept	1,258443	0,528028	2,383	0,017159
Are	-0,020882	0,614300	-3,399	0,000676
Ds	0,822354	0,480440	1,712	0,086957
div_abrigo	0,4386410	0,259020	1,693	0,090368
Modelo: S_troglo ~ hp + are + div_abrigo, família = binomial negativa PseudoR <sup>2</sup> = 0,6695261				
Variáveis	Estimate	Std.Error	Zvalue	Pr(> z )
Intercept	1,14254	0,303031	3,770	0,000163
Hp	0,006742	0,004127	1,634	0,102339
Are	-0,022030	0,008909	-2,473	0,013408
div_abrigo	0,0568301	0,308535	1,842	0,065485
Modelo: S_nt ~ recurso + ds, família = Poisson PseudoR <sup>2</sup> = 0,5064388				
Variáveis	Estimate	Std.Error	Zvalue	Pr(> z )
Intercept	-1,2623	0,5152	-1,545	0,1215
Recurso	0,1452	0,0484	3,195	0,0014
Ds	1,3622	0,7735	2,407	0,0161

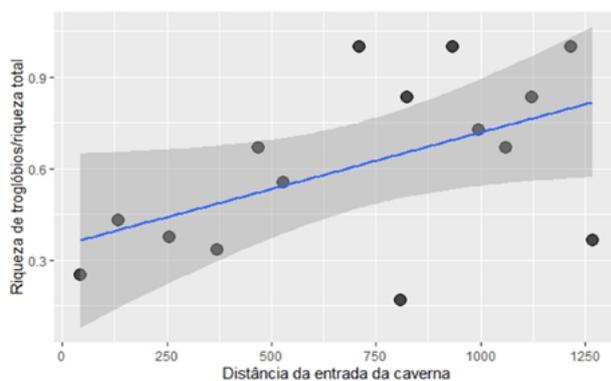
**Tabela 2:** Modelo GLM que explica a variação de riqueza na microescala. are (% de areia), ds (diversidade de substrato), abrigo (disponibilidade de abrigo), W (% de área com corpos de água).

Modelo: $s \sim w + are + ds + abrigo + div\_abrigo$ , família = poisson PseudoR <sup>2</sup> = 0,3728				
Variáveis	Estimate	Std.Error	Zvalue	Pr(> z )
Intercept	-0,52589	0,330073	-1,593	0,1111
W	0,065152	0,020709	3,146	0,00166
Are	-0,02322	0,007063	-3,288	0,00101
Ds	1,945431	0,60503	3,215	0,0013
Abrigo	-0,02601	0,012641	-2,058	0,03962
div_abrigo	2,326601	1,19245	1,951	0,05104

### Relação entre a distância da entrada e a proporção da riqueza de troglóbios/riqueza total

Através da regressão linear simples, constatamos um aumento no número de espécies de troglóbias e diminuição do número de não-troglóbias em direção às áreas mais profundas da Gruna do Pedro Cassiano ( $R^2 = 0,2112$ ,  $p = 0,0483$ , figura 4).

Também observamos que a disponibilidade de recurso trófico e a diversidade de substratos diminui com o aumento da distância da entrada ( $R^2 = 0,2074$ ;  $p = 0,05$ ,  $R^2 = 0,3637$ ;  $p = 0,01$  respectivamente).



**Figura 4:** Modelo Linear simples demonstrando a relação positiva entre a distância da entrada e a proporção riqueza de troglóbios/riqueza total.

### Discussão

A diversidade de substratos como uma medida de heterogeneidade ambiental, tem se mostrado um fator determinante na estruturação das comunidades de invertebrados cavernícolas (PACHECO *et al.*, 2020a; CARDOSO *et al.*, 2022; CERQUEIRA, 2018). Nosso estudo demonstrou que a composição de espécies não-troglóbias foi mais influenciada pela diversidade de substratos do que as espécies troglóbias e que essa medida de heterogeneidade só foi

responsável por influenciar a riqueza nas espécies não-troglóbias. Isso indica que os troglóbios, por possuírem um elevado grau de especialização, são mais seletivos na ocupação dos nichos ecológicos e habitam lugares que podem não ser tolerados para a maioria das espécies presentes em cavernas (KOZEL *et al.*, 2019; PACHECO *et al.*, 2020a). PACHECO *et al.* (2020a) observaram que ausência de relação entre a riqueza de troglóbios e a heterogeneidade do substrato se deve ao nível de especialização dessas espécies, que buscam condições específicas dentro das cavernas, não demandando assim diversos substratos para sua sobrevivência. Já as espécies não-troglóbias limitam-se a locais mais heterogêneos, com maiores disponibilidades de recursos alimentares, micro-habitats e refúgios. Com isso, ocorre uma menor sobreposição de nicho entre espécies competidoras, elevando o número de espécies que podem coexistir em uma dada caverna (FERREIRA; PELLEGRINI *et al.*, 2016; PULSON; CULVER, 1969; SOUZA-SILVA *et al.*, 2011b; SOUZA-SILVA *et al.*, 2021; STEIN *et al.*, 2014; TEWS *et al.*, 2004;).

Locais na caverna que possuem maior quantidade de areia apresentaram menor riqueza de espécies total e de espécies troglóbias. Esse resultado demonstra que locais mais homogêneos, possuem menor disponibilidade de micro-habitats suportando um número baixo de espécies. (REIS-VENÂNCIO *et al.*, 2022). É importante notar que até mesmo os troglóbios preferem ambientes com determinados tipos de abrigos.

As cavernas são consideradas ambientes oligotróficos, dependem quase sempre de recursos de origem alóctone (SOUZA-SILVA *et al.*, 2012). Depósitos de guano e os detritos vegetais transportados pela água são as principais fontes de entrada de energia na maioria das cavernas tropicais (FERREIRA *et al.*, 2007; SCHNEIDER *et al.*, 2011; SOUZA-SILVA *et al.*, 2012). Na Gruna do Pedro Cassiano, locais com maior disponibilidade de recursos apresentaram maior número de espécies não-troglóbias. Como o recurso trófico tende a estar presente em maior quantidade nas áreas mais próximas à entrada (SOUZA-SILVA *et al.*, 2021), que também são áreas ecotonais com elevado trânsito de espécies advindas do meio epígeo e com fauna própria (KOZEL *et al.*, 2019; PROUS; FERREIRA; MARTINS, 2015), diferentes espécies não-troglóbias podem estabelecer populações nessas áreas. Por serem mais exigentes energeticamente e melhores competidores (SKET, 1999), acabam por sobressair frente às espécies troglóbias e muito provavelmente por isso não identificamos o recur-

so como uma variável explicativa para a riqueza de troglóbios. DEHARVENG; BEDOS (2000), também observaram que invertebrados troglóbios preferem áreas mais afastadas dos recursos tróficos para evitar a competição com espécies não-troglóbias.

Sabe-se que os fatores que influenciam a distribuição e a diversidade de espécies são dependentes da escala espaço-temporal e que existem fatores que não podem ser determinados em algumas escalas (GOZÁLEZ-MEGÍAS; GÓMEZ; SÁNCHEZ-PIÑERO, 2007). Em escalas de amostragem diferentes, observamos que fatores ambientais distintos influenciaram a variação da riqueza de invertebrados. Mas também observamos que a variável porcentagem de areia, manteve uma relação significativa e negativa com a riqueza em ambas as escalas. Na microescala, outras três variáveis explicaram a variação da riqueza. A presença de corpos de água apresentou relação positiva com a riqueza. As espécies subterrâneas possuem preferências por certos micro-habitats em especial aqueles que apresentam elevada umidade (MAMMOLA; PIANO; ISAIA, 2016). A água pode ser responsável por manter a umidade elevada nessa escala, possibilitando um maior número de espécies subterrâneas, principalmente as troglóbias que possuem cutícula mais fina e dependem da umidade para evitar a dessecação (FERREIRA *et al.*, 2009; SOUZA-SILVA *et al.*, 2021; HOWARTH, 1993). A diversidade de substratos também apresentou relação significativa e positiva com a riqueza, assim como observado por CERQUEIRA (2018), indicando que nesta escala local, com diferentes tipos de substratos, permitem que espécies competidoras possam coexistir, apresentando um maior número de espécies. O preditor disponibilidade de abrigo apresentou relação negativa com a riqueza. No entanto esse resultado contraria dados da literatura (REIS-VENÂNCIO *et al.*, 2022). Muitos quadrantes não apresentaram nenhum abrigo e aqueles que apresentaram algum tipo, tinham no máximo três substratos diferentes. Neste caso específico da Gruna do Pedro Cassiano, a disponibilidade de abrigo estaria representando um ambiente pouco diverso em microhabitats, não sendo capaz de comportar um número maior de espécies.

A distância da entrada não foi um fator determinante na estruturação da comunidade como esperávamos. Isso pode ter decorrido do fato de as coletas de dados do primeiro setor não terem sido feitas imediatamente na entrada da caverna (o primeiro setor amostrado situava-se a cerca de 40 metros da entrada). Assim a influência das espécies do meio epígeo, que transitam na região de entrada, foi reduzida, não

gerando variação na composição e riqueza suficiente para ser explicada pela distância da entrada. Muito embora este resultado contrarie alguns estudos prévios (NOVAK *et al.*, 2012; FURTADO *et al.*, 2022). A distância da entrada acaba influenciando a distribuição das espécies, pois a disponibilidade de recursos tróficos e a heterogeneidade do habitat sofrem redução desde a entrada até as áreas mais profundas (SOUZA-SILVA *et al.*, 2021).

Assim como citado na literatura, os troglóbios tendem ocorrer em maior número em áreas mais profundas das cavernas, principalmente por apresentarem especializações às condições de oligotrofia e dependerem de áreas mais estáveis (NOVAK *et al.*, 2012; SOUZA-SILVA *et al.*, 2021).

Por fim, destacamos o expressivo número de troglóbios encontrados na Gruna do Pedro Cassiano, especialmente considerando que uma única campanha de coleta foi realizada. Este número é bem próximo ao definido para a caracterização de uma caverna como um *Hotspot* de Biodiversidade Subterrânea (20 troglóbios/estigóbios) (CULVER; SKET, 2000). Considerando que a quase totalidades dos *hotspots* de biodiversidade subterrânea ao longo do mundo foram determinados após diversas coletas (geralmente realizadas ao longo de muitos anos), novas campanhas de coleta certamente têm o potencial de revelar espécies adicionais a esta caverna. Destaca-se também que métodos visando a amostragem de microinvertebrados (por exemplo microcrustáceos) não foram empregados, o que aumenta ainda mais as chances de coletas futuras adicionem novas espécies troglóbias à listagem desta caverna. Por fim, esforços para descrição das espécies são fundamentais para a conservação dessa possível área prioritária, que está em uma região que vem sendo impactada pela intensificação de intervenções antrópicas, como o desmatamento (FERREIRA; BERBERT-BORN; SOUZA-SILVA, 2023). A supressão da vegetação nativa no meio epígeo influencia diretamente a disponibilidade de sedimentos orgânicos e inorgânicos nas cavernas (CULVER, 1982; SOUZA-SILVA; MARTINS; FERREIRA, 2011b) e pode contribuir para a homogeneização dos micro-habitats (CARDOSO *et al.*, 2022) desta caverna. Nesse cenário as comunidades de invertebrados da Gruna do Pedro Cassiano podem sofrer alteração no número de espécies e em sua composição.

#### 4. CONCLUSÕES

A estrutura do habitat influencia na estruturação das comunidades de invertebrados da Gru-

na do Pedro Cassiano. Os fatores responsáveis pela variação da composição e riqueza diferem de acordo com a escala de amostragem. Mesmo a distância da entrada não aparecendo nos modelos como um fator determinante na estruturação das comunidades, os recursos orgânicos e a diversidade de substratos tendem a ser mais escassos nas regiões mais profundas o que ajuda explicar a distribuição das espécies. Os troglóbios também estão em maior proporção nas regiões internas da gruta, o que reforça ainda mais esse

padrão para as regiões neotropicais.

## 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos colaboradores do Centro de Estudos em Biologia Subterrânea pelo apoio nas coletas, identificações e análises de dados. Agradecemos também às instituições financiadoras do projeto (FAPEMIG, processo nº PVDEC262-2021, UFLA e CECAV – TCCE ICMBio/Vale 01/2028).

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ANDERSON, M. J.; GORLEY, R. N.; CLARKE, K. R. **PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods**. 2. ed. Plymouth: PRIMER-E, 2008.
- BENTO, D. D. M. *et al.* Seasonal variations in cave invertebrate communities in the semiarid Caatinga, Brazil. **Journal of Cave and Karst Studies**, v. 78, n. 2, p. 61–71, 2016.
- CARDOSO, Rafael Costa; FERREIRA, Rodrigo Lopes; SOUZA-SILVA, Marconi. Multi-spatial analysis on cave ecosystems to predict the diversity of subterranean invertebrates, **Basic and Applied Ecology**, v. 65, 2022, p. 111-122, ISSN 1439-1791, <https://doi.org/10.1016/j.baae.2022.11.007>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1439179122000925>)
- CERQUEIRA, F. R. V. **Invertebrados cavernícolas em um sistema cárstico Neotropical: influência do habitat físico na estruturação das comunidades**. Mestrado em Ecologia—São João del-Rei: Universidade Federal de São João del-Rei, 2018.
- CHRISTIANSEN, K. A. Proposition pour la classification des animaux cavernicoles. **Spelunca Mem.**, v.2, p. 76–78, 1962.
- CULVER, D. C.; PIPAN, T. The Biology of Caves and Other Subterranean Habitats. **Acta Carsologica**, v. 38, n. 2–3, p. 254, 2009.
- CULVER, D.C. **Cave life: Evolution and Ecology**. Harvard University Press, Massachusetts, 1982.
- CULVER, D.C., SKET, B. Hotspots of subterranean biodiversity in caves and wells. **Journal of Caves and Karst Studies**, v. 62, n. 1, p. 11-17, 2000.
- FERREIRA, R.L.; PROUS, X.; MARTINS, R. P. Structure of bat guano communities in a dry Brazilian cave. **Tropical Zoology**, v. 20, n. 1, p. 55-74, 2007.
- FERREIRA, R. L.; BERNARDI, L.F.O.; SOUZA-SILVA, M. Caracterização dos ecossistemas das Grutas Aroê Jari, Kiogo Brado e Lago Azul (Chapada dos Guimarães, MT): subsídios para o turismo nestas cavidades. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 9, p. 41-58, 2009.
- FERREIRA, R. L. *et al.* Spatial and temporal fluctuations of the abundance of neotropical cave-dwelling moth *Hypena* sp. (Noctuidae, Lepidoptera) influenced by temperature and humidity. **Subterranean Biology**, v. 16, n. 1, p. 47–60, 2015.
- FERREIRA, R. L.; BERBERT-BORN, M.; SOUZA-SILVA, M. The Água Clara System in northeastern Brazil: The richest hotspot of subterranean biodiversity in South America. **Diversity**, v. 15, p. 761, 2023. <https://doi.org/10.3390/d15060761>
- FERREIRA, T.; RASBAND, W. ImageJ User Guide ImageJ User Guide IJ 1.46r. Bethesda: National Institutes

- of Health, 2012. Disponível em: <http://fji.sc/guide.git>. Acesso em: 16 abr. 2023.
- FURTADO, L. O. *et al.* Recreational caving impacts of visitors in a high-altitude cave in Bolivian Andes: Main effects on microhabitat structure and faunal distribution. **International Journal of Speleology** v.51, n. 2, p. 93-103, 2022. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.51.2.2418>
- GONZÁLEZ-MEGÍAS, A.; GÓMEZ, J. M.; SÁNCHEZ-PIÑERO, F. Diversity-habitat heterogeneity relationship at diferente spatial and temporal scales. **Ecography**, v. 30, p. 31-41, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2007.04867.x>
- HOWARTH, F.G. Ecology of cave arthropods. **Annual Review of Entomology**, v. 28, p. 365-389, 1983. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.28.010183.002053>
- KOZEL, P., *et al.* **Distributional dynamics of a specialized subterranean community oppose the classical understanding of the preferred subterranean habitats.** *Invertebrate Biology*, v. 3, p. 14, 2019. <https://doi.org/10.1111/ivb.12254>
- MAMMOLA, S.; PIANO, E; ISAIA, M. Step back! Niche dynamics in cave dwelling predators. **Acta Oecologica**, v. 75, p. 35–42, 2016.
- MAMMOLA, S. Finding answers in the dark: caves as models in ecology fifty years after Poulson and White. **Ecography**, v. 42, p. 1331-1351, 2019. <https://doi.org/10.1111/ecog.03905>
- NOVAK T.; PERC M.; LIPOVŠEK S.; JANŽEKOVIC F. Duality of terrestrial subterranean fauna. **International Journal of Speleology**, v. 41, n. 2, p. 181-188, 2012. ISSN 0392-6672. <http://dx.doi.org/10.5038/1827-806X.41.2.5>
- OLIVER, I.; BEATTIE, A. J. Invertebrate morphospecies as surrogates for species: A case study. **Conservation Biology**, v. 10, n. 1, p. 99–109, 1996.
- PACHECO, G.S.M.; SILVA, M.; CANO, E.; FERREIRA, R.L. The role of microhabitats in structuring cave invertebrate communities in Guatemala. **International Journal of Speleology**, v. 49, n. 2, p. 161-169, 2020a. doi: <https://doi.org/10.5038/1827-806X.49.2.2449>.
- PELLEGRINI, T. G. *et al.* Linking spatial scale dependence of land-use descriptors and invertebrate cave community composition. **Subterranean Biology**, Pensoft Publishers, v. 18, p. 17-38, 2016.
- PETERSON, BRIAN G., *et al.* "Package 'performanceanalytics'." R Team Cooperation 3: p.13-14, 2018.
- PROUS, X.; FERREIRA, R.L.; JACOBI, CM. The entrance as a complex ecotone in Neotropical cave. **International Journal of Speleology**, v. 44, n. 2, p. 177-189, 2015.
- POULSON, T. L.; WHITE, W.B. The Cave Environment: Limestone caves provide unique natural laboratories for studying biological and geological processes. **Science**, v. 165, n. 3897, p. 971-981, 1969.
- POULSON, T.L.; CULVER, D. C. Diversity in terrestrial cave communities. **Ecology**, v. 50, n. 1, p. 153-159, 1969.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna (Austria): R Foundation for Statistical Computing, 2020.
- REIS-VENÂNCIO, P. C. *et al.* From light to darkness: the duality of influence of habitat heterogeneity on Neotropical terrestrial cave invertebrate communities. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, p. 1-10, 2022.
- SCHNEIDER, K.; CHRISTMAN, M.C.; FAGAN, W.F. The influence of resource subsidies on cave invertebrates: results from an ecosystem-level manipulation experiment. **Ecology**, v. 92, p. 765-776, 2011. <https://doi.org/10.1890/10-0157.1>
- SCHOBER, P.; BOER, C.; SCHWARTE, L.A. Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation.

**Anesth Analg**, v. 126, n. 5, p. 1763-1768, 2018. doi: 10.1213/ANE.0000000000002864. PMID: 29481436.

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

SKET, B. The nature of biodiversity in hypogean waters and how it is endangered. **Biodiversity and Conservation**, v. 8, p. 1319-1338, 1999. <https://doi.org/10.1023/A:1008916601121>

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 Conservation**, v. 20, p. 1713-1729, 2011b.

SOUZA-SILVA, M. *et al.* Transport and consumption of organic detritos in neotropical limestone cave. **Acta Carsologica / Karsoslovini Zbornik**, v. 41, n. 1, p. 139–150, 2012.

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, 1 out. 2020.

SOUZA-SILVA, M. *et al.* Habitat selection of cave-restricted fauna in a new hotspot of subterranean biodiversity in Neotropics. **Biodiversity and Conservation**, p.1-28, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10531-021-02302-8>

TEWS, J. *et al.* Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. **Journal of Biogeography**, v. 31, p. 79-92, 2004. <https://doi.org/10.1046/j.0305-0270.2003.00994.x>

WYNNE, J. J. *et al.* Fifty years of cave arthropod sampling: Techniques and best practices. **International Journal of Speleology**, v. 48, n. 1, p. 33–48, 2019.

**ANEXOS**

**Anexo 1:** : Lista de táxons de invertebrados e vertebrados avistados na caverna Pedro Cassiano, Serra do Ramalho, Bahia.

Táxons	Espécies/morfótipos	Geral	Setor	Quadrante	Troglóbios
Amblypygi	<i>Charinus troglobius</i>	X	X		X
Araneae	Araneae sp.4		X		X
	Ctenidae sp.4		X		
	Ctenidae sp.8	X			
	<i>Enna</i> sp.1		X		
	<i>Leucauge</i> sp.2	X	X		
	Ochyroceratidae sp.1	X	X	X	X
	Oonopidae sp.4			X	
Pholcidae sp.3			X		

	Theridiosomatidae sp.2	X		
Blattodea	Blattidae imaturo sp.1	X		X
	Blattidae sp.4	X		
Coleoptera	Aleocharinae sp.1		X	
	Cholevinae sp.1		X	X
	Clivinina sp.1		X	
	Clivinina sp.2		X	X
	Clivinina sp.3	X		X
	Larva Coleoptera sp.1		X	X
	Larva Coleoptera sp.2	X		
	<i>Paratachys</i> sp.1		X	
	Staphylinidae sp.1	X	X	
Collembola	<i>Lepidocyrtinus</i> sp.1		X	X
	Symphyleona sp.1		X	X
	<i>Trogolaphysa</i> sp.1		X	X
	<i>Trogolaphysa</i> sp.2		X	X
	<i>Trogolaphysa</i> sp.3	X	X	X
Diptera	Chironomidae sp.2		X	
	Chironomidae sp.3	X	X	
	<i>Clogmia</i> sp.1		X	
	<i>Conicera</i> sp.2		X	
Gastropoda	Gastropoda sp.6	X		
Hemiptera	Vellidae sp.1		X	
	Vellidae sp.2	X	X	

Hymenoptera	Hymenoptera sp.1		X		
	<i>Pheidole</i> sp.1		X		
Isopoda	<i>Pectenoniscus</i> sp.1	X			X
	<i>Xangoniscus</i> sp.1	X	X	X	X
Lepidoptera	Larva de Tineidea sp.1		X		
Opilionida	<i>Eusarcus</i> sp.1	X	X		
	<i>Giupponia chagasi</i> sp.1	X	X		X
	Sclerosomatidae sp.1	X			
Orthoptera	<i>Eidmanacris</i> sp.2	X	X	X	
	<i>Endecous infernalis</i>	X			X
	Ensifera sp.1		X		
	Ensifera sp.2		X		
Palpigradi	<i>Eukoeningenia</i> sp.2		X	X	X
Diplopoda	Pyrgodesmidae sp.1		X		
	Pyrgodesmidae sp.2	X			
	Trichopolydesmidae sp.3		X	X	X
Pseudoscorpiones	Olpiidae sp.1			X	
	<i>Pseudochthonius</i> sp.2		X		X
Chilopoda	Scolopendromorpha sp.1	X			
Siluriforme	<i>Trichomycterus</i> sp.1	X			X