



# 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:

JORDÃO, F. C.; PACHECO, G. S. M.; SOUZA SILVA, M.; FERREIRA, R. L.. Variáveis ambientais determinantes da similaridade da fauna de invertebrados no meio externo e interno em um sistema de cavernas interconectadas. In: MISE, K. M.; GUIMARÃES, G. B.. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 37, 2023. Curitiba. *Anais...* Campinas: SBE, 2023. p.452-456. Disponível em: <[http://www.cavernas.org.br/anais37cbe/37cbe\\_452-456.pdf](http://www.cavernas.org.br/anais37cbe/37cbe_452-456.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)

# VARIÁVEIS AMBIENTAIS DETERMINANTES DA SIMILARIDADE DA FAUNA DE INVERTEBRADOS NO MEIO EXTERNO E INTERNO EM UM SISTEMA DE CAVERNAS INTERCONECTADAS

*SIGNIFICANT ENVIRONMENTAL VARIABLES DETERMINING THE SIMILARITY OF INVERTEBRATE FAUNA IN BETWEEN EXTERNAL AND INTERNAL ENVIRONMENTS IN AN INTERCONNECTED CAVE SYSTEM*

**Felipe Carvajal JORDÃO (1,2); Gabrielle Soares Muniz PACHECO (1,2); Marconi SOUZA SILVA (1,2); Rodrigo Lopes FERREIRA (1,2)**

(1) Universidade Federal de Lavras.

(2) Centro de Estudos em Biologia Subterrânea, Instituto de Ciências Naturais, Departamento de Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, Campus Universitário, CEP 37200-900 Lavras, Minas Gerais, Brasil

**Contatos:** [carvajal.fj1@gmail.com](mailto:carvajal.fj1@gmail.com).

## Resumo

Avaliamos a similaridade da comunidade de invertebrados no interior e na área externa de um sistema de três cavernas no município de Andrelândia, Minas Gerais, juntamente com a influência de variáveis ambientais sobre a composição da comunidade do sistema. Realizamos coletas em quadrantes de 1 x 1 m, com o objetivo de avaliar a similaridade da fauna e a resposta da comunidade em relação à estrutura dos habitats epígeo e hipógeo. A composição da fauna nas cavernas apresentou diferença significativa em relação à área externa adjacente. A composição da comunidade nas áreas externa e interna das cavernas foram influenciadas por disponibilidade de abrigo, recurso orgânico vegetal morto e recurso orgânico animal. A estruturação dos habitats influencia na composição da fauna presente. Os resultados demonstraram que há diferenças significativas na composição da fauna entre os dois ambientes, demonstrando a importância da conservação do ambiente interno e externo.

**Palavras-Chave:** comunidades; sistema hipógeos; áreas de influência.

## Abstract

*We evaluated the similarity of the invertebrate community inside and outside of a system of three caves in Andrelândia – Minas Gerais, as well as the influence of environmental variables on the composition of the community present in this system. We carried out collections in 1m<sup>2</sup> quadrants (1m x 1m), with the objective of evaluating the similarity of fauna and community response concerning the structure of epigeal and hypogeal habitats. The composition of cave fauna showed a significant difference in relation to the adjacent external area. The composition of the community throughout the external and internal region of the caves was influenced by shelter availability, dead plant organic resource and animal organic resource. Habitat structure influences the composition of present fauna. The results demonstrated significant differences in the fauna composition between the two environments, highlighting the significance of conserving the internal and external environments of these dependent and interconnected habitats.*

**Keywords:** communities; hypogeal system; areas of influence.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a preservação das áreas adjacentes às cavidades e que influenciam em seu equilíbrio, foi incluída no arcabouço jurídico para o licenciamento ambiental em empreendimentos potencialmente causadores de impactos negativos irreversíveis (Resolução CONAMA 347/2004, Decreto Federal 6640/2008). Em 2014, foi publicado um documento técnico indicando três critérios para a determinação desta área de influência, são eles: conectividade do sistema subterrâneo através da distribuição de espé-

cies troglóbias; avaliação das espécies de morcegos que aportam recursos (guano) para dentro da caverna e estudos sobre a contribuição de sistemas radiculares de plantas e de animais acidentais para as cavernas (CECAV 2014).

Apesar da relevância dos critérios propostos, eles podem ser subjetivos, ou seja, não foram sistematicamente avaliados ou testados; não contemplam as demais variáveis ambientais que influenciam os sistemas cársticos e estão susceptíveis a alto nível de subjetividade de acordo com o responsável pelo estudo

e/ou análise ambiental. Além desses parâmetros para a determinação da área de influência de uma cavidade, há outros indicadores biológicos que deveriam ser considerados. Entre eles, podemos destacar os fatores ambientais (manutenção da estabilidade ambiental, nível de luminosidade e importação de recursos tróficos alóctones) e ecológicos (comunidade presente, espécies troglomórficas e troglóxenos obrigatórios). Apesar da grande necessidade em delimitar a área de influência das cavernas, pouquíssimos são os estudos biológicos no país abordando esta temática.

Os poucos trabalhos que utilizaram métodos na tentativa de avaliar as relações entre fauna externa e subterrânea foram desenvolvidos abordando apenas as zonas ecotonais da entrada das cavernas (PROUS *et al.*, 2015). Desta forma, são necessários estudos para se definir, de forma segura, os limites das áreas externas que influenciam uma dada caverna ou sistema de subterrâneo.

Assim, esse estudo buscou avaliar a similaridade entre a fauna interna e externa em um sistema de cavernas interconectadas, buscando entender quais variáveis influenciam a composição da fauna.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido em um sistema de três cavernas quartzíticas interconectadas, composto pela Gruta Cabeça de Vaca, Gruta Barra e Gruta João Japonês, (S 21°46'26"/W 44°21'58"), localizadas no município de Andrelândia, sul de Minas Gerais, Brasil.

### 2.2 Coleta de dados

Os dados foram coletados em um evento amostral realizado em junho de 2022. As unidades amostrais são formadas por 13 pontos contendo 3 quadrantes de 1m x 1m cada, totalizando 39 quadrantes. Os pontos foram distribuídos de modo que 6 deles estão presentes na área externa, contemplando 18 quadrantes, e 7 pontos distribuídos ao longo da área interna de todo o sistema de cavernas, totalizando 21 quadrantes. Os dados da estrutura do habitat dentro dos quadrantes foram obtidos através de registros fotográficos e mensurados pela caracterização e quantificação da proporção dos tipos de substratos encontrados em cada quadrante no software ImageJ. A temperatura e umidade dos pontos foram obtidas com o uso de termo-higrômetro digital (precisão de  $\pm 1^\circ\text{C}$  para temperatura e  $\pm 5\%$  para a umidade relativa), disposto ao nível do solo (PELLEGRINI *et al.* 2016, SOUZA-SILVA *et al.* 2021). As coletas dos dados biológicos foram realizadas de forma ativa ma-

nual durante 10 minutos por quadrante, com auxílio de pinça e pincel para a captura dos invertebrados (SOUZA-SILVA *et al.* 2021). As amostras obtidas foram acondicionadas em recipientes contendo solução de álcool 70%.

### 2.3 Identificação da fauna

Posteriormente, com auxílio de lupas estereoscópicas, as amostras biológicas foram triadas e agrupadas em morfótipos.

### 2.4 Análise de dados

A riqueza de espécies (número de morfótipos) da área interna e externa foi feita através do somatório de morfótipos encontrados em cada área, separadamente. A abundância interna e externa foi obtida através da contagem de indivíduos encontrados em cada área, separadamente.

Para investigar a diferença composicional de grupos faunísticos entre as áreas, externa e interna, foi feita uma análise de similaridade (ANOSIM), usando o índice de similaridade de Jaccard tendo locais (interno e externo) como fator de segregação.

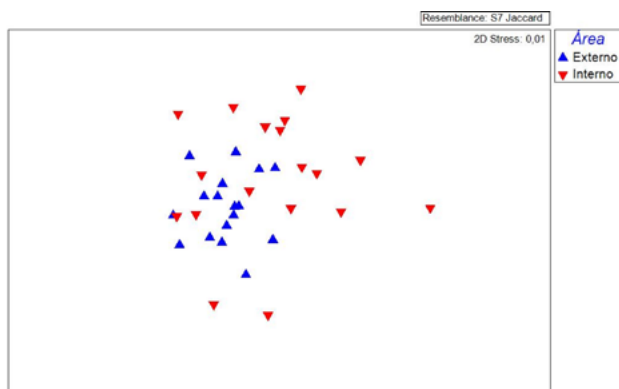
Para representação visual da similaridade (Jaccard) da fauna frente às áreas (externo e interno), foi gerado um modelo gráfico de nMDS.

Para avaliar a influência das variáveis ambientais sobre a composição e riqueza de espécies, foram utilizados modelos lineares baseados em distância (distLM) (ANDERSON *et al.* 2008). Para isso, a variável disponibilidade de abrigo (AB) de cada quadrante foi mensurada pela abundância da quantidade de piso, matacão pequeno, bloco, cascalho grosso, cascalho fino, areia, silte, "hardpan" e poças de água. A variável de recurso orgânico animal (ROA) foi obtida pela abundância da quantidade de guano e carcaça presentes no quadrante. Para a obtenção da variável recurso orgânico vegetal vivo (ROVVIVO) em cada quadrante, foram utilizadas a abundância da quantidade de fanerógamas, criptógamas e raízes, já para a variável recurso orgânico vegetal morto (ROVMORTO), foram agrupadas as variáveis serrapilheira, detritos vegetais, galho fino e galho médio. A diversidade de abrigo (DIVABR) e a diversidade de recursos vegetais (DIVRVEG) foram obtidas para cada quadrante através do Índice de Shannon (H') (MAGURRAN; MCGILL, 2011), utilizando como abundância a porcentagem dos componentes da variável AB, para DIVABR, e os componentes presentes nas variáveis de ROVVIVO e de ROVMORTO, para a variável DIVRVEG. As variáveis utilizadas foram umidade, temperatura, AB, ROA, ROVVIVO, ROVMORTO, DIVABR e DIVRVEG.

Os modelos estatísticos no distLM foram elaborados com o procedimento forward, utilizando o método de informação de Akaike corrigido (AICc) como critério de seleção do modelo, recomendado para casos em que há muitas variáveis para poucas amostras (ANDERSON *et al.* 2008). Os dados de composição e abundância foram tratados utilizando a função square-root para diminuir as discrepâncias entre os valores. Posteriormente, o índice de Jaccard foi utilizado para construir as matrizes de similaridade (ANDERSON *et al.* 2008). A análise de redundância baseada em distância (dbRDA) foi usada para avaliar conjuntamente o percentual de ajuste e explicação dos modelos na variação dos dados de composição (ANDERSON *et al.* 2008). Todas as análises acima foram realizadas no programa estatístico PRIMER - E 7 (<https://www.primers-e.com/>). Foi considerado como nível de significância o valor de  $p < 0,05$ .

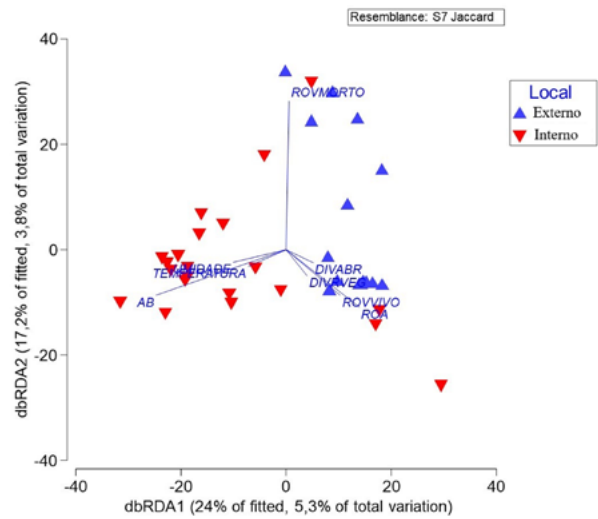
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ambiente externo apresentou maior riqueza, com 124 espécies, e abundância, com 186 indivíduos, em comparação ao ambiente interno, que apresentou 70 espécies e 124 indivíduos. A ANOSIM revelou diferenças significativas na composição da fauna entre as diferentes áreas (internos e externo) (RGlobal = 0,133;  $p = 0,002$ ). O modelo gráfico de nMDS gerado com base na matriz de similaridade de Jaccard, possibilitou observar o agrupamento da fauna em função das áreas externa e interna (Figura 1). A análise de DistLM, mostrou que a composição da fauna nas áreas externa e interna foram influenciadas por AB ( $p = 0,001$ ;  $R^2 = 0,018$ ), ROVMORTO ( $p = 0,002$ ;  $R^2 = 0,031$ ) e ROA ( $p = 0,001$ ;  $R^2 = 0,042$ ). Na área externa, a composição da fauna foi determinada por ROVVIVO ( $p = 0,028$ ;  $R^2 = 0,207$ ). Nenhuma das variáveis medidas explicou variações na composição da fauna quando considerando apenas o ambiente interno das cavernas. O dbRDA mostra que as variáveis medidas explicaram 9,1% da variação da composição da fauna interna e externa quando analisados juntas (Figura 2). Em relação à área externa, o dbRDA mostra que as variáveis explicam 16,3% da variação da fauna (Figura 3 A), já na área interna, o modelo explicou 15,7% (Figura 3 B).

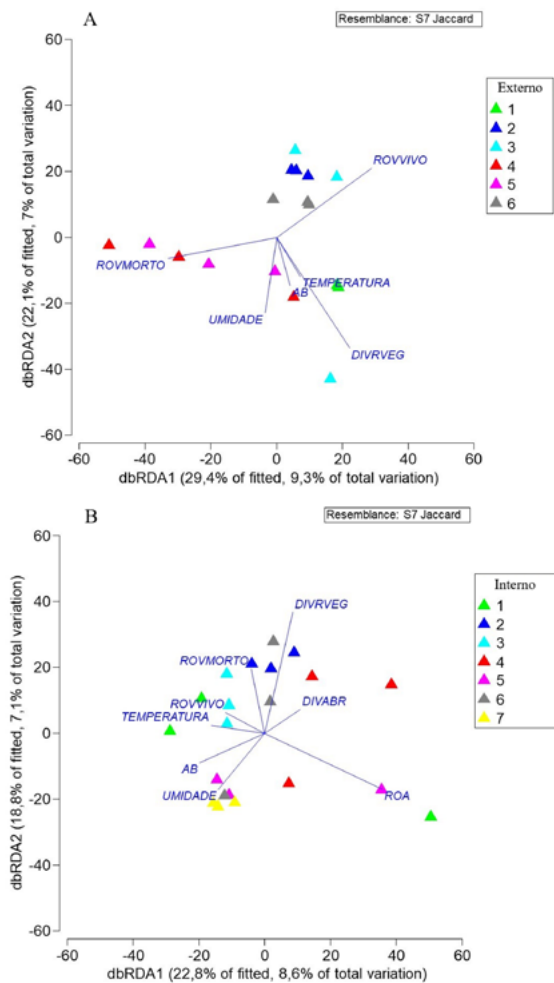


**Figura 1:** Gráfico de nMDS (2D stress = 0,01)

demonstrando a distribuição da similaridade (Jaccard) da fauna para as áreas externa e interna.



**Figura 2:** Análise de redundância baseada em distância (dbRDA) para a composição da fauna nas áreas (externo e interno) em relação às variáveis ambientais.



**Figura 3:** Análise de redundância baseada em distância (dbRDA) para a composição da fauna externa (A) e interna (B) em relação às variáveis ambientais.

### 3.1 Similaridade da fauna entre as áreas

Ambientes subterrâneos, quando comparados aos ambientes externos, apresentam características distintas, como estabilidade climática (umidade e temperatura), ausência de luz permanente e oligotrofia, assim, o que também influencia a fauna que habita esses ambientes, possuindo muitas vezes uma fauna específica (CULVER, 1982). A diversidade das comunidades que habitam cavernas é menor em comparação com as encontradas em ambientes externos (PROUS *et al.*, 2015). Três motivos foram apontados por Sket (1999) para explicar essa diferença: 1 - Acesso limitado ao habitat, já que as entradas são poucas e pequenas em relação à extensão total da caverna, restringindo a capacidade dos organismos de encontrá-las e acessá-las; 2 - Homogeneidade do habitat, uma vez que a diversidade de habitat é muito menor do que em ambientes externos, onde há variações na vegetação e no clima; 3 - Baixa disponibilidade de energia, uma vez que a ausência de produtores primários, limita a quantidade de recursos alimentares disponíveis. Esses fatos explicam o nosso resultado, no qual, houve diferença significativa entre a composição da fauna nas áreas analisadas.

### 3.2 Fatores determinantes na composição da fauna

Em relação as variáveis que influenciaram a composição da fauna nas áreas quando analisadas juntas, as variáveis significativas foram ROVMORTO, ROA e AB. De acordo com Tews *et al.* (2004), a estruturação das comunidades animais e vegetais em ambientes de superfície podem ser consideradas “elementos chave” na paisagem (estruturas espaciais da paisagem que fornecem recursos, abrigo ou condições especiais para as espécies). Assim, as variáveis que influenciaram a fauna nas áreas são ligadas a re-

ursos tróficos e abrigo, o que mostra a importância desses predadores para as comunidades, considerados elementos chaves essenciais para a sobrevivência e conservação das espécies. Recursos alimentares autóctones e alóctones são importantes elementos estruturadores de comunidades em diversos ambientes (MARCZAK *et al.*, 2007; SCHNEIDER *et al.*, 2011). E como muito bem já relatado na literatura, em ambientes oligotróficos como cavernas, as comunidades de invertebrados dependem de recursos alóctones produzindo respostas numéricas positivas na riqueza influenciando a composição (FERREIRA *et al.*, 2009; SCHNEIDER *et al.*, 2011; SOUZA-SILVA *et al.*, 2011).

## 4. CONCLUSÕES

Há diferenças significativas na composição da fauna entre os ambientes interno e externo, ressaltando o fato da importância da conservação dos seus elementos, para proteger as comunidades de invertebrados. Mesmo que diferentes, esses ambientes são ecossistemas interligados e dependentes. Além disso, entender quais variáveis estruturam as comunidades é essencial para embasar cientificamente a legislação que rege o licenciamento ambiental brasileiro para a delimitação de áreas de influência.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Apoio à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e à VALE S. A., processo nº RDP – 00070-18, pelo financiamento do projeto. Agradecemos também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Agradecemos à equipe do Centro de Estudos em Biologia Subterrânea (CEBS/UFLA).

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON, M.; GORLEY, R.; CLARKE, K. PERMANOVA. **for PRIMER: a guide to software and statistical methods**. Primer-e, Plymouth, UK, p. 32, 2008.
- BRASIL. Decreto Federal no 6640, de 07 de novembro de 2008. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 07 nov. 2008.
- BRASIL. Resolução CONAMA no 347, de 10 de setembro de 2004. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 10 set. 2004.
- CECAV. **Área de influência sobre o patrimônio espeleológico: orientações básicas à realização de estudos espeleológicos**. 2014.
- CULVER, D.C. **Cave life: evolution and ecology**. Harvard University Press, Cambridge, 1982.
- FERREIRA, R.L.; MARTINS, R.P. Mapping subterranean resources: The cave invertebrates distribution as indicator of food availability. *Revista Brasileira de Zoociências*, v. 11, n. 2, 2009.

- MAGURRAN, A.E.; MCGILL, B.J. **Biological diversity**. *Frontiers in Measurement and Assessment*, 2011.
- MARCZAK, L.B.; THOMPSON, R.M.; RICHARDSON, J.S. Meta-analysis: trophic level, habitat, and productivity shape the food web effects of resource subsidies. **Ecology**, v. 88, n. 1, p. 140-148, 2007.
- 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.
- 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.
- 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, n. 3, p. 765-776, 2011.
- SKET, B. The nature of biodiversity in hypogean waters and how it is endangered. **Biodiversity and Conservation**, v. 8, n. 10, p. 1319-1338, 1999.
- 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.S.; 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.
- TEWS, J.; BROSE, U.; GRIMM, V.; TIELBÖRGER, K.; WICHMANN, M. C.; SCHWAGER, M.; JELTSCH, F. Diversidade de espécies de animais conduzidos por habitat heterogeneidade / diversidade: a importância das estruturas chave. **Journal of Biogeography**, v. 31, n. 1, p. 79-92, 2004