

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA E BIOLOGIA EVOLUTIVA**



Tamires Zepon

**ZONAÇÃO E ESTRATIFICAÇÃO DA FAUNA SUBTERRÂNEA DE PRESIDENTE
OLEGÁRIO, NOROESTE DE MINAS GERAIS**

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Maria Elina Bichuette

São Carlos

2015

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA E BIOLOGIA EVOLUTIVA**



Tamires Zepon

**ZONAÇÃO E ESTRATIFICAÇÃO DA FAUNA SUBTERRÂNEA DE PRESIDENTE
OLEGÁRIO, NOROESTE DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais (PPG-ERN) como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais sob orientação da Prof^a Dr^a Maria Elina Bichuette

São Carlos

2015

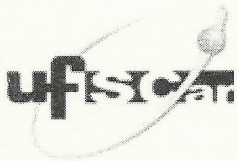
**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

Z57ze Zepon, Tamires.
Zonação e estratificação da fauna subterrânea de
Presidente Olegário, noroeste de Minas Gerais / Tamires
Zepon. -- São Carlos : UFSCar, 2015.
101 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São
Carlos, 2015.

1. Comunidades. 2. Cavernas. 3. Conservação. 4.
Distinção taxonômica. 5. Substratos. I. Título.

CDD: 574.5247 (20^a)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Tamires Zepon, realizada em 06/04/2015:

Profa. Dra. Maria Elina Bichuette
UFSCar

Prof. Dr. José Paulo Leite Guadanucci
UNESP

Profa. Dra. Carmem Silvia Fontanetti Christofolletti
UNESP

*Dedico este trabalho a meus pais, Antonio Carlos e Eleodora, e a meus
irmãos, Muriel e Guilherme*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora, Prof^a Dr^a Maria Elina Bichuette, a quem tenho muito respeito e admiração, pelo seu exemplo como professora e pesquisadora e na sua luta pela conservação. Sou grata pelo acompanhamento durante todo o desenvolvimento do trabalho, por compartilhar seus conhecimentos e pela oportunidade de trabalhar em um ambiente tão importante.

Ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais (PPG-ERN) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) pela infraestrutura para o desenvolvimento do trabalho; ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnologia (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos (Processo nº 132065/2013-4); ao órgão ambiental Instituto Chico Mendes de Biodiversidade (ICMBio) pela licença de coleta (nº 28992-7).

Ao Grupo Pierre Martin de Espeleologia (GPME) pelas informações sobre as cavernas, especialmente ao Ericson C. Igual pela ajuda em campo; a todos que ajudaram nas coletas e que contribuíram com a identificação de material zoológico; aos que ajudaram com as análises estatísticas.

Aos professores membros da banca do exame de qualificação, Angélica M. Penteado-Dias, Danilo M. Silva, Marcelo A. Fernandes, pela análise crítica e contribuições para o trabalho.

Agradeço ao Leonardo pela parceria em campo e na triagem e identificação do material, além dos bons momentos durante a realização do trabalho; a Camile, Jéssica e Jonas por toda ajuda e pelas conversas; a todos os colegas do Laboratório de Estudos Subterrâneos, sempre prestativos, pela troca de ideias e conhecimentos, discussões produtivas, apoio, ajuda e pela agradável companhia e amizade.

Aos moradores de Presidente Olegário: Celma M. P. Camargos e familiares e Jair F. Sales pela hospedagem; José F. de Carvalho, Adão A. Duarte, Roldão P. Pereira, Sra. Mariluci, Sr. Geraldo, Antonio C. de Oliveira, Efigênia C. Ribeiro, José S. Silva, Antônio C. da Mota, Maria D. da Mota e Jair F. Sales pelo acesso às cavernas.

Sou grata a meus grandes amigos Luma, Larissa, Raísa, Murilo, Bruno, Renata, Danilo (Bem) e Mayra, e a meu primo Raphael, pela compreensão da minha ausência em alguns momentos, pelo apoio e por estarem sempre ao meu lado; a Helena que, apesar da distância física, esteve presente em todos os momentos.

A Vanda, Isabella, Raquel, Cláudio, Elayne e Walter pelo apoio.

A Gabriella (Mineira), companheira e amiga, por toda a ajuda, seja em campo ou com planilhas, e principalmente pelo apoio e paciência ao longo desses anos.

A meus pais, Antonio Carlos e Eleodora, minha irmã Muriel e meu irmão Guilherme pelo exemplo, apoio e por acreditarem em mim.

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho, muito obrigada!

ÍNDICE

RESUMO GERAL	1
GENERAL ABSTRACT	3
INTRODUÇÃO GERAL	4
REFERÊNCIAS	8
CAPÍTULO I: SINGULARIDADE FAUNÍSTICA EM CAVERNAS NEOTROPICAIS	11
Resumo	12
Abstract	13
1. Introdução	14
2. Materiais e Métodos	17
2.1. Área de Estudo	17
2.2. Amostragens	17
2.3. Análise de Dados	21
3. Resultados	22
4. Discussão	30
5. Conclusão	38
6. Agradecimentos	39
7. Referências	40
8. Apêndice	45
CAPÍTULO II: INFLUÊNCIA DA COMPLEXIDADE DE HABITATS E MICROHABITATS NA DIVERSIDADE E DISTRIBUIÇÃO DA FAUNA CAVERNÍCOLA NEOTROPICAL	62
Resumo	63
Abstract	64
1. Introdução	65
2. Métodos	67
2.1. Área de Estudo	67
2.2. Amostragens	68
2.3. Análise de Dados	69
3. Resultados	70
4. Discussão	74

5. Agradecimentos	79
6. Literatura Citada	80
7. Tabelas	86
8. Legendas das Figuras	91
9. Figuras	93
10. Informação Suplementar	99
CONSIDERAÇÕES FINAIS	100

RESUMO GERAL

Há diversos fatores que influenciam a riqueza e a distribuição da fauna no ambiente subterrâneo, como a disponibilidade e distribuição dos recursos, as características climáticas locais, a qualidade do habitat e a cobertura vegetal do entorno. Sistemas hipógeos apresentam elevado grau de endemismo, e suas populações apresentam como características intrínsecas um número reduzido de indivíduos e, geralmente, são dependentes de nutrientes importados da superfície. Estes fatores, dentre outros, tornam o meio hipógeo extremamente frágil. Este estudo teve como objetivos verificar quais grupos taxonômicos ocorrem em cavernas de Presidente Olegário, noroeste de Minas Gerais, Brasil, além de verificar, por meio de testes estatísticos, como as variáveis bióticas e abióticas influenciam na distribuição e composição da fauna subterrânea dessa região. Para isso, foram realizadas coletas utilizando métodos combinados de amostragem ao longo de cinco ocasiões de visita, contemplando períodos secos e chuvosos. A área cárstica de Presidente Olegário apresentou elevada riqueza (386 espécies em sete cavernas amostradas). Foi registrada a ocorrência de quatro espécies novas, três registros novos, além de quatro morfotipos troglomórficos. Também se verificou a necessidade e importância da realização de réplicas, uma vez que a detecção de espécies raras aumenta com o número de amostragens. As cavernas apresentaram elevada distinção taxonômica e, portanto, possuem elevada singularidade faunística. A distribuição das espécies está associada de forma positiva às variáveis abióticas (temperatura, umidade relativa e precipitação), as quais podem promover a diversificação de nichos quando alteradas e, conseqüentemente, aumentar a diversidade local. Ainda, padrões faunísticos podem ser alterados por influência da sazonalidade no ambiente subterrâneo. Maiores valores de riqueza e abundância foram registrados nas zonas de entrada e penumbra, onde havia maior quantidade de matéria orgânica. Foi observada a estratificação da fauna subterrânea, com alguns táxons ocorrendo preferencialmente em determinados tipos de substratos, o que provavelmente está relacionado à disponibilidade de recursos alimentares. Portanto, as comunidades terrestres das cavernas estudadas parecem ser estruturadas com base em recursos energéticos e, assim, foi proposta uma teia alimentar para essas cavernas. Diversos impactos e ameaças estão presentes em Presidente Olegário, como atividades agropecuárias, projetos futuros de extração de gás e construção de pequenas centrais hidrelétricas. Assim, essa região com elevada riqueza e singularidade faunística e toda sua área de influência deve ser considerada como prioritária para conservação.

Palavras-chave: Brasil, cavernas, conservação, comunidades, distinção taxonômica, substratos, zonação

GENERAL ABSTRACT

There are several factors that may influence the richness and distribution in the subterranean fauna, just as resource availability and distribution, the local climate characteristics, the quality of the habitat and the vegetation surrounding it. Hypogean systems present high degree of endemism and their populations present as intrinsic characteristics a reduced number of individuals and are usually dependent on nutrients imported from the surface. These factors, among other results in an extremely fragile hypogean environment. This study aimed to verify the taxonomic groups that occur in Presidente Olegário caves, located at northwestern of Minas Gerais, Brazil. Along with that it aimed to verify through statistical tests as the biotic and abiotic variables influence the distribution and composition of subterranean fauna of this region. For these purposes, collections using combined sampling methods occurred in five different visiting occasions, contemplating both dry and rainy periods. The Presidente Olegário karst area presented high richness (386 species in seven caves sampled). Four new species and three new records besides four troglomorphic morphotypes were registered. It was also verified how essential the execution of replics are, since the detection of rare species increases with the number of samplings. The caves presented high taxonomic distinctness and therefore, presented high faunistic singularity. The species distribution is positively associated to abiotic variables (temperature, relative humidity and precipitation), which can promote niche diversification when changed and consequently increase the local diversity. Therefore faunistic patterns can be changed for seasonality influence in the subterranean environment. High values of richness and abundance were registered at the entrance and twilight zones, where higher amounts of organic matter were found. The fauna stratification occurred with some taxa occurring preferentially in certain substrates types, which is probably related to food resources availability. Therefore, the terrestrial communities studied seem to be structured based on energy resources and thus, a food web was built for these caves. Several impacts are present in Presidente Olegário, such as pasture, agriculture and future projects of gas extraction and hydroelectric. Thus, this region with high richness and faunistic singularity and its area of influence should be considered as priority for conservation.

Key words: Brazil, caves, conservation, communities, taxonomic distinctness, substrates, zonation

INTRODUÇÃO GERAL

O ambiente subterrâneo ou hipógeo consiste em espaços interconectados do subsolo de diferentes dimensões, desde fissuras milimétricas até cavernas (JUBERTHIE, 2000). Estas se formam principalmente em rochas carstificáveis, ou seja, passíveis de dissolução (*e.g.*, calcário, dolomito), as quais favorecem a formação de habitats heterogêneos como espaços, fissuras e drenagens preenchidas por água, ar ou ambos. Outros habitats subterrâneos consistem no meio intersticial (microespaços entre cascalhos, solo etc), meio hiporreico (meio intersticial no leito do rio), meio subterrâneo superficial (interface solo-rocha próximo à superfície), e epicarste (sistema heterogêneo de fendas nas camadas superficiais das rochas carstificáveis, nas quais a água percola através do solo e é retida por períodos variáveis). Assim como as cavernas, estes habitats estão sujeitos à colonização de organismos (JUBERTHIE, 2000; CULVER & PIPAN, 2009).

Cavernas variam amplamente em comprimento e profundidade, uma vez que cada uma possui um processo de formação singular, o qual é dependente de fatores como estrutura geológica, presença de recursos d'água, dentre outros (CULVER & PIPAN, 2009). A formação da entrada é o resultado do contato das linhas de fraturas da rocha com a superfície, ocorrendo independentemente do desenvolvimento da caverna e, além disso, é influenciada pelo tipo de rocha. Por isso, há cavernas com muitas entradas e outros espaços subterrâneos sem formação destas (CURL, 1966). Ainda, as cavernas estão conectadas a outros habitats subterrâneos, constituindo um sistema funcional único (DECU & ILIFFE, 1983; HOWARTH, 1983).

Geralmente, três zonas são reconhecidas nas cavernas de acordo com a distância da entrada: zona de entrada, de penumbra e afótica (POULSON & WHITE, 1969; JUBERTHIE, 2000). Em carstes tropicais, grandes passagens horizontais nas zonas afóticas são frequentemente interrompidas por aberturas nas rochas, formando zonas de entrada e penumbra (JUBERTHIE, 2000). De modo geral, o clima no interior da caverna é menos variável em relação ao ambiente de superfície, e a zona afótica possui uma temperatura próxima à média anual da paisagem onde a caverna se insere (POULSON & WHITE, 1969; JUBERTHIE, 2000). Quanto maior a distância das entradas, menor a luminosidade e flutuações de temperatura e umidade relativa (POULSON & WHITE, 1969; JUBERTHIE, 2000; CULVER & PIPAN, 2009). Além disso, segundo alguns autores, cada zona suporta uma comunidade diferente de seres vivos (POULSON & WHITE, 1969; JUBERTHIE, 2000).

Grande parte dos recursos energéticos do meio subterrâneo são alóctones, uma vez que a ausência permanente de luz neste meio impossibilita a existência de organismos fotoautotróficos. Assim, os nutrientes são produzidos por bactérias quimioautotróficas ou são carregados por águas que percolam através de fissuras na rocha, por rios que trazem detritos vegetais e animais mortos, consistem em guano deixado por morcegos ou outros animais, raízes que penetram nas rochas, além de partículas biológicas que podem ser carregadas por correntes de ar, como esporos, pólen, bactérias, fungos e que são denominadas “aeroplâncton” (JUBERTHIE, 2000; POULSON & LAVOIE, 2000; TRAJANO & BICHUETTE, 2006; CULVER & PIPAN, 2009).

As comunidades subterrâneas são compostas por espécies com diferentes estágios de adaptações a este ambiente (GIBERT & DEHARVENG, 2002). Schiner (1854) propôs uma classificação dos organismos subterrâneos de acordo com sua relação e dependência com meio hipógeo. Essa classificação, embora tenha sofrido algumas modificações e redefinições (*e.g.*, Racovitza 1907), é aceita até os dias atuais. Assim, os organismos subterrâneos estão divididos em três categorias ecológico-evolutivas: troglófilos, troglóbios e troglógenos. Os troglógenos são encontrados regularmente no meio subterrâneo, entretanto, como os recursos disponíveis neste meio são insuficientes, devem retornar periodicamente ao ambiente epígeo para que completem o ciclo de vida (*e.g.*, morcegos). Os troglófilos são capazes de completar seu ciclo de vida tanto no meio hipógeo quanto no epígeo, sendo chamados de cavernícolas facultativos. Por fim, são chamadas troglóbias as espécies restritas ao ambiente subterrâneo, as quais podem apresentar troglomorfose - modificações associadas ao isolamento nesse meio. Estas geralmente consistem em caracteres regressivos, como redução de olhos e de pigmentação melânica (BARR & HOLSINGER, 1985).

Além disso, um grande número de táxons endêmicos e relictuais é encontrado nesse ambiente, o que possivelmente está relacionado à relativa estabilidade ambiental e à fragmentação de habitats subterrâneos (POULSON & WHITE, 1969; GIBERT & DEHARVENG, 2002). Há diversos fatores que influenciam a riqueza e a distribuição da fauna no ambiente subterrâneo, como a disponibilidade e distribuição dos recursos, as características climáticas locais, a qualidade do habitat e a cobertura vegetal do entorno (CHRISTMAN & CULVER, 2001).

Em escala global, a biodiversidade subterrânea é alta, apesar de ser subestimada. Muitas áreas foram subamostradas e existe uma deficiência de conhecimentos taxonômicos e faunísticos da maioria dos grupos subterrâneos (GIBERT & DEHARVENG, 2002). Os estudos e conhecimentos produzidos acerca de diferentes áreas cársticas do Brasil e seus

respectivos táxons são heterogêneos, contando com áreas que foram bastante exploradas em diversos temas da zoologia e ecologia, como o Vale do Ribeira, localizado nos estados de São Paulo e Paraná, e outras ainda com estudos escassos (TRAJANO & BICHUETTE, 2010), como a área de estudo do presente trabalho, o município de Presidente Olegário, noroeste do estado de Minas Gerais, Brasil. Segundo o Grupo Pierre Martin de Espeleologia (GPME, com. pes. 2014), mais 200 cavernas foram descobertas até o momento nessa região e, portanto, trata-se de uma área com grande potencial bioespeleológico.

Diversos trabalhos sobre as comunidades terrestres subterrâneas brasileiras foram publicados, entretanto, a maioria não apresenta réplicas padronizadas e testes estatísticos consistentes (*e.g.*, ZPELLINI-FILHO et al., 2003; BAHIA & FERREIRA, 2005; FERREIRA & MARTINS, 2009; SOUZA-SILVA et al., 2011; BERNARDI et al., 2012; FERNANDES & BICHUETTE, 2013; SIMÕES et al., 2014), ou contemplam apenas parte de comunidades terrestres, como aquelas associadas ao guano (*e.g.*, GNASPINI, 1989; FERREIRA & MARTINS, 1998; FERREIRA & MARTINS, 1999; FERREIRA et al., 2000; GNASPINI & TRAJANO, 2000; FERREIRA et al., 2007). Há também trabalhos descritivos, que se baseiam principalmente em observações diretas e dados de literatura (*e.g.*, TRAJANO & GNASPINI, 1991; TRAJANO, 2000).

No Brasil, as cavernas vêm sendo amplamente ameaçadas pela construção de empreendimentos minerários ou hidrelétricos e retirada de vegetação em grande escala para agricultura (*e.g.*, TRAJANO, 2010; GALLÃO, 2012; SIMÕES, 2013). A vulnerabilidade do meio subterrâneo frente a perturbações ambientais deve-se ao tamanho reduzido de suas populações, à dependência de nutrientes importados do meio epígeo, ao elevado grau de endemismo, à baixa tolerância de algumas espécies a estresses ambientais (*e.g.*, troglóbias), dentre outros fatores (TRAJANO & BICHUETTE, 2006).

O Decreto 6.640 da Legislação Brasileira (BRASIL, 2008) analisa atributos ecológicos, biológicos, geológicos, dentre outros para determinar o grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas, sendo que elas podem ser classificadas em relevância máxima, alta, média e baixa. Ainda, a Instrução Normativa nº 2 de 20 de agosto de 2009 descreve a metodologia para classificação do grau de relevância das cavernas. Entretanto, essa legislação apresenta falhas que vêm sendo discutidas por alguns autores (*e.g.*, TRAJANO, 2010; TRAJANO, 2013; GALLÃO & BICHUETTE, 2015), as quais podem prejudicar a conservação do ambiente subterrâneo.

Segundo Trajano e Bichuette (2006) e Trajano et al. (2012), são necessários levantamentos faunísticos e estudos taxonômicos para a aplicação de critérios que visem a

proteção de cavernas, além de diversos estudos ecológicos que forneçam, por exemplo, informações sobre a distribuição espacial e temporal dos organismos para estabelecer estratégias de conservação. A região de Presidente Olegário, Minas Gerais, vem sofrendo com o desmatamento da vegetação nativa dos entornos das cavernas para atividades agropecuárias, e apenas regiões de afloramentos que dificultam ou impossibilitam o uso para esses fins possuem vegetação preservada, além de estar ameaçada pela construção de pequenas centrais hidrelétricas e projetos para extração de gás.

Esse estudo buscou verificar a influência de fatores bióticos e abióticos nas comunidades subterrâneas, trazendo contribuições científicas acerca da biodiversidade, visto que conhecimentos acumulados nesse campo são fundamentais tanto para estudos ecológicos quanto para estudos taxonômicos, e indispensáveis para a compreensão da diversidade e evolução dos organismos subterrâneos. Para isso, a realização de réplicas é fundamental, pois permite testar padrões biológicos e, então, entender como a fauna se comporta. Ainda, levantamentos biológicos são essenciais para o conhecimento de processos e padrões evolutivos, os quais vão refletir na estrutura e no funcionamento da comunidade (TRAJANO et al., 2012). Dessa forma, estudos científicos na região podem contribuir para o estabelecimento de estratégias de proteção do ambiente subterrâneo e de sua fauna associada.

REFERÊNCIAS

- BAHIA, G. R.; FERREIRA, R. L. Influência das características físico-químicas e da matéria orgânica de depósitos recentes de guano de morcego na riqueza e diversidade de invertebrados de uma caverna calcária. *Revista Brasileira de Zoociências*, v. 7, n. 1, p. 165-180, 2005.
- BARR, T. C.; HOLSINGER, J. R. Speciation in cave faunas. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 16, n., p. 313-337, 1985.
- BERNARDI, L. F. O.; PELLEGRINI, T. G.; TAYLOR, E. L. S.; FERREIRA, R. L. Aspectos ecológicos de uma caverna granítica no sul de Minas Gerais. *Espeleo-Tema*, v. 23, n. 1, p. 5-11, 2012.
- BRASIL. Decreto Nº 6.640, de 7 de novembro de 2008. Altera o Decreto no 99.556, de 1º de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm >
Acessado em 20 de dezembro de 2014.
- CHRISTMAN, M. C.; Culver, D. C. The relationship between cave biodiversity and available habitat. *Journal of Biogeography*, v. 28, n. 3, p. 367–380, 2001.
- CULVER, D. C.; PIPAN; T. *The biology of caves and other subterranean habitats*. Oxford: Oxford University Press, 2009. 256p.
- CURL, R.L. Caves as a measure of karst. *The Journal of Geology*, v. 74, n. 5, p. 798-830, 1966.
- DECU, V. G.; ILIFFE, T. M. A review of the terrestrial cavernicolous fauna of Romania. *Bulletin of the National Speleological Society*, v. 45, p. 86-97, 1983.
- FERNANDES, C. S.; BICHUETTE, M. E. Levantamento preliminar de invertebrados em três cavernas areníticas do Rio Grande do Sul, Brasil. *Espeleo-Tema*, v. 24, n. 1, p. 41-47, 2013.
- FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Diversity and distribution of spiders associated with bat guano piles in Morrinho Cave (Bahia State, Brazil). *Diversity and Distribution*, v. 4, p. 235-24, 1998.
- FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities with special reference to Brazilian caves. *Tropical Zoology*, v. 12, n. 2, p. 231-259, 1999.
- 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, p. 119-127, 2009.
- FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P.; YANEGA, D. Ecology of bat guano arthropod communities in a Brazilian dry cave. *Ecotopica*, v. 6, n. 2, p. 105–116, 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.
- GALLÃO, J.E. *Estado de conservação e dados de distribuição da fauna troglóbia brasileira com propostas de áreas prioritárias para proteção*. 2012. 93f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- GALLÃO, J. E.; BICHUETTE, M.E. Taxonomic distinctness and conservation of a new high biodiversity subterranean area in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 87, n. 1, p. 209-217, 2015.
- GIBERT, J.; DEHAVENG, L. Subterranean Ecosystems: A Truncated Functional Biodiversity. *Bioscience*, v. 52, n. 6, p. 473-481, 2002.
- GNASPINI, P. Análise comparativa da fauna associada a depósitos de guano de morcegos cavernícolas no Brasil. Primeira aproximação. *Revista Brasileira de Entomologia*, v. 33, p. 183-192, 1989.
- GNASPINI, P.; TRAJANO, E. Guano communities in tropical caves. In: WILKENS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHREYS, W. F. (Eds.). *Ecosystems of the World. Subterranean Ecosystems*. Amsterdam: Elsevier Science, 2000. p. 251-269.
- HOWARTH, F.G. Ecology of cave arthropods. *Annual Review of Entomology*, v. 28, n. 1, p. 365-389, 1983.
- JUBERTHIE, C. 2000. The diversity of the karstic and pseudokarstic hypogean habitats in the world. In: WILKENS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHREYS, W. F. (Eds.). *Ecosystems of the World. Subterranean Ecosystems*. Amsterdam: Elsevier Science, 2000. p. 17-39.
- POULSON, T. L.; LAVOIE, K. H. The trophic basis of subsurface ecosystems. In: WILKENS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHREYS, W. F. (Eds.). *Ecosystems of the World. Subterranean Ecosystems*. Amsterdam: Elsevier Science, 2000. p. 231-249.
- POULSON, T. L.; WHITE, W. B. The cave environment. *Science*, v. 165, n. 3897, p. 971-980, 1969.
- SIMÕES, L. B. *Biodiversidade da fauna subterrânea na área cárstica de São Domingos, nordeste de Goiás: relevância versus visibilidade de táxons*. 2013. 197f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- SIMÕES, M. H., SOUSA-SILVA, M.; FERREIRA, R. L. 2014. Cave invertebrates in northwestern Minas Gerais State, Brazil: endemism, threats and conservation priorities. *Acta Carsologica*, v. 43, n. 1, p. 159-174.
- 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, n. 8, p. 1713-1729, 2011.
- TRAJANO, E. Cave faunas in the Atlantic tropical rain forest: composition, ecology and conservation. *Biotropica*, v. 32, n. 4, p. 882-893, 2000.

- TRAJANO, E. Política de conservação e critérios ambientais: princípios, conceitos e protocolos. *Estudos Avançados*, v. 24, n. 68, p. 135-146, 2010.
- TRAJANO, E. Variações anuais e infra-anuais em ecossistemas subterrâneos: implicações para estudos ambientais e preservação de cavernas. *Revista da Biologia*, v. 10, n. 2, p. 1-7, 2013.
- TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. *Biologia subterrânea: Introdução*. São Paulo: Redespeleo, 2006, 92p.
- TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. Diversity of Brazilian subterranean invertebrates, with a list of troglomorphic taxa. *Subterranean Biology*, v. 7, p. 1-16, 2010.
- TRAJANO, E.; GNASPINI, P. Notes on the food webs in caves of southeastern Brazil. *Mémoires de Biospéologie*, Moulis, v. 8, p. 75-79, 1991.
- TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E.; BATALHA, M. A. Environmental studies in caves: the problems of sampling, identification, inclusion, and indices. *Espeleo-Tema*, v. 23, n. 1, p. 13-22. 2012.
- ZEPPELINI-FILHO, D.; RIBEIRO, A. C.; RIBEIRO, G. C.; FRACASSO, M. P. A.; PAVANI, M. M.; OLIVEIRA, O. M. P.; OLIVEIRA, S. A.; MARQUES, A. C. Faunistic survey of sandstone caves from Altinópolis region, São Paulo State, Brazil. *Papéis Avulsos de Zoologia*, v. 43, n. 5, p. 93-99, 2003.

CAPÍTULO I

SINGULARIDADE FAUNÍSTICA EM CAVERNAS NEOTROPICAIS

Tamires Zepon e Maria Elina Bichuette

RESUMO

O ambiente subterrâneo abriga diferentes comunidades de animais, principalmente invertebrados, em diferentes escalas de tempo e espaço. Assim, este estudo teve como objetivos verificar quais grupos taxonômicos ocorrem em cavernas de Presidente Olegário, Minas Gerais, sudeste do Brasil, e categorizá-los de acordo com a classificação ecológico-evolutiva; determinar a distinção taxonômica das comunidades de sete cavernas dessa região; e verificar se a distribuição dessa fauna está associada às variáveis abióticas (temperatura, umidade relativa, precipitação). Foram realizadas coletas em cinco ocasiões de visita contemplando períodos secos e chuvosos. A área cárstica de Presidente Olegário apresentou elevada riqueza (386 espécies) nas sete cavernas amostradas, pertencentes à 11 classes, 28 ordens e 75 famílias. Alguns grupos taxonômicos registrados são comuns em cavernas tropicais e subtropicais brasileiras, enquanto que outros são principalmente tropicais. Foi registrada a ocorrência de quatro espécies novas, três registros novos, além de quatro morfotipos troglomórficos, evidenciando a importância biogeográfica dessa área. As cavernas apresentaram elevada distinção taxonômica e, portanto, possuem elevada singularidade faunística, a qual consiste na principal justificativa para a conservação de ambientes subterrâneos. Também se verificou que a distribuição das espécies está associada de forma positiva à temperatura, à umidade relativa e à precipitação, as quais quando sofrem variações podem promover a diversificação de nichos e, conseqüentemente, aumentar a diversidade local. Assim, devido à elevada singularidade faunística e aos impactos presentes em Presidente Olegário, como o desmatamento dos entornos para a realização de atividades agropecuárias, essa área cárstica e toda sua área de influência deve ser considerada como prioritária para conservação.

Palavras-chave: Brasil, conservação, comunidades cavernícolas, distinção taxonômica, riqueza, variáveis ambientais

ABSTRACT

The subterranean environment shelters different animal communities, mainly invertebrates in different scales of space and time. Thus, this study aimed to verify the taxonomic groups that occur in Presidente Olegário caves, Minas Gerais state, located in southeast Brazil, to categorize them according to the ecological-evolutionary classification, to determine the taxonomic distinctness of communities from seven caves of this region and to verify if the fauna distribution is related to abiotic variables (temperature, relative humidity, precipitation). The collections occurred in five occasions contemplating dry and rainy periods. The Presidente Olegário karst area presented high richness (386 species) in the seven sampled caves, belonging to 11 classes, 28 orders and 75 families. Some registered taxonomic groups are common in Brazilian tropical and subtropical caves, whereas others are mainly tropical. It was registered the occurrence of four new species and three new records besides four troglomorphic morphotypes, evidencing the biogeographical importance of this area. The caves presented high taxonomic distinctness and therefore, have high faunistic singularity which is the main justification for conservation of subterranean environments. It was also verified that the species distribution is positively associated to temperature, relative humidity and precipitation, which, whenever subjected to variations, can promote diversification of the niches and, consequently, the increase of the local diversity. Thus, due to the high faunistic singularity and the impacts present in Presidente Olegário, as the deforestation around caves to do cattle and agriculture activities, this karst area and its influence area should be considered as priority for conservation.

Key words: Brazil; conservation; caves communities; taxonomic distinctness; richness; environmental variables

INTRODUÇÃO

O ambiente subterrâneo ou hipógeo consiste em espaços interconectados do subsolo de diferentes tamanhos, desde microespaços até cavernas (JUBERTHIE, 2000). Estas se formam principalmente em rochas carstificáveis, como as carbonáticas (CULVER & PIPAN, 2009) e, geralmente, apresentam três zonas - entrada, penumbra e afótica. As características ambientais do meio hipógeo diferem do epígeo pela ausência total de luz nas zonas mais profundas e conseqüentemente, de fotoperíodo, variações anuais moderadas de temperatura e umidade relativa do ar próxima à saturação (JUBERTHIE, 2000). Ainda, nesse ambiente os recursos energéticos consistem principalmente em matéria alóctone, com produção primária baseada em bactérias quimiossintetizantes (CULVER & PIPAN, 2009).

Segundo a classificação ecológico-evolutiva de Schiner-Racovitza (1907), os organismos subterrâneos estão inseridos em três categorias principais: troglógenos, troglófilos e troglóbios. Os troglógenos são aqueles que devem retornar periodicamente ao ambiente epígeo para que completem o ciclo de vida, como se alimentar ou reproduzir (*e.g.*, morcegos e algumas espécies de opiliões); os troglófilos são capazes de completar seu ciclo de vida e estabelecer populações tanto no meio hipógeo quanto no epígeo; e os troglóbios são as espécies restritas ao ambiente subterrâneo. Estes podem apresentar troglomorfismos (autapomorfias), que são modificações associadas ao isolamento nesse ambiente e geralmente consistem em caracteres regressivos, como redução de olhos e de pigmentação melânica cutânea (BARR & HOLSINGER, 1985).

Em escala global, a biodiversidade subterrânea é alta e também possui elevada riqueza de endemismos, a qual está diretamente relacionada à fragmentação de habitats subterrâneos e à relativa estabilidade desse ambiente (GIBERT & DEHARVENG, 2002; GALLÃO & BICHUETTE, 2015).

Em estudos biogeográficos e estudos comparativos de fauna subterrânea é importante diferenciar diversidade geral, a qual se relaciona com aspectos ecológicos (*e.g.*, disponibilidade de recursos e colonizadores potenciais epígeos) e inclui os troglógenos, troglófilos e troglóbios; e diversidade de troglóbios, a qual é consequência de fatores históricos (*e.g.*, oportunidade de isolamento de habitats) (TRAJANO, 2001; TRAJANO & BICHUETTE, 2010). Ainda, os troglóbios frequentemente possuem populações pequenas e com baixa resiliência e, portanto, são frágeis e vulneráveis a alterações ambientais (GALLÃO & BICHUETTE, 2012).

Muitos estudos têm mostrado que o ambiente subterrâneo abriga diferentes comunidades animais, principalmente invertebrados, em diferentes escalas de tempo e espaço (GIBERT & DEHARVENG, 2002). As comunidades são resultantes de processos ecológicos, como competição interespecífica (HUTCHINSON, 1959) e filtros ambientais, ou seja, do conjunto de condições ambientais que selecionam o *pool* de espécies que pode ocorrer em determinado habitat (KEDDY, 1992; WEIHER & KEDDY, 1995), e de processos evolutivos passados e contínuos (ACKERLY, 2003; CIANCIARUSO et al., 2009). Medidas de diversidade filogenética incorporam as relações filogenéticas das espécies (MAGURRAN, 2004) e analisam processos ecológicos que organizam a comunidade (WEBB et al., 2002). Além disso, contribuem para estratégias de conservação, já que é mais interessante manter áreas com maior diversidade filogenética, pois há maior perda de informação genética quando uma espécie sem parentes próximos é extinta, a qual deixa de contribuir para o processo evolutivo causando uma perda ao ambiente (WILLIAMS et al., 1991; CIANCIARUSO et al., 2009). Assim, essas medidas têm se mostrado mais sensíveis para detectar respostas das comunidades às mudanças ambientais do que as medidas tradicionais (RICOTTA et al., 2005; CIANCIARUSO et al., 2009).

Dentre diversos fatores, as comunidades subterrâneas são influenciadas pela sazonalidade, pois períodos chuvosos favorecem a entrada de matéria orgânica nas cavernas, aumentando a disponibilidade de recursos energéticos para a fauna, enquanto que em períodos secos a entrada de matéria orgânica por carreamento e por infiltração geralmente são limitadas (HÜPPOP, 2000). Além da quantidade de matéria orgânica, a qualidade desta também influencia na estrutura da comunidade (GNASPINI, 1989; FERREIRA & MARTINS, 2009), pois ao longo do tempo os recursos se modificam por processos físicos e químicos e perdem qualidade (GNASPINI & TRAJANO, 2000; SIMON et al., 2007; BAHIA & FERREIRA, 2005).

A vulnerabilidade da fauna subterrânea às perturbações e ameaças presentes no entorno de cavernas (TRAJANO & BICHUETTE, 2006) torna estes ambientes frágeis. Na área cárstica de Presidente Olegário, Minas Gerais, sudeste do Brasil, há diversos impactos causados por atividades agropecuárias, em alguns casos com o uso de agrotóxicos, além de ser uma área ameaçada pela construção de pequenas centrais hidrelétricas e projetos de extração de gás. Considerando-se que a Legislação Brasileira, por meio do Decreto 6640 (BRASIL, 2008), regulamenta o uso das cavernas para uso econômico e estabelece níveis de relevância para as cavidades de acordo com diversos atributos biológicos e físicos, dentre

outros, levantamentos faunísticos robustos com testes de diversidade filogenética são fundamentais para estratégias de conservação (GALLÃO & BICHUETTE, 2015).

No presente trabalho (1) foram verificados quais grupos taxonômicos de invertebrados terrestres ocorrem nas cavernas de Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil, e foram categorizados de acordo com relação ecológico-evolutiva com os habitats subterrâneos (Schiner-Racovitza), bem como foi verificada a ocorrência de espécies raras, novas e/ou troglomórficas; (2) foi calculada a distinção taxonômica (*Taxonomic Distinctness*) para sete cavernas de Presidente Olegário; e (3) foi verificada se a distribuição da fauna está associada a algumas variáveis abióticas (temperatura, umidade relativa e precipitação).

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área cárstica do estudo está localizada no município de Presidente Olegário (18°25'4" S, 46°25'4" W), noroeste do estado de Minas Gerais, Brasil (Fig. 1). Pertence à unidade geomorfológica Bambuí (Grupo Pierre Martin de Espeleologia - GPME, com. pes. 2014) que possui a mais extensa ocorrência de calcário no Brasil e duas formações carbonáticas favoráveis à formação de cavernas. Os afloramentos do Grupo Bambuí abrangem as porções centro-leste e sudeste de Goiás, centro-oeste e noroeste de Minas Gerais e oeste da Bahia (KARMANN & SÁNCHEZ, 1979; AULER et al., 2001).

O município está inserido ao sul da bacia hidrográfica do Alto São Francisco, sub-bacia do rio Paracatu, com a vegetação nativa pertencente ao Domínio morfoclimático dos Cerrados (sensu AB' SABER, 1977), e floresta estacional semi-decídua próximos aos afloramentos calcários. O clima da região é classificado como tropical sub-quento e semi-úmido (NIMER, 1989). Atividades agropecuárias são desenvolvidas na região, e boa parte da vegetação nativa foi retirada para a implementação de pastagens e plantações, inclusive em áreas que margeiam as cavernas existentes. Além disso, consiste em uma área ameaçada pela construção de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs).

Sete cavernas calcárias do município de Presidente Olegário foram estudadas: Lapa Vereda da Palha (VP) (18°15'18.77" S, 46°07'33.63" W), Lapa da Fazenda São Bernardo (SB) (18°16'36.83" S, 46°06'45.52" W), Lapa Zé de Sidinei (ZS) (18°18'05.62" S, 46°05'40.63" W), Lapa Arco da Lapa (AL) (18°12'31.3" S, 46°08'53.3" W), Lapa do Moacir (LM) (18°11'09.67" S, 46°09'34.49" W), Toca do Charco (TC) (18°11'05.63" S, 46°09'39.31" W) e Gruta da Juruva (GJ) (18°19'19.20" S, 46°04'52.90" W). Destas cavernas, apenas a Lapa Vereda da Palha foi parcialmente mapeada pelo GPME.

Amostragens

As amostragens foram realizadas contemplando períodos secos e chuvosos ao longo de cinco ocasiões de visita (Setembro/2013, Janeiro, Abril, Junho e Setembro/2014), com exceção da Lapa do Moacir que não foi amostrada na primeira campanha de campo, e da Gruta da Juruva que foi amostrada em apenas duas ocasiões.



FIGURA 1: Mapa da região de estudo: área cárstica de Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil. (A) América do Sul; (B) estado de Minas Gerais e município de Presidente Olegário; (C) Cavernas amostradas. Legenda: VP = Lapa Vereda da Palha, SB = Lapa da Fazenda São Bernardo, ZS = Lapa Zé de Sidinei, AL = Lapa Arco da Lapa, LM = Lapa do Moacir, TC = Toca do Charco, GJ = Gruta da Juruva. Disponibilizado por Bolfarini, M.P. e Resende, L.P.A.

Bases de amostragens foram estabelecidas em diferentes zonas nas cavernas, nas quais as coletas de fauna foram realizadas em diferentes substratos (paredes, blocos de rochas, areia, argila, manchas de guano, acúmulos de matéria orgânica vegetal) por meio de métodos de coleta combinados: busca ativa, que consiste em percorrer o ambiente procurando e coletando os organismos avistados; método de *Quadrats* (KREBS, 1989), pelo qual a área de um quadrado (no caso, 50 cm x 50 cm) é delimitada e durante um tempo pré-determinado todos os indivíduos avistados são coletados; e extratores *Winkler*, que consistem em funis com uma tela onde a serapilheira é colocada e com um recipiente acoplado à extremidade inferior contendo álcool 70% para fixar os organismos. Na primeira ocasião de visita, as metodologias e o tempo de coleta para cada base foram determinados, os quais foram padronizados nas amostragens subsequentes (Tabela 1). Para fins comparativos, foi realizada a coleta de folhicho no ambiente epígeo, utilizando tanto busca ativa quanto extratores *Winkler*.

As variáveis ambientais (umidade relativa e temperatura) foram mensuradas nas bases de amostragens (sítios) com termohigrômetro digital. Dados de precipitação da estação meteorológica mais próxima da área de estudo (Patos de Minas, estado de Minas Gerais) foram extraídos da página do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para cada ocasião de visita, foi realizada a média de 30 dias de precipitação, considerando um lastro de 25 dias antecedente as coletas, além dos dias em que as amostragens foram realizadas (cinco dias).

Os invertebrados terrestres foram fixados *in loco* e identificados em laboratório até o nível taxonômico menos inclusivo possível (BRUSCA & BRUSCA, 2003; BORROR et al., 1989; RAFAEL et al., 2012; RUPPERT et al., 2005). Parte do material foi identificado por especialistas: Bolfarini, M.P. (Orthoptera - LES/UFSCar), Brescovit, A. (Ctenidae - Instituto Butantan), Carvalho, L.S. (Pholcidae - UFG), Chagas-Jr, A. (Chilopoda - UFMT), Fernandes, C.S. (Isopoda - LES/UFSCar), Gallão, J.E. (Scorpiones - LES/UFSCar), Gallo, J.S. (Diplopoda - LES/UFSCar), Hara, M.R. (Opiliones - USP), Pinto-da-Rocha, R. (Opiliones - USP), Prado, L.P. (Formicidae - Museu de Zoologia/USP), Resende, L.P.A. (Opiliones e Araneae - LES/UFSCar), Rodrigues, E.N.L. (Lyniphidae, Theriidae, Theridiosomatidae e outras Araneomorphae - UniSinos), Santana, H.G. (Reduviidae - Instituto Fiocruz), von Shimonsky, D.M. (Pseudoscorpiones - LES/UFSCar). Quando a identificação não atingiu o nível de espécie, foram utilizadas hierarquias superiores e os exemplares foram classificados em morfotipos. Indivíduos imaturos que não puderam ser identificados ou comparados com os possíveis adultos foram excluídos das análises a fim de evitar vieses.

TABELA 1: Desenvolvimento das cavernas; bases estabelecidas em diferentes zonas em cada caverna; método e tempo de amostragem utilizados em cada base das cavernas amostradas em Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil.

Caverna	Desenvolvimento (metros) ^a	Base	Zona	Método de Amostragem	Tempo de Amostragem (minutos) ^b
Lapa Vereda da Palha	2500	VPØ1 VPØ2 VPØ3 VPØ4 VPØ5 VPØ6	ZE ZP ZP ZP ZA ZA ZP	Busca ativa; Quadrats (9) ^d Busca ativa Busca ativa Busca ativa Busca ativa Busca ativa Winkler	40; 55 60 60 60 60 60
Lapa da Fazenda São Bernardo	2000	SBØ1 SBØ2 SBØ3 SBØ4 SBØ5	ZE ZP ZP ZP ZA	Busca ativa Busca ativa Busca ativa Busca ativa Busca ativa; Quadrats (7) ^d	90 105 100 100 50; 50
Gruta da Juruva	1103	GJØ1 GJØ2 GJØ3 GJØ4	ZE ZP ZP ZA	Busca ativa; Quadrats (8) ^d Busca ativa; Quadrats (4) ^d Busca ativa; Quadrats (4) ^d Busca ativa; Quadrats (4) ^d	50; 40 35; 20 20; 20 20; 20
Lapa Zé de Sidinei	650	ZSØ1 ZSØ2 ZSØ3	ZE ZP ZA	Busca ativa; Quadrats (11) ^d Busca ativa; Quadrats (9) ^d Busca ativa	90; 40 75; 35 120
Lapa Arco da Lapa	500	ALØ1 ALØ2 ALØ3 ALØ4	ZE ZP ZP ZP	Busca ativa Busca ativa Busca ativa Busca ativa	60 45 70 185
Lapa do Moacir	200	LMØ1 LMØ2	ZE ZP ^c	Busca ativa Busca ativa	100 60
Toca do Charco	80	TCØ1	ZP	Busca ativa	135

Legenda: ZE: Zona de Entrada; ZP: Zona de Penumbra; ZA: Zona Afótica. ^a Consideramos como desenvolvimento a projeção horizontal de cada caverna (Dados cedidos pelo GPME); ^b por ocasião de visita; ^c base amostrada somente em três viagens devido a ocorrência de chuva forte em uma ocasião de visita; ^d número de quadrados amostrados.

Análises dos dados

Para a elaboração da listagem faunística foram verificados quais grupos taxonômicos ocorreram nas cavernas amostradas, e espécies novas e troglomórficas foram destacadas. Ainda, quando possível, os exemplares foram categorizados em troglógenos, troglófilos e troglóbios de acordo com dados da literatura e comparando com as amostragens epígeas. Alguns exemplares foram fotografados com uma câmera Leica DFC 295 acoplada a um estereomicroscópio Leica M205C com objetiva Planapo 1.0x. As figuras foram produzidas por meio de montagem de múltiplas fotos utilizando o software LAS (Leica Application Suite v. 3.7).

Gráficos foram construídos para verificar as proporções de morfotipos em nível de classe e de ordem dessas cavernas. Para verificar se a fauna das cavernas amostradas difere em relação à diversidade filogenética, foi realizada a medida de distinção taxonômica (*Taxonomic Distinctness* - TD), a qual é a distância taxonômica média entre quaisquer dois indivíduos de espécies diferentes sorteados em uma comunidade (CLARKE & WARWICK, 1998). Trata-se de uma medida robusta (CIANCIARUSO et al. 2009), pois é independente do grau de esforço amostral, contrastando com outras medidas de diversidade que são fortemente influenciadas pelo número de espécies observado (CLARKE & WARWICK, 1998). A análise foi efetuada através do programa R versão 3.1.2. (R CORE TEAM, 2014).

Por fim, para verificar se as variáveis abióticas (temperatura, umidade relativa do ar e precipitação) influenciam a distribuição da fauna, uma análise de correspondência canônica (CCA) foi realizada (LEGENDRE & LEGENDRE, 1998), associando os dados das variáveis ambientais com a matriz de ocorrência de táxons em diferentes bases de amostragens. No diagrama de ordenação da Análise de Correspondência Canônica (CCA), quanto mais próximos os grupos taxonômicos ou os sítios dos vetores das variáveis ambientais, mais forte é a associação entre eles. O programa R versão 3.1.2. (R CORE TEAM, 2014) foi utilizado para efetuar essa análise.

RESULTADOS

Foram registrados 386 morfotipos para a área cárstica de Presidente Olegário, pertencentes a 11 Classes (Arachnida, Chilopoda, Clitellata, Diplopoda, Insecta, Gastropoda, Entognatha, Malacostraca, Nematoda, Symphyla, Turbellaria), 28 Ordens (Araneae, Acari, Pseudoscorpiones, Opiliones, Scorpiones, Geophilomorpha, Lithobiomorpha, Scolopendromorpha, Haplontaxida, Spirostreptida, Polydesmida, Polyxenida, Collembola, Diplura, Archaeognatha, Blattaria, Coleoptera, Dermaptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Isoptera, Lepidoptera, Orthoptera, Psocoptera, Zygentoma, Isopoda, Tricladida) e 75 famílias. A listagem faunística completa encontra-se no Apêndice 1. Em relação às classes, os insetos representaram 51% dos morfotipos e os aracnídeos 26% (Fig. 2A). Dentro da Classe Insecta, 31% dos morfotipos pertencem à Ordem Coleoptera, 24% aos Diptera e 17% aos Hymenoptera (Fig. 2B); e dentre os Arachnida, 49% pertencem à Ordem Araneae e 35% aos Acari (Fig. 2C).

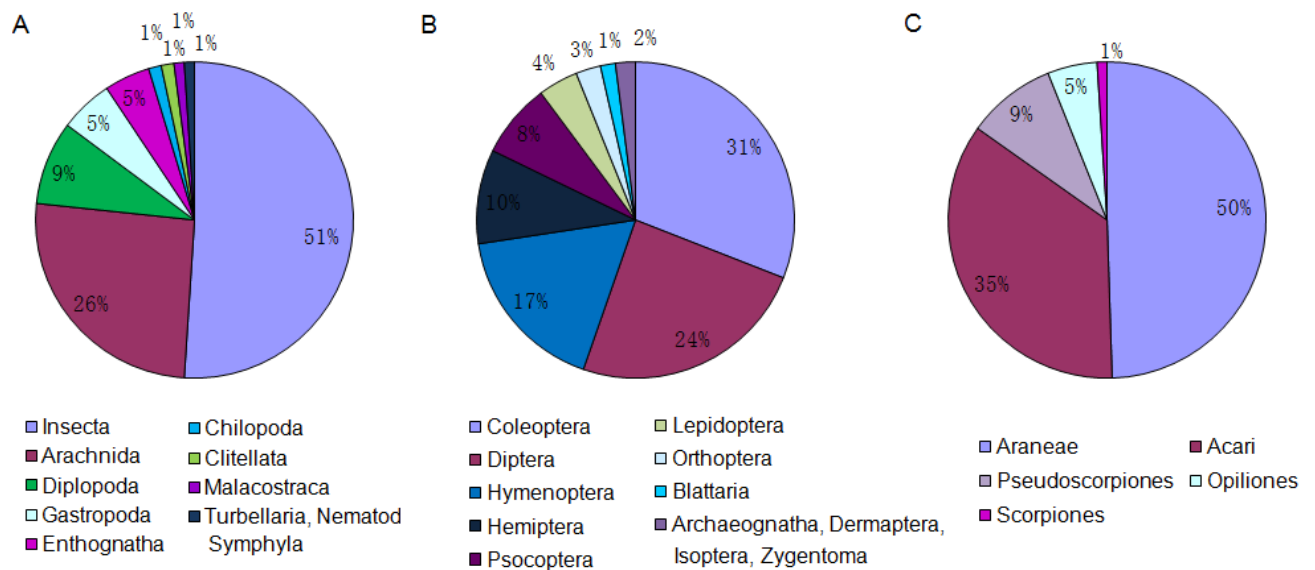


FIGURA 2: Porcentagens de morfotipos (A) de diferentes classes; (B) de Insecta; e (C) de Arachnida registrados na área cárstica de Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil.

Até o momento, foram confirmadas a presença de quatro espécies novas: uma aranha do gênero *Mesabolivar* (Pholcidae), duas espécies de ortópteros do gênero *Eidmanacris* (Fig. 3A) e uma do gênero *Endecous* (Phalangopsidae) (Fig. 3B), além de três novos registros, os quais podem representar espécies novas: um opilião Zalmoxidae (Fig. 3C), e dois pseudoscorpíões, um da família Cheiridiidae (Fig. 3D) e um do gênero *Geogarypus*

(Geogarypidae) (Fig. 3E). Também foram registradas duas espécies raras de formigas da subfamília Myrmicinae (gênero *Eurhopalothrix* e a espécie *Oxyepoecus rosai*).

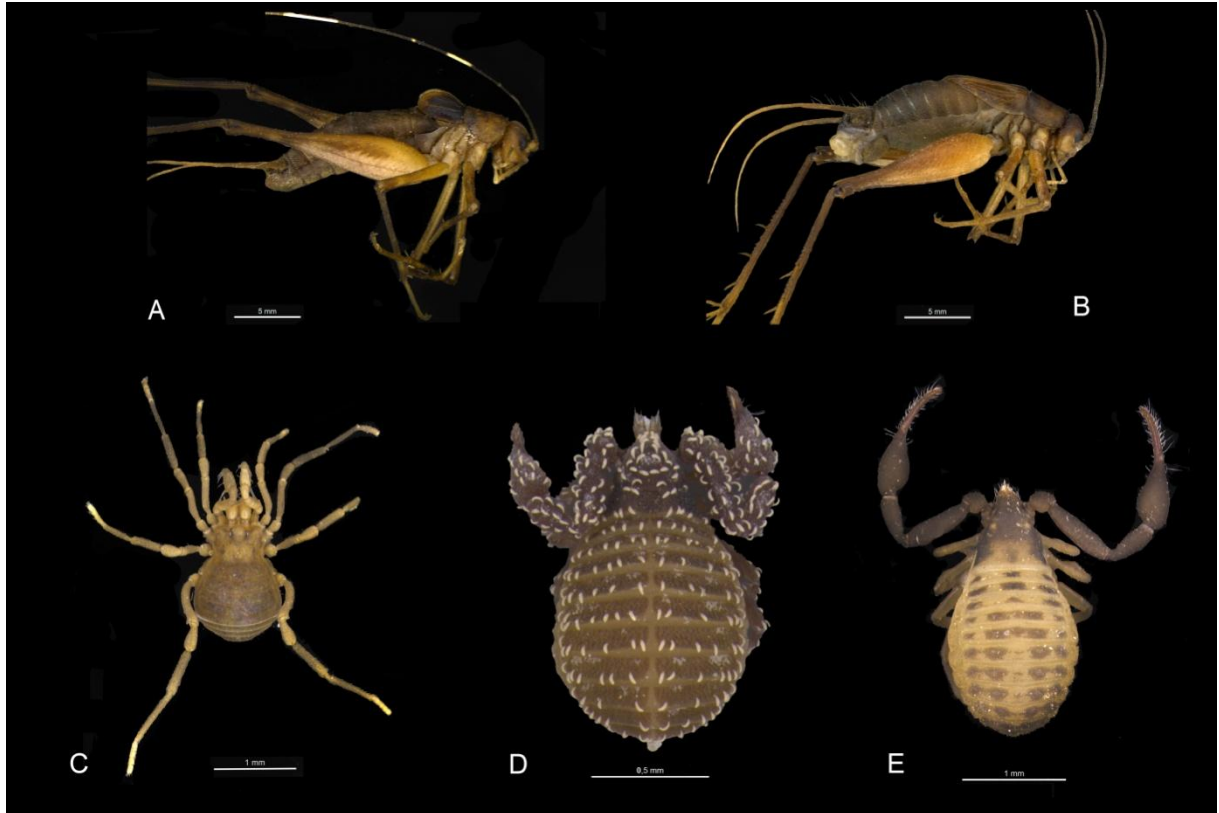


FIGURA 3: Espécies novas e registros novos na área cárstica de Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil: (A) vista lateral *Eidmanacris* sp. n. (Orthoptera: Phalangopsidae); (B) vista lateral *Endecous* sp. n. (Orthoptera: Phalangopsidae); (C) vista dorsal Zalmoxidae (Opiliones); (D) vista dorsal Cheiridiidae (Pseudoscorpiones); (E) vista dorsal *Geogarypus* sp. n. (Pseudoscorpiones: Geogarypidae).

A presença de 25 morfotipos possivelmente acidentais foi registrada: Blattaria (um), coleópteros Ceratocanthidae (um), Chrysomelidae (quatro), Scydmaenidae (dois) (Fig. 4A-B), Curculionidae (três) (Fig. 4C), hemíptero Ceratocambidae (um), formigas dos gêneros *Neivamyrmex* (um), *Brachymyrmex* (um), *Nylanderia* (um), *Solenopsis* (um), *Hypoponera* (três), as formigas *Camponotus crassus*, *Camponotus atriceps*, *Atta sexdens*, *Wasmannina auropuctada*, *Odontomachus meinerti* e isóptero Termitidae (um).

Apenas um invertebrado troglóxico foi registrado, o opilião *Mitogoniella taquara* (Gonyleptidae: Goniosomatinae), além de 24 morfotipos troglófilos, como diplópode Polyxenida (um), aranhas dos gêneros *Mesabolivar* (Pholcidae - dois), *Loxosceles* (Sicariidae - um), *Scytodes* (Scytodidae - um), *Theridiosoma* (Theridiosomatidae - um), e *Isoctenus* (Ctenidae - um) e a espécie *Enoploctenus cyclothorax* (Ctenidae); opiliões do gênero *Discocyrtus* (Gonyleptidae: Pachylinae - um), e as espécies *Eusarcus hastatus* (Fig. 4D) e

Eusarcus cavernicola (Fig. 4E); pseudoescorpiões Chthoniidae (um) (Fig. 4F), Olpiidae (um) e do gênero *Spelaeochernes* (Chernetidae - um), coleóptero Pselaphinae (Staphylinidae - um), hemípteros Reduviidae Emesinae (quatro) (Fig. 4G) e do gênero *Zelurus* (dois), lepidóptero Heterocera (um), ortóptero *Endecous* sp. n. (Phalangopsidae - um), e isópode Dubioniscidae (um).

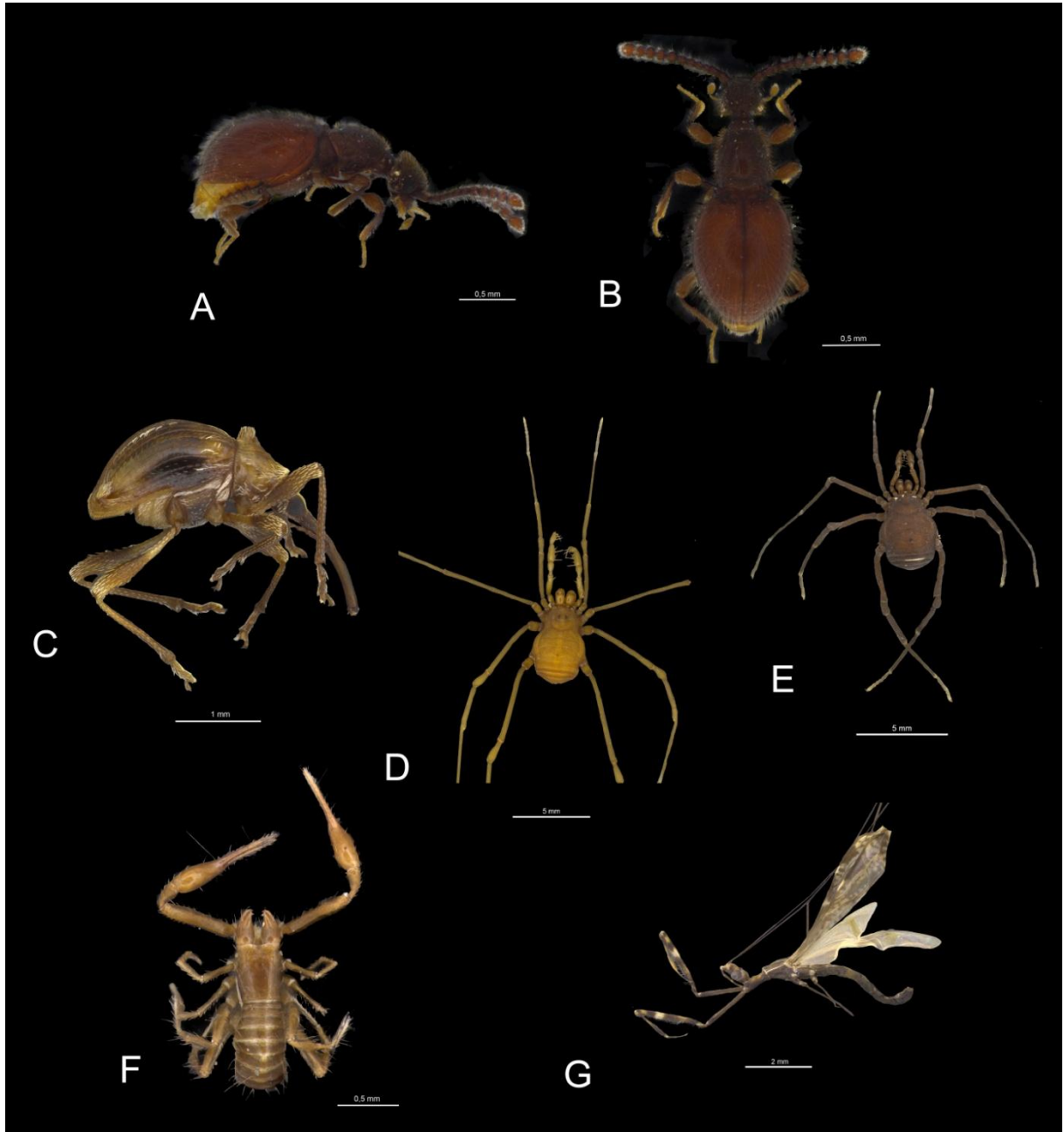


FIGURA 4: Diversidade de invertebrados terrestres registrados na área cárstica de Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil: (A) vista lateral e (B) vista dorsal Scydmaenidae sp. 2 (Coleoptera) (acidental); (C) vista lateral Curculionidae sp. 3 (Coleoptera) (acidental); (D) vista dorsal *Eusarcus cavernicola* (Opiliones: Gonyleptidae: Pachylinae) (troglófilo) (E) vista dorsal *Eusarcus hastatus* (Opiliones: Gonyleptidae: Pachylinae) (troglófilo) (F) vista dorsal Chthoniidae (Pseudoscorpiones) (troglófilo) (G) vista lateral Emesinae (Hemiptera: Reduviidae) (troglófilo).

Por fim, quatro morfotipos apresentaram troglomorismos, como redução da pigmentação cutânea e da quitina (*Polydesmida* sp. 3) (Fig. 5A); grande quantidade de cerdas ao longo do corpo e pernas alongadas (*Pselaphinae* sp. 7) (Fig. 5B); pigmentação cutânea e quitina reduzidas, além de cerdas alongadas ao longo do corpo e pernas alongadas (*Carabidae* sp. 4) (Fig. 5C-D); pigmentação cutânea reduzida, ausência de olhos, pedipalpos e pernas alongadas (*Chthoniidae* sp. 4) (Fig. 5E).

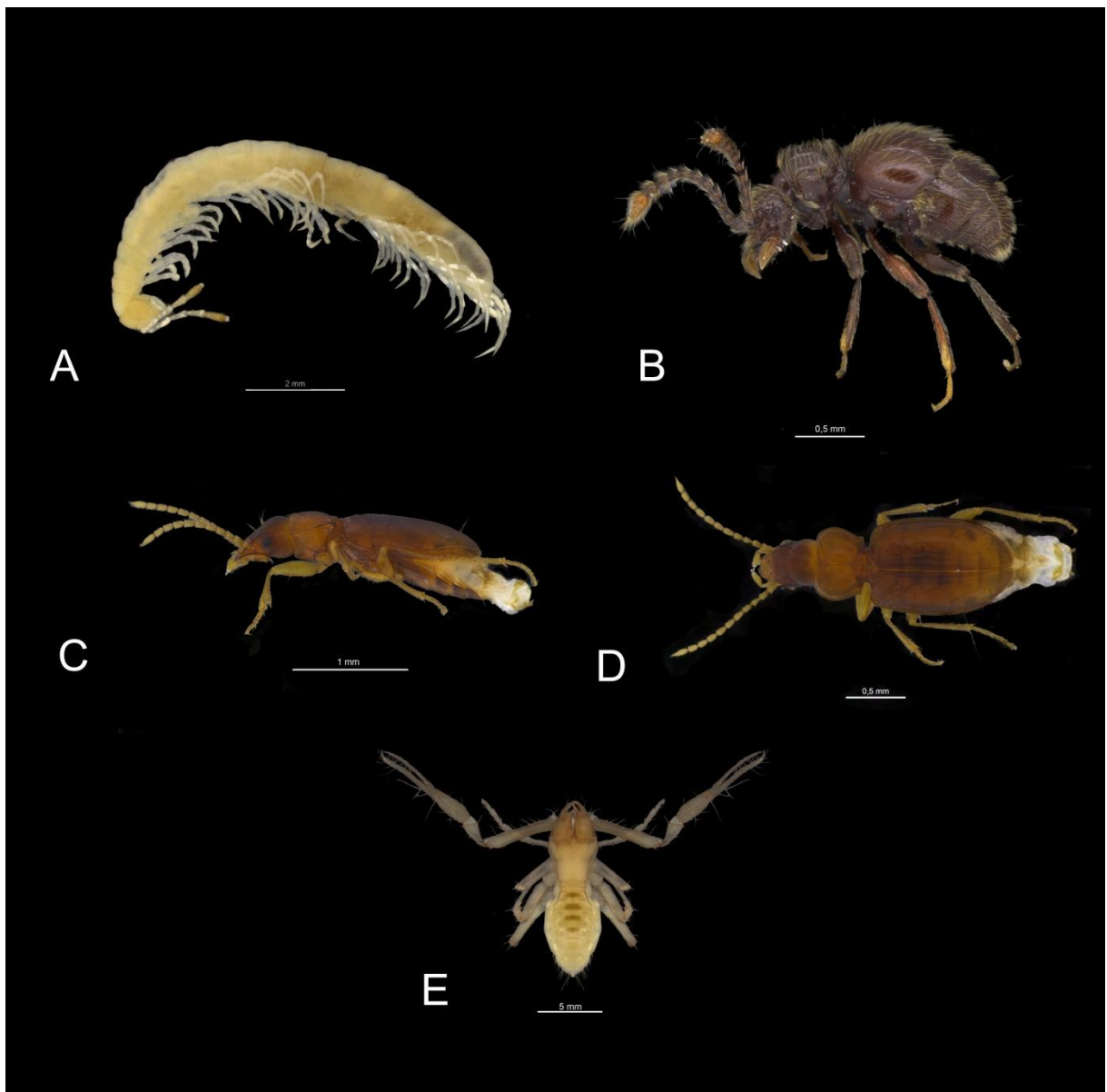


FIGURA 5: Espécies troglomórficas registradas na área cárstica de Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil: (A) vista lateral *Polydesmida* sp. 3 (Diplopoda); (B) vista lateral *Pselaphinae* sp. 7 (Coleoptera); (C) vista lateral e (D) vista dorsal *Carabidae* sp. 4 (Coleoptera); (E) vista dorsal *Chthoniidae* sp. 4 (Pseudoscorpiones).

A análise de distinção taxonômica (Δ^+) indicou que a Δ^+ esperada foi 87.862. Com exceção da caverna ZS que apresentou maior distinção taxonômica ($\Delta^+=90.401$), todas as cavernas tiveram suas Δ^+ dentro do intervalo de confiança (95%). A caverna TC ($\Delta^+=88.772$) ficou acima do esperado, enquanto que as cavernas SB e AL também se mostraram altamente distintas, mas em torno da média ($\Delta^+=88.068$ e $\Delta^+=87.799$, respectivamente), já as cavernas VP, LM e GJ ficaram abaixo do esperado ($\Delta^+=86.563$, $\Delta^+=87.088$ e $\Delta^+=85.266$, respectivamente) (Fig. 6).

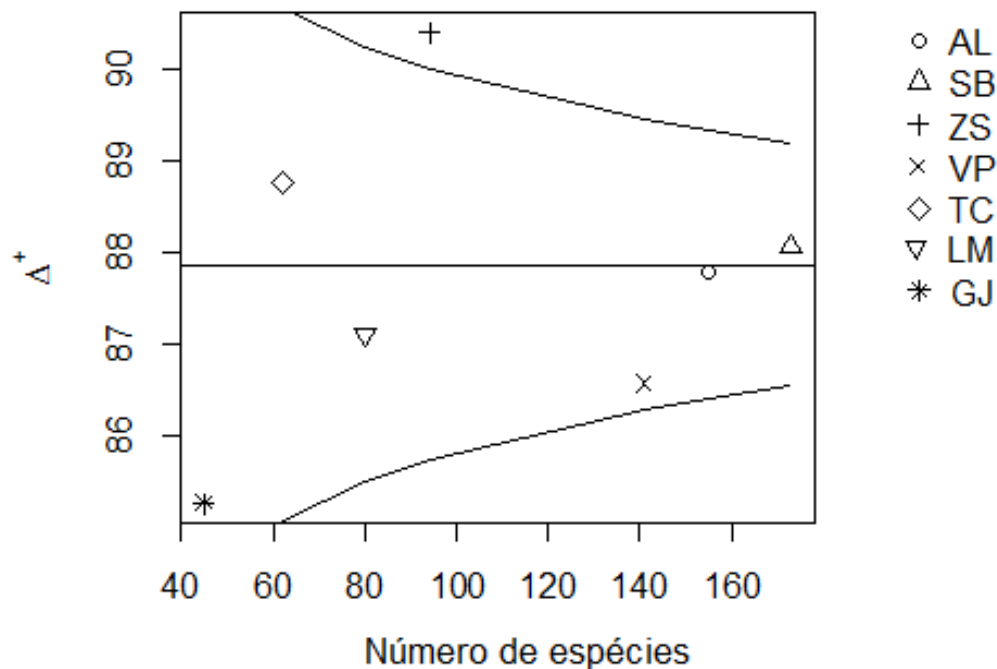


FIGURA 6: Gráfico de distinção taxonômica (*Taxonomic Distinctness*) em relação ao número de espécies na área cárstica de Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil. As cavernas situadas dentro do funil estão dentro do limite de confiança (95%). Legenda: Δ^+ = distinção taxonômica; AL = Lapa Arco da Lapa; SB = Lapa da Fazenda São Bernardo; ZS = Lapa Zé de Sidinei; VP = Lapa Vereda da Palha; TC = Toca do Charco; LM = Lapa do Moacir; GJ = Gruta da Juruva.

Em relação às variáveis ambientais, considerando-se todas as bases de amostragens (sítios) e todas as ocasiões de visita, a menor temperatura registrada foi de 17,8°C e a maior de 28°C; e a menor e a maior umidade relativa foram 38,5% e 92%, respectivamente. Durante o período de 30 dias considerados para o cálculo da média de precipitação, o menor e o maior valores registrados foram, respectivamente, 0,12 e 6,67 mm (Fig. 7).

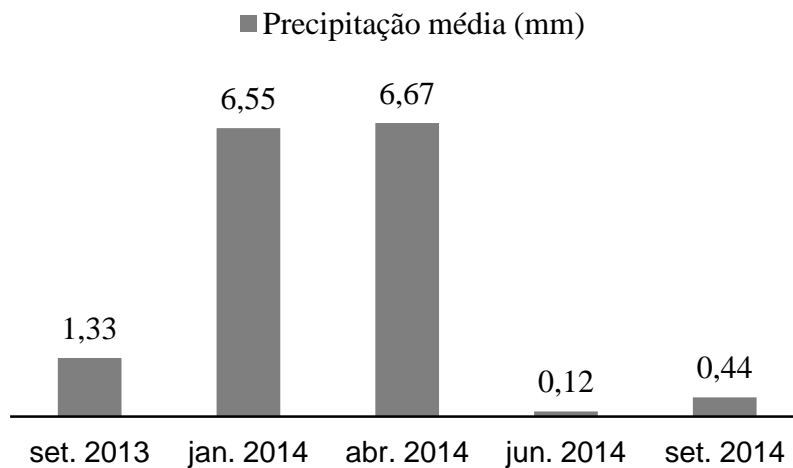


FIGURA 7: Precipitação média (mm) nas cinco ocasiões de coleta.

De acordo com o diagrama de Análise de Correspondência Canônica (CCA), a proximidade entre grupos taxonômicos no diagrama pode indicar a similaridade de nichos entre eles. A umidade relativa e a precipitação apresentaram maiores valores de correlação com o primeiro eixo de ordenação, e os dois primeiros eixos canônicos explicaram aproximadamente 77,94% da variação total dos dados (43,7% e 34,24%, eixo 1 e 2 respectivamente). Os vetores indicam que as três variáveis selecionadas explicam bem a distribuição dos organismos.

O teste de significância por meio das permutações de Monte Carlo apresentou diferença significativa ($p=0,001$), indicando que existe forte relação entre espécies e as variáveis ambientais testadas. Ainda, foi observado que a distribuição das espécies está associada de forma positiva à temperatura ($p=0,000999$), à umidade relativa do ar ($p=0,000999$) e à precipitação ($p=0,000999$).

Em relação às bases de amostragens (sítios), é possível observar no diagrama (Fig. 8) que as zonas de entrada estão associadas à temperaturas mais elevadas, enquanto que as zonas de penumbra e afótica estão mais associadas à valores mais elevados de umidade relativa do ar. A variação da precipitação afetou as três zonas, pois diferiu somente entre ocasiões de coleta e não entre elas individualmente.

É possível observar que há maior riqueza em períodos com maior precipitação (Fig. 9A). Os crustáceos Isopoda ocorreram em sítios com umidade elevada e os Opiliones e Haplotaxida ocorreram em sítios com umidade relativa elevada e em períodos com maior precipitação, assim como Acari, Chilopoda e Diplopoda os quais também estavam associados a temperaturas menores (Fig. 9A-B).

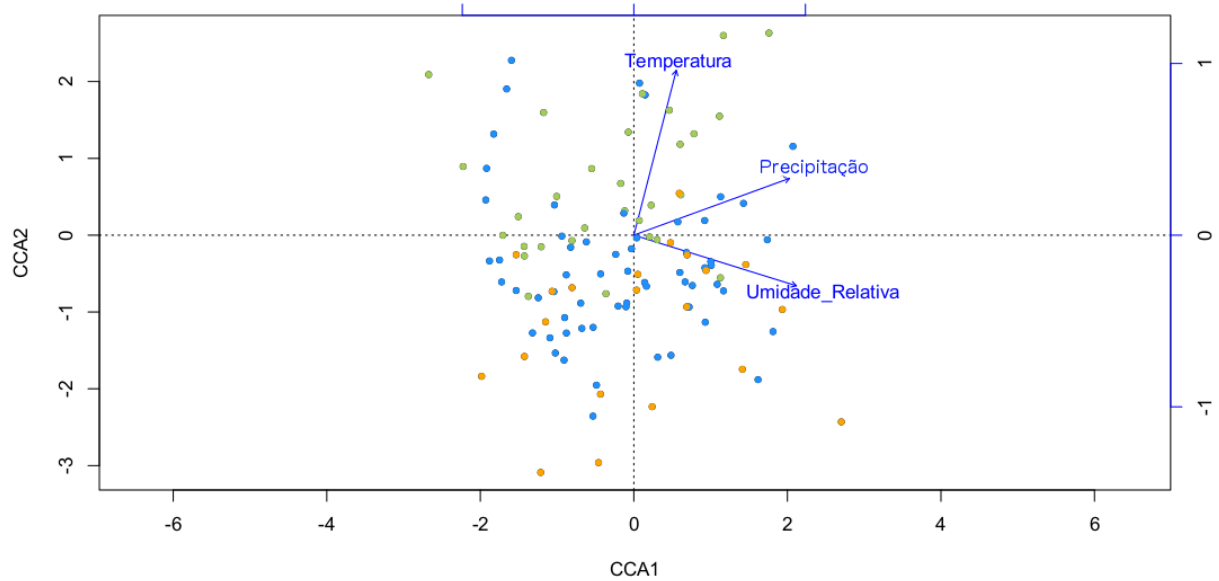


FIGURA 8: Análise de Correspondência Canônica (CCA) para as variáveis abióticas (temperatura, umidade relativa e precipitação) em relação aos sítios (bases de amostragens em diferentes ocasiões de coleta) na área cárstica de Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil.

Os Pseudoscorpiones foram observados em sítios com umidade relativa reduzida e em períodos de precipitação menor, assim como Psocoptera que também estavam associados à baixas temperaturas. Entognatha ocorreram principalmente em sítios com elevadas temperatura e umidade e em períodos precipitação elevada, Gastropoda e Lepidoptera com temperaturas elevadas, e Diptera em bases de amostragens com menor temperatura (Fig. 9A-B).

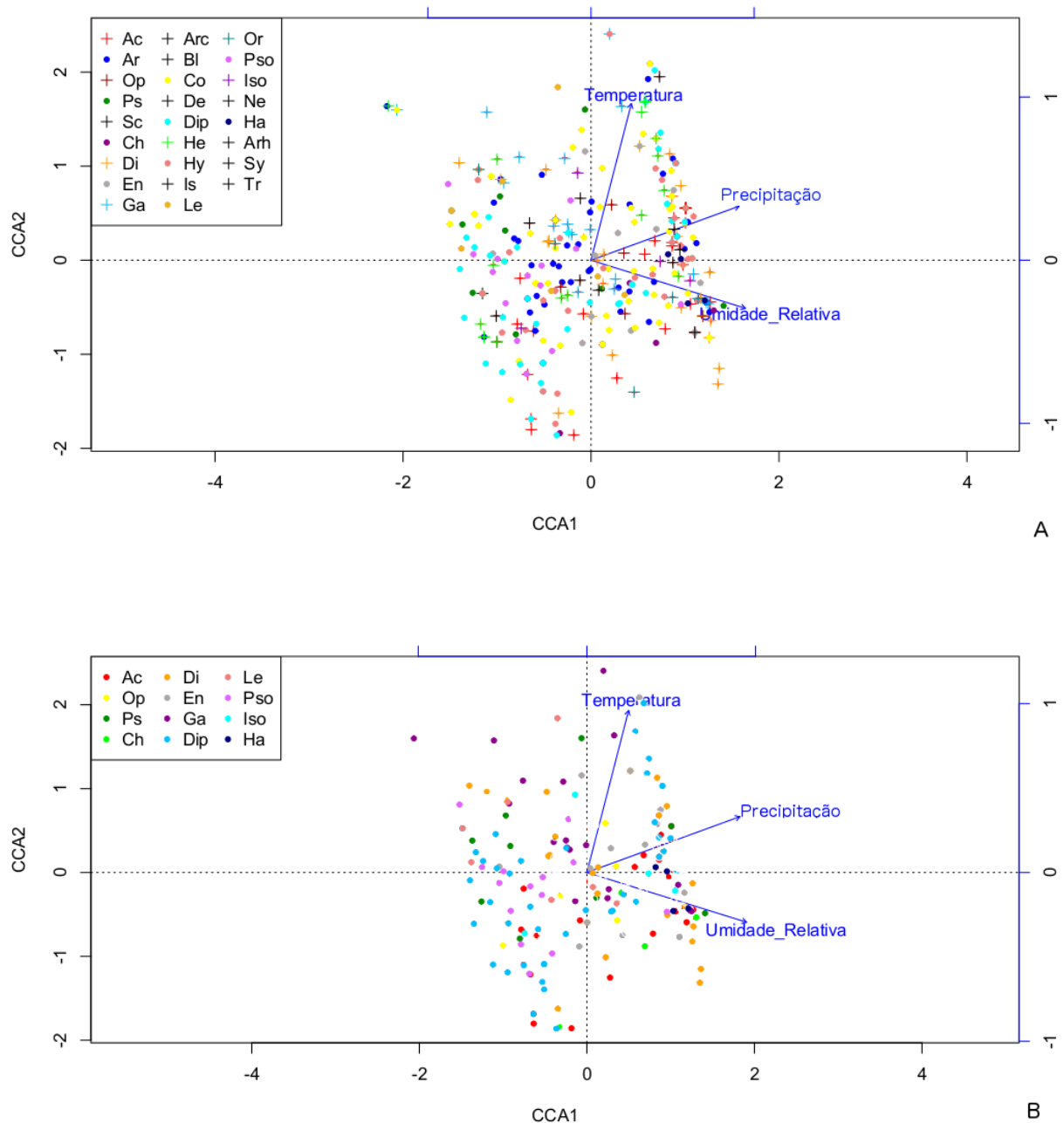


FIGURA 9: Análise de Correspondência Canônica (CCA) para as variáveis abióticas (temperatura, umidade relativa e precipitação) em relação aos morfotipos das ordens de invertebrados terrestres na área cárstica de Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil. (A) Todos os grupos taxonômicos; (B) grupos taxonômicos que apresentaram alguma especificidade em relação às variáveis ambientais. Legenda: Ac = Acari; Ar = Araneae; Op = Opiliones; Ps = Pseudoscorpiones; Sc = Scorpiones; Ch = Chilopoda; Di = Diplopoda; En = Entognatha; Ga = Gastropoda; Iso = Isopoda; Ha = Hemiptera; He = Hemiptera; Hy = Hymenoptera; Is = Isoptera; Le = Lepidoptera; Or = Orthoptera; Pso = Psocoptera; Iso = Isopoda; Ne = Nematoda; Ha = Haplontaxida; Hi = Hirudinea; Sy = Symphyla; Tr = Tricladida.

DISCUSSÃO

A área cárstica de Presidente Olegário (PO) apresentou elevada riqueza (386 morfotipos em sete cavernas), assim como outros estudos conduzidos em cavernas brasileiras pertencentes à unidade geomorfológica Bambuí e que estão inseridas em locais que possuem como fitofisionomia o Cerrado: Simões (2013) registrou 385 morfotipos de invertebrados em sete cavernas calcárias amostradas da região de São Domingos, e 145 morfotipos em cinco cavernas da região de Posse. Ambas regiões se localizam no estado de Goiás, e foram amostradas ao longo de seis ocasiões de visita (réplicas). Sousa (2014) encontrou, em duas ocasiões de visita, 98 morfotipos de invertebrados em uma caverna calcária de Pains, Minas Gerais, incluindo espécies terrestres, aquáticas e epicársticas. Simões e colaboradores (2014) realizaram levantamentos faunísticos em 47 cavernas do noroeste de Minas Gerais (incluindo três cavernas de Presidente Olegário) entre 2009 e 2011, entretanto, não mencionam a realização de réplicas. Nessa região, os autores registraram 1348 espécies terrestres e aquáticas, e uma riqueza média de 63 espécies por caverna. Outros autores também registraram elevada riqueza em cavernas pertencentes a outras unidades geomorfológicas inseridas em fitofisionomias distintas, como Gallão e Bichuette (2015) que registraram 162 morfotipos em 11 cavernas areníticas em Igatu, estado da Bahia, pertencente à área cárstica Una e inserida na Caatinga, ao longo de seis ocasiões de visita. Ainda, no levantamento realizado por Pinto da Rocha (1995) foram registrados 360 morfotipos em cavernas do Vale do Ribeira pertencentes à unidade geomorfológica Açungui e inseridas na Mata Atlântica, abrangendo os estados de São Paulo e Paraná.

Alguns organismos registrados em Presidente Olegário consistem em representantes comuns de cavernas tropicais e subtropicais brasileiras de acordo com o levantamento feito por Trajano e Gnaspini (1991), como ortópteros dos gêneros *Endecous* e *Eidmanacris*, hemípteros Reduviidae, coleópteros Carabidae, dípteros Keroplatidae, Phoridae, Drosophilidae, diplópodes Pseudonannolenidae, aranhas dos gêneros *Plato* e *Loxosceles*, opilhões Pachylinae e pseudoscorpions Chernetidae. Alguns táxons que segundo esses autores são principalmente tropicais, como besouros Histeridae e isópteros Termitidae, também foram registrados em cavernas de PO.

Em relação aos insetos, a maioria dos Coleoptera registrados pertence à família Staphylinidae e Carabidae, também recorrentes em outros estudos da fauna subterrânea brasileira (TRAJANO & BICHUETTE, 2010). Na área cárstica de São Domingos e Posse, nordeste de Goiás, estes ocorrem principalmente em substratos com acúmulo de matéria

orgânica e/ou maior umidade (SIMÕES 2013), e no Vale do Ribeira é notável a diversidade elevada de Carabidae e Pselaphinae (TRAJANO, 2000).

A elevada riqueza de Diptera na área cárstica de PO também foi observada em cavernas de Goiás no estudo realizado por Simões (2013). Essas regiões apresentam algumas famílias em comum, como Drosophilidae, Phoridae, Cecidomyiidae, Culicidae, Keroplatidae, Limoniidae, Psychodidae e Sciaridae. Esses grupos também ocorrem no Vale do Ribeira e em diversas regiões do Brasil, como observado no levantamento realizado por Pinto-da-Rocha (1995). Ainda, Keroplatidae é um grupo comum em cavernas do Vale do Ribeira (TRAJANO, 2000), e tem registros no Pará, Mato Grosso do Sul e outras regiões de Minas Gerais inseridas em diferentes unidades geomorfológicas e fitofisionomias (PINTO-DA-ROCHA, 1995). Algumas famílias, como Drosophilidae, Psychodidae, Phoridae, dentre outras, também foram registrados em guano de hematófago fresco na área cárstica do Rio Pardo, Bahia, inserida no domínio fitogeográfico da Mata Atlântica (TRAJANO, 2000).

Os hemípteros reduviídeos da subfamília Emesinae são animais predadores preferencialmente parietais em cavernas brasileiras (TRAJANO, 2000; TRAJANO & BICHUETTE, 2010) e em Presidente Olegário foram encontrados muitas vezes em associação com teias de aranhas, principalmente as Pholcidae. Os Emesinae também foram encontrados em cavernas de Goiás (SIMÕES, 2013) e de Igatu, Bahia (GALLÃO & BICHUETTE, 2015).

Em relação aos aracnídeos, Trajano e Gnaspini (1991) Simões (2013) e Gallão e Bichuette (2015) também registraram elevada riqueza de aranhas no Vale do Ribeira, em Goiás e na Bahia, respectivamente. Diversas famílias coocorreram nessas três regiões, e também na área cárstica de Presidente Olegário, como Araneidae, Ctenidae, Oonipidae, Sicariidae (gênero *Loxosceles*), Theridiosomatidae, Pholcidae. Contrariamente, o estudo realizado em uma caverna de Minas Gerais por Sousa (2014) apresentou baixa riqueza de aranhas, o que pode estar relacionado ao menor número de amostragens realizado por este autor, o qual realizou apenas duas ocasiões de visita para a coleta da fauna subterrânea, enquanto que Simões (2013) e Gallão e Bichuette (2015) realizaram seis. Assim, fica evidente a necessidade e importância da realização de réplicas, uma vez que a detecção de espécies raras aumenta com o número de amostragens (HUSTON, 1994; SCHENEIDER & CULVER, 2004; GALLÃO & BICHUETTE, 2015).

Foi encontrada também elevada riqueza de ácaros, ao contrário do registrado em outros estudos conduzidos em Minas Gerais e Bahia (SOUSA, 2014; GALLÃO & BICHUETTE, 2015, respectivamente), o que pode estar relacionado à metodologia de coleta.

Foram utilizados, além de busca ativa e método de *Quadrats*, extratores *Winkler* para a coleta de fauna associada a solo e folhiço. Este método contribuiu para a coleta de ácaros. Assim, nota-se a importância do uso de diferentes metodologias de coleta, os quais otimizam o acesso à riqueza de uma comunidade (CULVER & PIPAN, 2009; SIMÕES, 2013). Entretanto, Simões (2013) também utilizou extratores *Winkler* em cavernas de Goiás e não registrou riqueza elevada de ácaros. Isso indica que a riqueza desse grupo em cavernas de PO pode estar relacionada a fatores históricos, como o isolamento geográfico devido, por exemplo, a flutuações paleoclimáticas (TRAJANO & BICHUETTE, 2010) ou fragmentação de habitats, que podem levar à processos de dispersão, especiação e extinção.

Outro fato que merece destaque é que a elevada riqueza de diplópodes Pseudonannolenidae registrada na área cárstica de PO, o que não ocorreu em cavernas de outras regiões, como São Domingos e Posse em Goiás (SIMÕES, 2013), Pains em Minas Gerais (SOUSA, 2014) e Igatu na Bahia (GALLÃO & BICHUETTE, 2015), o que também pode estar relacionado à fatores históricos. Já no Vale do Ribeira, além da elevada diversidade de diplópodes Pseudonannolenidae, há registros de diferentes famílias de Polydesmida (TRAJANO, 2000), sendo que alguns morfotipos destes últimos foram encontrados em cavernas de PO.

Em áreas cársticas com poucos estudos, como a região de Presidente Olegário, é esperada a ocorrência de espécies novas e endêmicas, pois a fragmentação de habitats subterrâneos e a relativa estabilidade ambiental permitem esse processo (GIBERT & DEHARVENG, 2002). Aranhas do gênero *Mesabolivar* e ortópteros dos gêneros *Eidmanacris* e *Endecous* são comuns em cavernas brasileiras (TRAJANO & BICHUETTE, 2010). Dentre as espécies novas registradas por Simões (2013) em cavernas de Goiás, está uma aranha do gênero *Mesabolivar* e dois ortópteros do gênero *Endecous*. Uma das espécies novas registradas por Gallão (2012) em Andaraí, na Bahia, também pertence ao gênero *Endecous*, e Trajano (2000) também registrou uma espécie nova do gênero *Eidmanacris* na área cárstica do Rio Pardo, também na Bahia.

Não há registros na literatura de opiliões Zalmoxidae ocorrendo em cavernas brasileiras (KURY, 2003) e, segundo Trajano (2000), a fauna subterrânea brasileira de opiliões parece apresentar um alto grau de especificidade de acordo com a região geográfica, com diferentes famílias ou gêneros predominantes ou exclusivos para cada região, o que, de maneira geral, também é observado para esse grupo no mundo. Também não há registros na literatura de pseudoscorpíões do gênero *Geogarypus* (Geogarypidae) e da família Cheiridiidae para o estado de Minas Gerais (HARVEY, 2013), apesar de exemplares desses táxons terem

sido coletados em cavernas de outras localidades de Minas Gerais, os quais se encontram no Laboratório de Estudos Subterrâneos (LES) (M.E. Bichuette & D.M. von Schimosnky, com. pes.). Esses dados destacam a importância biogeográfica da área cárstica de Presidente Olegário, com ampliação de distribuição para alguns táxons.

Diversos organismos acidentais foram registrados nas cavernas de PO, o que pode ser explicado em parte pela presença de diversas aberturas nos tetos das cavernas amostradas. Além disso, a degradação das áreas dos entornos para a realização de atividades agropecuárias leva a uma diminuição da qualidade ambiental e podem favorecer a presença de organismos acidentais, os quais muitas vezes entram nas cavernas em busca de recursos e condições mais favoráveis à sobrevivência (TRAJANO & BICHUETTE, 2006). Segundo Howarth (1983), esses organismos são importantes para as comunidades subterrâneas por contribuírem de forma significativa em suas cadeias alimentares, pois são fontes alimentares para muitos predadores presentes nas cavernas.

Os poucos registros de invertebrados troglótenos nas cavernas estudadas se deve à dificuldade em categorizá-los, pois são necessárias observações que evidenciam que os organismos ocorrem regularmente no meio subterrâneo e que devem sair com uma dada periodicidade. Além disso, há organismos que são troglótenos sob condições de escassez alimentar e troglófilos quando os recursos energéticos não são limitantes (TRAJANO & BICHUETTE, 2006). Assim, são raros os registros de organismos inseridos nessa categoria.

Os organismos troglófilos compreendem a maioria dos invertebrados encontrados em cavernas brasileiras, entretanto, também é difícil categorizar esses organismos pois são necessárias evidências de que eles ocorrem regularmente no meio subterrâneo completando seu ciclo de vida aí (TRAJANO & BICHUETTE, 2006). Assim como nas cavernas de PO, Simões (2013) também registrou em cavernas de Goiás espécies troglófilas de aranhas pertencentes à família Pholcidae (gênero *Mesabolivar*), Sicariidae (gênero *Loxosceles*), Scytodidae (gênero *Scytodes*), Ctenidae (gênero *Isoctenus*), pseudoescorpião Olpiidae, ortóptero Phalangopsidae (gênero *Endecous*), hemípteros Reduviidae (Emesinae e do gênero *Zelurus*), e lepidópteros Heterocera, dentre outros.

Ortópteros do gênero *Endecous* são troglófilos comuns em cavernas brasileiras (TRAJANO, 2000). Organismos provavelmente troglófilos como ortópteros do gênero *Eidmanacris*, Blattaria, aranhas dos gêneros *Loxosceles* (Sicariidae), *Blechnoscelis* (Pholcidae), *Ctenus* (Ctenidae), isópodes Armadiliidae e pseudoescorpiões Chernetidae são abundantes na área cárstica do Rio Pardo, estado da Bahia (TRAJANO, 2000). Ainda, segundo Trajano e Gnaspini (1991), alguns táxons como Keroplatidae e os gêneros *Zelurus* e

Eidmanacris, dentre outros, geralmente vivem próximo às zonas de entrada das cavernas, mas tornam-se troglófilos em certas circunstâncias, por exemplo, quando há entrada excepcional de alimento.

Segundo o levantamento realizado por Trajano e Bichuette (2010), há registros de espécies troglóbias de Carabidae, Pselaphinae, Polydesmida e Chthoniidae em cavernas brasileiras. Morfotipos com troglomorismos pertencentes a esses grupos foram encontrados na área cárstica de Presidente Olegário. Gallão e Bichuette (2015) registraram 22 espécies troglóbias e outras 15 com troglomorismos em 11 cavernas areníticas de Igatu, Bahia, das quais uma espécie troglóbia pertencia à família Chthoniidae e uma troglomórfica à subfamília Pselaphinae. Sousa (2014) registrou 13 espécies com traços troglomórficos em uma caverna de Pains, Minas Gerais, dentre elas uma de Chthoniidae e três de Carabidae. Já Simões e colaboradores (2014) registraram 36 espécies troglomórficas terrestres e aquáticas em 19 cavernas do noroeste de Minas Gerais, dentre elas, um pseudoescorpião da família Chthoniidae endêmico da região de Vazante, e um Amphipoda (*Hyalella veredae*) ocorrente em Presidente Olegário.

Trajano (2000) discute a alta proporção de espécies troglóbias no Vale do Ribeira em São Paulo, apesar de sua pequena extensão geográfica quando comparada a outras áreas cársticas. Essa proporção pode ser explicada em partes pelo grande número de coletas, já que a região conta com pesquisas desde a década de 1970, e algumas das espécies terrestres troglóbias dessa região incluem Collembola, Carabidae, Pselaphinae, Isopoda, Polydesmida e Opiliones.

Segundo Trajano (2010), são necessárias no mínimo dez amostragens em diferentes estações para caracterizar os ambientes subterrâneos, e espécies troglóbias são encontradas até mesmo após 20 amostragens. Além disso, de acordo com Howarth (1983), para realizar a identificação de troglóbios é necessária investigação comparativa dos grupos aparentados da superfície. Considerando-se que as amostragens foram realizadas ao longo de um ano e que ao menos quatro organismos terrestres troglomórficos foram registrados, a área cárstica de Presidente Olegário consiste em uma região potencial para ocorrência de troglóbios e, portanto, relevante e frágil. Neste sentido, deve-se utilizar o princípio da precaução, o qual deve ser aplicado sempre que houver boas evidências de que um ecossistema é frágil ou ameaçado, optando pela ação que garanta a proteção (TRAJANO, 2010).

A elevada diversidade filogenética (*Taxonomic Distinctness*) observada para as cavernas de Presidente Olegário também foi registrada por Gallão e Bichuette (2015) em cavernas da Chapada Diamantina, Bahia. A alta dispersão dos pontos no gráfico de funil

observada por esses autores corrobora com a singularidade faunística inerente do ambiente subterrâneo. Essa dispersão dos pontos também foi verificada para as cavernas de PO, destacando a singularidade da fauna dessa área.

A diversidade é maior em uma comunidade em que as espécies são filogeneticamente distintas (CIANCIARUSO et al., 2009). No estudo de Gallão e Bichuette (2015) a caverna que apresentou maior distinção taxonômica tinha sua totalidade de espécies distribuídas em classes distintas, e a caverna com a segunda maior TD apresentou um elevado número de espécies troglóbias. Em Presidente Olegário, a maior TD apresentada pela caverna ZS pode ser explicada pela presença de manchas de guano de frugívoro (observadas somente nessa caverna) e a presença de alguns animais que apresentam preferência por esse tipo de substrato, como os Chilopoda do gênero *Lamyctes* sp. 3 (TRAJANO & GNASPINI, 1991) que ocorreu apenas nessa caverna. Outros fatores que podem ter contribuído é a ocorrência do pseudoescorpião troglomórfico Chthoniidae sp. 4, que ocorreu somente nessa caverna, e de uma espécie rara de formiga *Oxyepoecus rosai*. Além disso, apesar do entorno estar relativamente degradado, com pouca vegetação nativa e pasto no entorno, as outras cavernas, com exceção da caverna AL, apresentaram entorno ainda mais impactado.

Segundo Warwick & Clarke (1998), ambientes que estão muito degradados ou poluídos apresentam baixa TD. No estudo Gallão e Bichuette (2015), algumas cavernas na Chapada Diamantina apresentaram TD abaixo do esperado, possivelmente devido à degradação do ambiente para a exploração de diamante no passado, a qual continua de forma clandestina atualmente. Já a caverna de Presidente Olegário com o entorno mais degradado (SB) possui elevada quantidade de recursos (principalmente raízes penetrantes), além de diversas aberturas na rocha e elevada riqueza de espécies. Essa forte influência do meio superficial favorece a entrada de organismos epígeos, os quais contribuem para a TD elevada.

A caverna GJ apresentou menor TD, pois a parte da caverna que foi amostrada é composta por poucos tipos de substratos, como areia e rocha seca, e depósitos antigos de guano. Tais substratos por serem homogêneos oferecem pouca oportunidade de sobrevivência aos organismos (POULSON & CULVER, 1969; HUMPHREYS, 1991) e, além disso, a baixa qualidade da matéria orgânica não favorece a ocorrência dos organismos (GNASPINI & TRAJANO, 2000). Assim, há poucos tipos de nichos disponíveis para a fauna que são ocupados por organismos filogeneticamente próximos, já que, em geral a proximidade filogenética de duas espécies está relacionada positivamente com suas histórias de vida e similaridade ecológica (HARVEY & PAGEL, 1991 apud CIANCIARUSO et al., 2009).

Uma vez que todas as cavernas se encontram dentro do intervalo de confiança, as cavernas amostradas possuem elevada TD e, conseqüentemente, elevada singularidade faunística, apesar da maioria possuir impactos antrópicos. Segundo Trajano e colaboradores (2012), essa singularidade consiste na principal justificativa para a conservação de ambientes subterrâneos, e esse índice pode representar uma importante ferramenta para a definição de áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade (SIMÕES 2013; GALLÃO & BICHUETTE, 2015).

As características abióticas do ambiente subterrâneo, como a diminuição de temperatura à medida que se afasta da entrada e a tendência à saturação da umidade relativa do ar (CULVER & PIPAN, 2009), foram evidenciadas pela análise de correspondência canônica. A ocorrência de táxons diferentes em locais com temperatura e umidade relativa distintas evidencia a diferenciação de nichos entre os organismos, pois estes se estabelecem em locais onde há recursos e condições adequadas à sua sobrevivência (BEGON et al. 2007). Assim, as zonas apresentam distribuição diferenciada de seres vivos, corroborando o observado por outros autores (POULSON & WHITE, 1969; JUBERTHIE, 2000).

As variações de temperatura, umidade relativa e de precipitação podem promover maior diversificação de nichos e, conseqüentemente, aumentar a diversidade local (SIMÕES, 2013), e a ocorrência de cada grupo em diferentes períodos sazonais é dependente de sua biologia (BEGON et al., 2007). Segundo Trajano e Bichuette (2006), padrões faunísticos podem ser alterados por influência da sazonalidade no ambiente subterrâneo, por exemplo, em períodos chuvosos quando maior quantidade de matéria orgânica da superfície é carregada para o interior da caverna, e os substratos se mantêm úmidos.

Na área cárstica de Presidente Olegário, alguns grupos foram mais registrados em períodos chuvosos, como Opiliones, Haplotaxida, Acari, Chilopoda, Diplopoda Diptera e Entognatha, indicando que, assim como observado por Poulson e Culver (1969), a disponibilidade de recursos aumenta a diversidade de organismos terrestres subterrâneos. Essa condição também foi observada por Souza-Silva e colaboradores (2013) em uma caverna quartzítica em Lima Duarte, estado de Minas Gerais. Esses autores também verificaram que a umidade do solo permite presença de alguns invertebrados como Diplopoda, corroborando os registros de PO. Alguns animais, como Haplotaxida e Isopoda são dependentes da umidade do ambiente para evitar dessecação e, por isso, ocorreram em locais com umidade relativa elevada.

Inundações podem ser importantes para reprodução de animais em cavernas (CULVER & PIPAN, 2009), e podem causar diversos efeitos, tais como matar animais não

adaptados à submersão, varrer indivíduos para fora da caverna e introduzir organismos acidentais junto com os sedimentos (DUCARME et al., 2004). Alguns organismos buscam refúgios em épocas chuvosas, pois a força das águas pode arrastar animais, reduzindo sua ocorrência e visibilidade (SIMÕES, 2013). Assim como registrado por Simões (2013) em cavernas de Goiás, em Presidente Olegário foi registrada maior ocorrência de espécies de pseudoescorpiões em épocas secas, pois enxurradas podem matar estes organismos devido ao seu pequeno tamanho ou mesmo porque nestes períodos estes animais estão mais vageis ou necessitam forragear mais em busca de alimento. Além disso, tratam-se de organismos foréticos, e pode ser que se desloquem mais com outros organismos nesses períodos. Outras espécies são capazes de tolerar umidade reduzida e menor quantidade de recursos, sendo registradas em épocas secas (HÜPPOP, 2000), como os Psocoptera, os quais tiveram riqueza e abundância elevadas durante períodos mais secos nas cavernas de PO.

Os ecossistemas subterrâneos são influenciados pelo entorno e áreas prioritárias de conservação devem abranger, além das cavernas e sistemas, toda a paisagem onde estes estão inseridos, como, por exemplo, regiões de recargas de drenagens e fragmentos de vegetação nativa do entorno, de modo a proteger toda sua área de influência (SIMÕES, 2013; TRAJANO et al., 2012). A área cárstica de Presidente Olegário apresentou elevada singularidade faunística devido à ocorrência de espécies novas, de registros novos e de espécies com troglomorismos. Ainda, as cavernas dessa região apresentaram elevada distinção taxonômica e suas espécies estão distribuídas de maneira distinta de acordo com as variáveis abióticas. Assim, essa área cárstica e toda sua área de influência deve ser considerada como prioritária para conservação, já que grandes impactos estão presentes na região, os quais ameaçam essa fauna única.

CONCLUSÃO

A área cárstica de Presidente Olegário possui grande relevância bioespeleológica devido à ocorrência de espécies raras, novas e de grupos taxonômicos que até o momento não haviam sido encontrados na região, além de organismos troglomórficos. A alta distinção taxonômica das cavernas da região deve-se à grande diversidade de nichos disponíveis à colonização pela fauna e, conseqüentemente, na ocupação desses ambientes por uma fauna rica e filogeneticamente diversa. Ainda, as variáveis abióticas influenciam a distribuição da fauna, pois esta se estabelece onde há recursos e condições adequados à sua sobrevivência. Devido à esses fatores e à sua singularidade faunística, conclui-se que essa área cárstica deve ser considerada como prioritária para conservação.

AGRADECIMENTOS

Somos gratas ao Grupo Pierre Martin de Espeleologia (GPME) pelas informações sobre as cavernas e mapas; a Igual, E.C. pelas informações e ajuda em campo; aos ajudantes nas coletas (Damasceno, G.F., Gallo, J.S.; Joaquim, L.A., Resende, L.P.A., Ribeiro, I.A); aos que contribuíram na identificação do material zoológico (Bolfarini, M.P.; Brescovit, A.; Carvalho, L.S.; Chagas-Jr, A.; Fernandes, C.S.; Gallão, J.E.; Gallo, J.S.; Hara, M.R.; Pinto-da-Rocha, R.; Prado, L.P.; Resende, L.P.A.; Rodrigues, E.N.L.; Santana, H.G.; von Shimonsky, D.M.); a Celma M.P. Camargos, Jair F. Sales, José F. de Carvalho, Adão A. Duarte, Roldão P. Pereira, Sra. Mariluci, Sr. Geraldo, Antonio C. de Oliveira, Efigênia C. Ribeiro, José S. Silva, Antônio C. da Mota, Maria D. da Mota, pela estrutura e auxílio em campo; a Danilo M. Silva e a Jonas E. Gallão pelo auxílio nas análises estatísticas; a Luciana B.R. Fernandes pelas fotografias; ao Márcio P. Bolfarini pela edição das fotografias; ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia dos Hymenoptera Parasitoides da Região Sudeste Brasileira (INCT Hympar Sudeste) pelo uso do estereomicroscópio para a realização das fotografias; a Bolfarini, M.P. e Resende, L.P.A. pela confecção do mapa; ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) pela licença de coleta (nº 28992-7); ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais (PPG-ERN) pela infraestrutura para o desenvolvimento do trabalho e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento parcial. M.E.B. agradece ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico (CNPq) pelo financiamento parcial (Processo nº 303715/2011-1). T.Z. agradece ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos (Processo nº 132065/2013-4).

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul. Primeira aproximação. *Geomorfologia*, v. 52, p. 1–22, 1977.
- ACKERLY, D. D. Community assembly, niche conservatism, and adaptive evolution in changing environments. *International Journal of Plant Sciences*. v. 164, n. 3, p. 165–184, 2003.
- AULER, A.; RUBBIOLI, E.; BRANDI, R. *As grandes cavernas do Brasil*. Belo Horizonte: Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, 2001. 228p.
- BAHIA, G. R.; FERREIRA, R. L. Influência das características físico-químicas e da matéria orgânica de depósitos recentes de guano de morcego na riqueza e diversidade de invertebrados de uma caverna calcária. *Revista Brasileira de Zootecias*, v. 7, n. 1, p. 165-180, 2005.
- BARR, T. C.; HOLSINGER, J. R. Speciation in cave faunas. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 16, p. 313-337, 1985.
- BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. *Ecologia: de indivíduos a ecossistemas*. Artmed, Porto Alegre: Artmed, 2007. 752p.
- BORROR, D. J.; TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. F. *An introduction to the study of insects*. USA: Saunders College Publishing, 1989. 875p.
- BRASIL. *Decreto Nº 6.640*, de 7 de novembro de 2008. Altera o Decreto no 99.556, de 1º de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm > Acessado em 20 de dezembro de 2014.
- BRUSCA, R. C.; BRUSCA, G. J. 2003. *Invertebrates*. 2 ed. Sunderland, Sinauer Associates, 2003, 895
- CIANCIARUSO, M. V.; SILVA, I. A.; BATALHA, M. A. Phylogenetic and functional diversities: new approaches to community Ecology. *Biota Neotropica*, v. 9, n. 3, p. 93-103, 2009.
- CLARKE, K. R.; WARWICK, R. M. A taxonomic distinctness index and its statistical properties. *Journal of Applied Ecology*, v. 35, p. 523-531, 1998.
- CULVER, D. C.; PIPAN, T. *The biology of caves and other subterranean habitats*. Oxford: Oxford University Press, 2009. 256p.
- DUCARME, X.; ANDRÉ, H. M.; WAUTHY, G.; LEBRUN, P. Comparison of endogeic and cave communities: microarthropod density and mite species richness. *European Journal of Soil Biology*, v. 40, n. 3, p. 129–138, 2004.

- 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, p. 119-127, 2009.
- GALLÃO, J.E. *Estado de conservação e dados de distribuição da fauna troglóbia brasileira com propostas de áreas prioritárias para proteção*. 2012. 93f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- GALLÃO, J. E.; BICHUETTE, M. E. The list of endangered fauna and impediments to inclusion of species – the example of Brazilian troglobitic fish. *Natureza e Conservação*, v. 10, n.1, p. 83-87, 2012.
- GALLÃO, J.; BICHUETTE, M. E. Taxonomic distinctness and conservation of a new high biodiversity subterranean area in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 87, n. 1, p. 209-217, 2015.
- GIBERT, J.; DEHAVENG, L. Subterranean Ecosystems: A Truncated Functional Biodiversity. *Bioscience*, v. 52, n. 6, p. 473-481, 2002.
- GNASPINI, P. Análise comparativa da fauna associada a depósitos de guano de morcegos cavernícolas no Brasil. Primeira aproximação. *Revista Brasileira de Entomologia*. v. 33, p. 183-192, 1989.
- GNASPINI, P.; TRAJANO, E. Guano communities in tropical caves. In: WILKENS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHREYS, W. F. (Eds.). *Ecosystems of the World. Subterranean Ecosystems*. Amsterdam: Elsevier Science, 2000. p. 251-269.
- HARVEY, M. S. Pseudoscorpions of the World, version 3.0. Western Australian Museum, Perth. Disponível em: < <http://www.museum.wa.gov.au/catalogues/pseudoscorpions> >
- HOWARTH, F.G. Ecology of cave arthropods. *Annual Review of Entomology*, v. 28, n. 1, p. 365-389, 1983.
- HUMPHREYS, W. F. Experimental re-establishment of pulse-driven populations in a terrestrial troglobite community. *Journal of Animal Ecology*. v. 60, p. 609–623, 1991.
- HÜPPOP, K. 2000. How do cave animals cope with the food scarcity in caves? In: WILKENS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHREYS, W. F. (Eds.). *Ecosystems of the World. Subterranean Ecosystems*. Amsterdam: Elsevier Science, 2000. p. 159-188.
- HUSTON, M. A. *Biological Diversity: The coexistence of species on changing landscapes*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. p. 701.
- HUTCHINSON, G .E. Homage to Santa Rosalia, or why there are so many kinds of animals? *The American Naturalist*, v. 93, n. 870, p. 145-159, 1959.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br> > Acessado em 12 de janeiro de 2015.
- JUBERTHIE, C. 2000. The diversity of the karstic and pseudokarstic hypogean habitats in the world. In: WILKENS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHREYS, W. F. (Eds.). *Ecosystems*

- of the World. Subterranean Ecosystems*. Amsterdam: Elsevier Science, 2000. p. 17–39.
- KARMANN, I.; SÁNCHEZ, L.H. Distribuição das rochas carbonáticas e províncias espeleológicas do Brasil. *Espeleo-tema*, v. 13, p. 105-167, 1979.
- KEDDY, P. A. Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. *Journal of Vegetation Science*, v. 3, p. 157-164, 1992
- KREBS, C. J. *Ecological methodology*. New York: University of British Columbia, Harper Collins Publishers, 1989. 654p.
- KURY, A. B. Annotated catalogue of the Laniatores of the New World (Arachnida, Opiliones). *Revista Iberica de Aracnología, Zaragoza*, vol. especial monográfico, n. 1, p. 1-337, 2003.
- LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. *Numerical Ecology*. 2 ed. Elsevier, 1998. 853p.
- MAGURRAN, A. E. *Measuring biological diversity*. Oxford: Blackwell, 2004. 256p.
- NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro-RJ, 1989.
- PINTO-DA-ROCHA, R. Sinopse da fauna cavernícola do Brasil (1907-1994). *Papéis Avulsos de Zoologia*, v. 39, n. 6, p. 61-173, 1995.
- POULSON, T. L.; CULVER, D. C. Diversity in terrestrial cave communities. *Ecology* v. 50, n. 1, p. 153–158, 1969.
- POULSON, T. L.; WHITE, W. B. The cave environment. *Science*, v. 165, n. 3897, p. 971-980, 1969.
- RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, C. J. B.; CASARI, S. A.; CONSTANTINO, R. *Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia*. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2012. 796p.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2014. Disponível em: < <http://www.R-project.org/>>.
- RICOTTA, C.; AVENA, G.; CHIARUCCI, A. Quantifying the effects of nutrient addition on the taxonomic distinctness of serpentine vegetation. *Plant Ecology*, v. 179, n. 1, p. 21-29, 2005.
- RUPPERT, E. E.; FOX, R.; BARNES, R. D. *Zoologia dos Invertebrados*. 7. ed. São Paulo: Roca, 2005. 1168p.
- SCHNEIDER, K.; CULVER, D. C. Estimating subterranean species richness using intensive sampling and rarefaction curves in a high density cave region in West Virginia. *Journal of Cave and Karst Studies*, v. 66, n. 2, p. 39-45, 2004.

- SIMÕES, L. B. *Biodiversidade da fauna subterrânea na área cárstica de São Domingos, nordeste de Goiás: relevância versus visibilidade de táxons*. 2013. 197f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- SIMÕES, M. H.; SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R. L. Cave invertebrates in northwestern Minas Gerais State, Brazil: endemism, threats and conservation priorities. *Acta Carsologica*, v. 43, n. 1, p.159-174, 2014.
- SIMON, K. S.; PIPAN, T.; CULVER, D. C. A conceptual model of the flow and distribution of organic carbon in caves. *Journal of Cave and Karst Studies*. v. 69, n. 2, p. 279–284, 2007.
- SOUSA, R. A. S. *Da superfície ao subterrâneo: um estudo sobre as influências do habitat físico na estrutura da comunidade em um hotspot de bioiversidade subterrânea*. 2014. 72f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- SOUZA-SILVA, M.; JÚNIOR, A. S.; FERREIRA, R. L. Food resource availability in a quartzite cave in the Brazilian montane Atlantic Forest. *Journal of Cave and Karst Studies*, v. 75, n. 3, p. 177–188, 2013.
- TRAJANO, E. Cave faunas in the Atlantic tropical rain forest: composition, ecology and conservation. *Biotropica*, v. 32, n. 4, p. 882-893, 2000
- TRAJANO, E. Mapping subterranean biodiversity in Brazilian karst areas. In: CULVER, D.C.; DEHARVENG, L.; GIBERT, J.; SASOWSKY, I.D., (Eds.). *Mapping Subterranean Biodiversity*. Karst Waters Institute, Special Publication 6, (Proceedings of the Workshop “Mapping Subterranean Biodiversity”, Moulis), p. 67-70, 2001.
- TRAJANO, E. Política de conservação e critérios ambientais: princípios, conceitos e protocolos. *Estudos Avançados*, v. 24, n. 68, p. 135-146, 2010.
- TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. *Biologia subterrânea: Introdução*. São Paulo: Redespeleo, 2006, 92p.
- TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. Diversity of Brazilian subterranean invertebrates, with a list of troglomorphic taxa. *Subterranean Biology*, v. 7, p. 1-16, 2010.
- TRAJANO, E.; GNASPINI, P. Notes on the food webs in caves of southeastern Brazil. *Mémoires de Biospéologie*, Moulis, v. 8, p. 75-79, 1991.
- TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E.; BATALHA, M. A. Environmental studies in caves: the problems of sampling, identification, inclusion, and indices. *Espeleo-Tema*, v. 23, n. 1, p. 13-22. 2012.
- WARWICK, R. M.; CLARKE, K. R. Taxonomic distinctness and environment assessment. *Journal of Applied Ecology*, v. 35, p. 532-543, 1998.
- WEBB, C. O.; ACKERLY, D. D.; MCPEEK, M. A.; DONOGHUE, M. J. Phylogenies and community ecology. *Annual Review Ecology and Systematics*. v. 33, p. 475–505, 2002.

WEIHER, E.; KEDDY, P. A. Assembly Rules, Null Models, and Trait Dispersion: New Questions from Old Patterns. *Oikos*, v. 74, n. 1, p. 159-164, 1995.

WILLIAMS, P.H.; HUMPHRIES, C. J.; VANE-WRIGHT, R. I. Measuring biodiversity: taxonomic relatedness for conservation priorities. *Australian Systematic Botany*, v. 4, n. 4, p. 665–679, 1991.

Apêndice 1: Listagem faunística com a abundância dos táxons de sete cavernas da área cárstica de Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil. Cavernas: AL = Lapa Arco da Lapa; SB = Lapa da Fazenda São Bernardo; ZS = Lapa Zé de Sidinei; VP = Lapa Vereda da Palha; TC = Toca do Charco; LM = Lapa do Moacir; GJ = Gruta da Juruva. Organismos: AC = acidental; TX = troglógeno; TF = troglófilo; TM = troglomórfico; TB = possível troglóbio; R = raro; RN = registro novo. Táxons troglomórficos, espécies novas e registros novos destacados em vermelho.

Táxon	Espécie	AL	SB	ZS	VP	TC	LM	GJ
C. Arachnida								
O. Acari	sp. 1	1	0	2	0	1	0	0
	sp. 2	2	5	1	0	0	0	0
	sp. 3	11	0	0	14	1	5	0
	sp. 4	3	3	1	4	0	0	0
	sp. 5	3	3	0	20	0	7	0
	sp. 6	0	1	0	0	0	0	0
	sp. 7	0	1	0	0	0	0	1
	sp. 8	3	0	0	0	0	0	0
	sp. 9	0	0	0	3	0	0	0
	sp. 10	0	0	0	1	0	0	0
	sp. 11	1	0	0	0	0	0	0
	sp. 12	0	0	2	0	0	0	0
	sp. 13	0	0	0	1	0	0	0
	sp. 14	0	0	0	9	0	0	0
	sp. 15	0	0	0	1	0	0	0
	sp. 16	0	0	1	0	0	0	0
	sp. 17	4	1	4	2	3	0	7
	sp. 18	0	0	0	7	0	4	0
	sp. 19	0	0	0	1	0	0	0
	sp. 20	0	0	0	1	0	0	0

Táxon	Espécie	AL	SB	ZS	VP	TC	LM	GJ
	sp. 21	0	1	0	0	0	0	0
	sp. 22	3	0	0	0	0	3	0
	sp. 23	1	0	0	0	0	0	0
	sp. 24	0	0	0	0	0	5	0
	sp. 25	0	0	0	0	0	4	0
	sp. 26	0	0	0	0	0	12	0
	sp. 27	0	0	0	0	0	2	0
	sp. 28	0	0	0	0	0	2	0
	sp. 29	0	0	0	0	0	4	0
	sp. 30	0	0	0	0	0	2	0
	sp. 31	1	0	0	0	0	0	0
	sp. 32	1	0	0	0	1	0	0
	sp. 33	0	1	0	1	0	0	0
	sp. 34	0	0	1	0	0	0	0
	sp. 35	0	0	1	0	0	0	0
O. Araneae								
F. Anapidae	sp. 1	1	2	0	0	0	0	0
F. Araneidae	<i>Araneus</i> sp. 1	6	4	1	24	1	2	1
	<i>Araneus</i> sp. 3	1	0	0	0	0	4	0
	<i>Araneus</i> sp. 4	0	0	1	0	0	0	0
	<i>Araneus</i> sp. 5	0	0	0	0	0	2	0
	<i>Araneus</i> sp. 6	4	0	0	0	0	0	0
	<i>Araneus</i> sp. 8	2	0	0	0	0	0	0
	<i>Mangora melanocephala</i> (Taczanowski, 1874)	1	1	0	0	0	0	0
F. Caponiidae	sp. 1	0	1	0	0	0	0	0

Táxon	Espécie	AL	SB	ZS	VP	TC	LM	GJ
	sp. 2	0	1	0	0	0	0	0
F. Ctenidae	<i>Isoctenus</i> sp. (TF)	3	18	14	8	5	4	2
	<i>Ancylometes concolor</i> (Perty, 1833)	0	1	1	1	1	0	0
	<i>Enoploctenus cyclothorax</i> (Bertkau 1880) (TF)	32	57	8	20	0	6	12
F. Hahniidae	sp. 1	0	6	0	0	6	1	0
F. Linyphiidae	sp. 1	1	0	0	0	0	0	0
	<i>Mermessus</i> sp.	0	2	0	0	0	0	0
	<i>Scolecuroa parilis</i> (Millidge, 1991)	16	0	0	0	0	0	0
	<i>Smermisia</i> sp.2	1	2	0	0	0	0	0
	<i>Vesicapalpus simplex</i> (Millidge, 1991)	0	1	0	0	0	0	0
F. Nephilidae	sp. 1	1	0	0	1	0	0	0
F. Oonopidae	sp. 1	0	5	0	1	0	0	0
	sp. 2	0	5	2	0	0	1	0
	sp. 3	0	1	0	0	0	0	0
F. Pholcidae	<i>Mesabolivar aff. tandilicus</i> (Mello-Leitao, 1940)	27	0	0	0	23	13	0
	<i>Mesabolivar aff. togatus</i> (Keyserling, 1891) (TF)	1	3	9	12	0	0	0
	<i>Mesabolivar</i> sp.n.16 (TF)	0	18	5	8	0	0	0
	<i>Metagonia</i> sp.1	0	6	0	0	0	0	0
F. Salticidae	sp. 1	1	18	3	3	2	0	0
	sp. 2	0	2	0	0	0	0	0
	sp. 3	0	0	0	3	2	0	0
	sp. 4	0	0	0	0	0	2	0
	sp. 5	0	0	0	0	1	2	0
F. Selenopidae	sp. 1	0	0	0	1	0	0	0
F. Sicariidae	<i>Loxosceles</i> sp. (TF)	44	0	0	6	0	0	13

Táxon	Espécie	AL	SB	ZS	VP	TC	LM	GJ
F. Atemnidae (cf)	sp.	2	1	0	0	0	0	0
F. Cheiridiidae	sp. n. (RN)	17	1	0	1	0	0	7
F. Chthoniidae	sp. (TF)	0	3	0	0	0	0	0
	sp. 3	0	0	0	0	0	1	0
	sp. 4 (TM/TB)	0	0	1	0	0	0	0
F. Chernetidae	<i>Spelaeochernes</i> sp. (TF)	14	2	18	6	1	0	0
F. Geogarypidae	<i>Geogarypus</i> sp. n. (RN)	0	7	0	0	0	0	0
	sp.	0	2	0	0	0	0	0
F. Olpiidae	sp. (TF)	1	1	0	0	0	0	1
O. Scorpiones								
F. Buthidae	<i>Tityus</i> sp.	0	0	1	1	0	0	0
C. Chilopoda								
O. Geophilomorpha	Geophilomorpha sp. 4 (TF)	0	7	0	0	0	0	0
F. Geophilidae	Geophilidae sp. 1	0	3	0	0	0	0	0
O. Lithobiomorpha								
F. Henicopidae	<i>Lamyctes</i> sp. 3	0	0	10	0	0	0	0
	<i>Lamyctes</i> sp. 4 (TF)	0	0	0	0	0	1	0
O. Scolopendromorpha								
F. Cryptopidae								
Sf. Cryptopinae	<i>Cryptops</i> sp. 4	0	1	0	0	0	0	0
C. Symphyla	sp. 1	1	5	1	0	0	0	0
C. Diplopoda	sp. 1	0	0	0	0	0	2	0
	sp. 2	0	1	0	0	0	0	0
O. Polyxenida	sp. 1 (TF)	1	1	0	0	0	0	0
O. Polydesmida	sp. 1	0	5	0	0	0	0	0

Táxon	Espécie	AL	SB	ZS	VP	TC	LM	GJ
	sp. 2	0	0	1	0	0	0	0
	sp. 3 (TM/TB)	0	0	0	1	0	0	0
	sp. 4	0	1	0	0	0	0	0
	sp. 5	0	1	0	0	0	0	0
	sp. 6	1	0	0	0	0	0	0
	sp. 7	1	0	0	0	0	0	0
O. Spirostreptida								
F. Pseudonannolenidae	sp. 1	1	0	0	0	0	0	0
	sp. 2	1	2	0	0	0	0	0
	sp. 3	1	0	0	0	0	0	0
	sp. 4	1	0	0	0	0	0	0
	sp. 5	1	0	0	3	0	0	0
	sp. 6	0	0	0	0	1	0	0
	sp. 7	1	5	1	1	0	0	3
	sp. 8	0	3	0	3	0	0	0
	sp. 9	0	0	0	1	0	0	0
	sp. 10	4	0	0	3	0	0	0
	sp. 11	0	0	0	0	0	2	0
	sp. 12	0	0	0	0	2	0	0
	sp. 13	2	0	0	0	0	0	0
	sp. 14	8	0	0	0	0	0	0
	sp. 15	0	0	3	0	0	0	0
	sp. 16	0	0	4	0	0	0	0
	sp. 17	0	0	0	2	0	0	0
	sp. 18	0	0	5	0	0	0	0

Táxon	Espécie	AL	SB	ZS	VP	TC	LM	GJ
	sp. 19	0	0	5	0	0	0	0
	sp. 20	0	0	0	0	0	0	1
	sp. 21	0	2	0	0	0	0	0
	sp. 22	2	0	0	0	0	0	0
	sp. 23	0	0	0	0	0	1	0
C. Entognatha								
O. Collembola								
So. Entomobryomorpha	sp. 1	21	28	52	47	0	3	0
	sp. 2	2	38	1	0	5	3	0
	sp. 3	0	0	0	0	1	0	0
	sp. 4	0	0	0	0	2	0	0
	sp. 5	1	2	0	0	0	0	0
	sp. 6	2	9	1	5	0	0	0
	sp. 7	1	0	0	4	1	0	2
	sp. 8	1	3	1	1	1	33	0
	sp. 9	0	0	0	8	0	0	5
So. Poduromorpha	sp. 1	0	1	0	0	3	0	0
	sp. 2	0	0	8	0	0	0	0
	sp. 3	0	0	0	84	0	0	0
	sp. 4	0	0	5	1	0	7	0
So. Symphypleona	sp. 1	1	0	0	1	0	0	0
	sp. 2	0	0	1	0	0	0	0
	sp. 3	0	0	0	1	0	0	0
O. Diplura	sp. 1	1	2	0	0	1	0	0
	sp. 2	0	0	1	0	0	0	0

Táxon	Espécie	AL	SB	ZS	VP	TC	LM	GJ
C. Gastropoda	sp. 1	2	7	2	0	2	2	5
	sp. 2	8	24	4	0	0	1	24
	sp. 3	7	13	2	0	1	0	0
	sp. 4	1	7	3	0	5	3	1
	sp. 5	0	0	0	1	0	0	0
	sp. 6	0	0	1	2	0	2	0
	sp. 7	0	0	1	0	0	0	0
	sp. 8	0	0	1	0	0	0	0
	sp. 9	0	2	0	0	0	0	0
	sp. 10	0	21	11	46	1	12	0
	sp. 11	2	20	4	1	1	6	2
	sp. 12	0	24	1	1	0	0	0
	sp. 13	0	1	0	0	0	0	0
	sp. 14	0	4	0	1	0	0	0
	sp. 15	0	0	0	0	1	2	0
	sp. 16	0	0	0	0	0	2	0
	sp. 17	0	4	0	1	0	2	0
	sp. 18	0	1	0	0	0	0	0
	sp. 19	0	1	0	0	0	0	0
	sp. 20	0	1	0	0	0	0	0
	sp. 21	0	0	0	0	1	0	0
C. Insecta								
O. Archaeognatha								
F. Meinertellidae	sp. 1	1	9	2	2	0	0	0
O. Blattaria	sp. 2	0	0	1	0	0	0	0

Táxon	Espécie	AL	SB	ZS	VP	TC	LM	GJ
	sp. 3 (AC)	0	0	0	1	0	0	0
	sp. 5	0	0	1	0	0	0	0
O. Coleoptera	sp. 4	0	2	0	0	0	0	0
	sp. 5	0	0	0	0	0	1	0
	sp. 6	0	0	0	0	0	0	1
	sp. 7	0	0	0	1	0	0	0
	sp. 8	0	0	0	1	0	0	0
	sp. 9	0	0	0	1	0	0	0
F. Carabidae	sp. 1	0	28	0	7	0	0	0
	sp. 2	0	2	0	0	0	0	0
	sp. 3	17	12	0	2	6	1	0
	sp. 4 (TM/TB)	1	6	1	0	0	0	0
	sp. 5	0	4	0	0	0	0	0
	sp. 6	0	0	0	3	0	0	0
	sp. 7	0	3	0	2	0	0	0
F. Rhysodidae	sp. 1	0	0	0	1	0	0	0
F. Ceratocanthidae	sp. 1 (AC)	0	2	0	0	0	0	0
F. Chrysomelidae	sp. 1 (AC)	0	1	0	0	0	0	0
	sp. 2 (AC)	1	2	0	0	0	0	0
	sp. 3 (AC)	0	2	0	0	0	0	0
	sp. 5 (AC)	0	0	0	0	0	0	1
F. Corylophidae	sp. 1	0	2	0	0	0	0	0
	sp. 3	0	0	1	0	0	0	0
F. Curculionidae	sp. 1 (AC)	2	3	0	0	1	1	0
	sp. 2 (AC)	0	0	1	0	0	0	0

Táxon	Espécie	AL	SB	ZS	VP	TC	LM	GJ
	sp. 3 (AC)	1	0	0	0	0	0	0
F. Elateridae	sp. 1	0	1	0	0	0	0	0
F. Eucnemidae	sp. 2	0	0	0	1	0	0	0
F. Histeridae	sp. 1	2	0	0	3	0	0	11
	sp. 2	0	0	0	1	0	0	0
F. Leiodidae	sp. 1	1	0	1	5	0	0	0
F. Ptiliidae	sp. 2	1	0	0	1	0	0	0
F. Scarabaeidae	sp. 1	1	0	0	1	0	0	0
	sp. 3	1	0	0	0	0	0	0
	sp. 5	1	0	0	0	0	0	0
F. Scirtidae	sp. 1	2	6	0	0	0	0	0
F. Scydmaenidae	sp. 1 (AC)	0	0	1	1	0	0	0
	sp. 2 (AC)	0	2	0	0	0	0	0
F. Silphidae	sp. 1	8	2	0	0	0	1	0
F. Staphylinidae	sp. 1	2	0	0	1	1	0	0
	sp. 2	0	1	0	1	0	0	0
	sp. 3	1	5	0	5	0	2	0
	sp. 4	2	0	0	1	0	0	0
	sp. 5	4	2	1	0	0	0	0
	sp. 6	3	3	0	1	0	0	0
	sp. 7	0	9	0	0	0	0	0
	sp. 9	0	2	0	2	0	0	0
	sp. 10	3	0	0	2	0	0	0
	sp. 11	8	0	0	5	0	0	0
	sp. 12	0	0	0	1	0	0	0

Táxon	Espécie	AL	SB	ZS	VP	TC	LM	GJ
	sp. 13	1	0	0	0	0	0	0
	sp. 15	4	0	0	0	0	0	0
	sp. 20	0	0	0	1	0	0	0
	sp. 21	0	0	0	0	0	1	0
Sf. Pselaphinae	sp. 1 (TF)	2	11	1	5	9	0	0
	sp. 2	0	8	0	0	0	0	0
	sp. 3	0	1	0	0	0	0	0
	sp. 4	0	2	0	1	0	0	0
	sp. 5	0	2	0	0	0	0	0
	sp. 7 (TM/TB)	0	2	0	1	0	0	0
	sp. 8	0	1	0	0	0	3	0
	sp. 9	0	0	0	0	1	0	0
F. Tenebrionidae	sp. 2	0	0	0	0	0	0	2
O. Dermaptera	sp. 1	0	0	0	1	0	0	0
O. Diptera								
So. Brachycera	sp. 1	0	0	1	10	0	0	0
	sp. 2	1	0	0	0	0	0	0
	sp. 3	0	0	0	2	0	0	0
	sp. 4	1	0	0	0	0	0	0
	sp. 6	1	0	0	0	0	0	0
	sp. 7	1	0	0	0	0	0	0
	sp. 8	0	0	1	0	0	0	0
F. Anthomyiidae	sp. 1	0	0	0	1	0	0	0
F. Dolichopodidae	sp. 1	2	0	0	1	0	0	0
	sp. 2	2	0	0	0	0	0	0

Táxon	Espécie	AL	SB	ZS	VP	TC	LM	GJ
F. Drosophilidae	sp. 1	7	0	0	21	0	0	1
	sp. 2	10	0	0	0	0	1	0
	sp. 3	0	0	0	0	1	0	0
	sp. 4	1	0	0	1	0	0	0
	sp. 5	0	0	0	2	0	0	5
	sp. 6	0	0	0	2	0	0	0
	sp. 7	0	0	0	0	0	0	1
F. Phoridae	sp. 1	6	0	3	7	0	0	0
	sp. 2	0	0	1	0	0	0	0
	sp. 3	1	0	0	0	0	0	0
	sp. 4	1	0	0	0	0	0	0
	sp. 5	0	0	0	1	0	0	0
So. Nematocera	sp. 1	0	0	0	0	0	1	0
	sp. 2	1	0	0	0	0	0	0
	sp. 3	1	1	0	0	0	0	0
	sp. 4	0	0	1	0	0	0	0
F. Cecidomyiidae	sp. 1	4	1	3	4	0	3	0
	sp. 2	0	0	0	0	2	2	0
	sp. 3	1	3	0	1	0	0	0
F. Culicidae	sp. 1	1	0	0	0	1	0	0
	sp. 2	0	0	0	0	0	1	0
	sp. 3	1	0	0	0	0	0	0
	sp. 4	0	0	0	1	0	2	0
F. Keroplatidae	sp. 1	0	1	1	0	0	0	0
	sp. 2	1	0	0	0	0	0	0

Táxon	Espécie	AL	SB	ZS	VP	TC	LM	GJ
F. Limoniidae	sp. 1	0	0	1	0	0	0	0
	sp. 2	0	2	0	2	1	0	0
	sp. 3	0	2	0	0	0	0	0
	sp. 4	0	0	0	0	0	1	0
F. Mycetophylidae	sp. 1	0	0	0	0	0	1	0
F. Psychodidae	sp. 1	0	0	0	0	0	1	0
F. Sciaridae	sp. 1	2	0	1	0	0	0	0
	sp. 2	0	0	0	2	0	0	0
	sp. 3	0	0	0	1	0	0	1
	sp. 4	0	3	0	0	0	0	0
	sp. 5	0	0	1	4	2	0	3
	sp. 6	0	0	0	1	0	0	0
F. Tipulidae	sp. 1	0	0	0	1	0	0	0
O. Hemiptera	sp. 2	1	2	0	0	0	0	0
So. Heteroptera								
F. Ceratocombidae	sp. 1 (AC)	0	1	1	3	0	0	0
F. Lygaeidae sp. 1	sp. 1	0	1	0	0	0	0	0
	sp. 2	0	2	0	0	0	0	0
F. Pentatomidae	sp. 1	0	1	0	0	0	0	0
F. Reduviidae								
Sf. Emesinae	<i>Emesa mourei</i> (Wygodzinsky, 1945) (TF)	2	0	0	0	0	0	0
	<i>Phasmatocoris</i> sp. (TF)	0	0	0	0	1	0	0
	<i>Ploiaria</i> sp. (TF)	6	6	0	7	0	0	0
	<i>Ploiaria sp.prox. carvalhoi</i> (Wygodzinsky, 1966)(TF)	0	0	0	0	1	0	0
Sf. Reduviinae	<i>Zelurus zikani</i> (Costa Lima, 1940) (TF)	4	1	9	5	1	0	0

Táxon	Espécie	AL	SB	ZS	VP	TC	LM	GJ
	<i>Zelurus</i> sp. (TF)	0	0	0	0	0	3	0
F. Thyreocoridae	sp. 1	0	1	0	0	0	0	0
So. Auchenorrhyncha	sp. 2	0	1	0	0	0	0	0
	sp. 3	1	0	1	0	0	0	0
F. Cixiidae	sp. 1	0	0	0	0	2	2	0
	sp. 2	5	6	0	1	2	2	0
	sp. 3	1	0	0	0	0	0	0
	sp. 4	0	1	0	0	0	0	0
O. Hymenoptera								
So. Apocrita	sp. 1	1	0	0	0	0	0	0
	sp. 2	0	0	0	1	0	0	0
	sp. 6	0	0	0	1	0	0	0
	sp. 8	1	0	0	0	0	0	0
	sp. 9	0	0	0	0	0	1	0
	sp. 10	1	0	0	0	0	0	0
	sp. 11	0	0	1	0	0	0	0
F. Formicidae	sp. 36	0	1	0	0	1	0	0
	sp. 37	0	1	0	0	0	0	0
	sp. 39	0	0	1	0	0	0	0
Sf. Dorylinae	<i>Neivamyrmex</i> sp. 1 (AC)	0	0	0	0	0	1	0
Sf. Ectatomminae	<i>Gnamptogenys</i> sp. 1	0	3	0	0	0	0	0
Sf. Formicinae	<i>Brachymyrmex</i> sp. 1 (AC)	1	9	0	0	1	3	0
	<i>Camponotus crassus</i> (Mayr, 1862) (AC)	0	1	0	1	0	0	0
	<i>Camponotus atriceps</i> (Smith, 1858) (AC)	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Nylanderia</i> sp. 1 (AC)	0	88	2	1	0	0	0

Táxon	Espécie	AL	SB	ZS	VP	TC	LM	GJ	
Sf. Myrmicinae	<i>Nylanderia</i> sp. 6	1	0	0	0	0	0	0	
	<i>Acromyrmex</i> sp. 2	2	0	0	0	2	0	5	
	<i>Atta sexdens</i> (Linnaeus, 1758) (AC)	6	2	0	0	0	0	0	
	<i>Eurhopalothrix</i> sp. (R)	0	1	0	0	0	0	0	
	<i>Pheidole</i> sp. 5	0	1	0	0	0	0	0	
	<i>Pheidole</i> sp. 6	4	5	0	0	0	0	0	
	<i>Pheidole</i> sp. 7	0	3	0	0	0	0	0	
	<i>Rogeria</i> sp. 1	0	1	0	0	0	0	0	
	<i>Oxyepoecus rosai</i> (Albuquerque & Brandão, 2009) (R)	0	0	1	0	0	0	0	
	<i>Solenopsis</i> sp. 1 (AC)	1	7	0	0	0	0	4	
	<i>Solenopsis</i> sp. 2	2	0	0	0	1	0	0	
	<i>Wasmannia auropunctata</i> (Roger, 1863) (AC)	0	9	0	7	0	0	18	
	Sf. Ponerinae	<i>Odontomachus meinerti</i> (Forel, 1905) (AC)	0	2	1	0	0	0	1
		<i>Pachycondyla crassinoda</i> (Latreille, 1802)	1	2	1	0	2	5	2
<i>Hypoponera</i> sp. 1		2	0	0	0	0	0	0	
<i>Hypoponera</i> sp. 2 (AC)		0	2	0	0	0	0	0	
<i>Hypoponera</i> sp. 3 (AC)		1	3	0	0	5	0	0	
<i>Hypoponera</i> sp. 4 (AC)		0	6	1	0	0	1	0	
O. Isoptera									
F. Termitidae	sp. 1 (AC)	34	0	0	18	4	7	0	
O. Lepidoptera									
So. Heterocera	sp. 1 (TF)	25	33	17	42	10	14	26	
	sp. 2	1	2	0	0	0	0	0	
	sp. 3	1	1	0	0	0	0	0	
	sp. 4	0	1	8	4	1	0	4	

Táxon	Espécie	AL	SB	ZS	VP	TC	LM	GJ
	sp. 5	3	1	6	0	0	2	0
	sp. 6	0	0	0	0	0	1	0
	sp. 7	1	0	0	0	0	0	0
	sp. 8	0	1	0	0	0	0	0
O. Orthoptera								
F. Phalangopsidae								
Sf. Luzarinae	<i>Eidmanacris</i> sp. n MG1	0	8	0	0	0	0	0
	<i>Eidmanacris</i> sp. n MG2	7	0	0	1	0	0	0
	<i>Endecous</i> sp. n. MG1 (TF)	0	5	0	14	0	0	0
	<i>Endecous aguassay</i> (Mews, 2008)	8	0	0	0	0	0	0
	<i>Endecous</i> sp.	0	0	7	0	0	0	0
O. Psocoptera	sp. 1	22	18	18	3	3	20	6
	sp. 2	0	15	0	0	2	1	0
	sp. 3	2	0	0	5	4	0	0
	sp. 4	1	0	2	1	0	1	8
	sp. 5	0	0	0	0	0	0	1
	sp. 6	5	0	0	0	0	0	5
	sp. 7	3	0	3	2	1	5	1
	sp. 8	0	0	0	1	0	1	0
	sp. 9	0	0	0	21	0	0	1
	sp. 11	0	0	3	4	0	3	12
	sp. 12	5	2	5	2	0	5	4
	sp. 13	1	0	0	1	4	9	0
	sp. 14	11	3	2	3	0	4	7
	sp. 15	0	0	0	1	0	0	4

Táxon	Espécie	AL	SB	ZS	VP	TC	LM	GJ
	sp. 17	0	0	0	0	0	2	0
O. Zygentoma	sp. 1	1	3	0	0	0	3	0
C. Malacostraca								
O. Isopoda								
F. Platyarthridae	sp. 1	2	0	0	0	0	0	0
F. Dubioniscidae	sp. 1 (TF)	8	31	12	0	2	0	0
	sp. 2	0	0	0	0	0	0	1
F. Scleropactidae	sp. 2	0	0	2	0	0	0	0
C. Nematoda								
C. Clitellata								
Sc. Oligochaeta								
O. Haplotaxida	sp. 1	0	5	0	1	0	0	0
	sp. 2	1	2	5	5	0	0	0
	sp. 3	20	2	0	1	0	0	0
	sp. 4	5	0	4	0	0	0	0
Sc. Hirudinea	sp. 1	2	2	0	0	0	0	0
C. Turbellaria								
O. Tricladida	sp. 4	2	0	0	0	0	0	0
	sp. 5	0	1	0	0	0	0	0

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23

CAPÍTULO II

Influência da Complexidade de Habitats e Microhabitats na Diversidade e Distribuição da Fauna Cavernícola Neotropical

Tamires Zepon^{1,2} e Maria Elina Bichuette¹

¹Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Laboratório de Estudos

Subterrâneos, Departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva, Universidade Federal de São

Carlos. Rodovia Washington Luís, km 235. CEP: 13565-905 Caixa-postal: 676. São Carlos, SP -

Brasil.

² Autor para correspondência: tazepon@gmail.com

Artigo de acordo com as normas da Revista Biotropica

1 **RESUMO**

2

3 Cavernas são filtros ambientais e, portanto, excelentes habitats para testar a distribuição de
4 animais. Testamos se a complexidade de habitats (estrutura física das cavernas, presença de
5 drenagens e recursos e estado de degradação do entorno), a zonação de cavernas e a
6 complexidade de substratos influenciam a diversidade e distribuição da fauna terrestre
7 subterrânea da área cárstica de Presidente Olegário, estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil.
8 Realizamos coletas em seis cavernas da região contemplando períodos secos e chuvosos,
9 utilizando métodos de coleta combinados. Observamos que a área cárstica possui elevada riqueza
10 (381 espécies), a qual é influenciada pela presença de matéria orgânica, e encontramos elevada
11 riqueza e abundância de espécies nas zonas de entrada e penumbra, onde o aporte de alimento é
12 maior. Observamos um mosaico de distribuição em relação aos substratos, já que a
13 heterogeneidade ambiental aumenta a quantidade de nichos disponíveis para a fauna. Alguns
14 táxons apresentaram preferência por determinados substratos, provavelmente relacionada à
15 disponibilidade de recursos alimentares, evidenciando a diferenciação de nicho entre as espécies.
16 Baseando-se nessas informações, construímos uma teia alimentar hipotética para as cavernas
17 estudadas. Devido sua elevada riqueza, propomos incluir a área cárstica de Presidente Olegário
18 como prioritária para conservação, já que há uma série de impactos presentes na região, como
19 atividades agropecuárias, as quais podem prejudicar a qualidade ambiental destes habitats.

20

21 *Palavras-chave:* Brasil; comunidades cavernícolas; conservação; substrato; zonação.

22

23

1 **ABSTRACT**

2

3 Caves are environmental filters and therefore excellent habitats to test the distribution of animals.
4 We tested if the complexity of habitats (physical structure of the caves, presence of drainage and
5 food resources and environmental degradation state), the cave zones and the complexity of
6 substrates influence the diversity and distribution of subterranean terrestrial fauna from
7 Presidente Olegário karst area, Minas Gerais state, southeastern Brazil. We carry out collections
8 in six caves in the area covering dry and wet periods, using combined collection methods. We
9 observed that the karst area has high richness (381 species), which is influenced by the presence
10 of organic matter, and found high richness and abundance in the entrance and twilight zones,
11 where food input is higher. We observed a mosaic distribution in relation to the substrate, since
12 the environmental heterogeneity increases the amount of available niches for the fauna. Some
13 taxa showed preference for certain substrates, probably related to the availability of food
14 resources, emphasizing the niche differentiation between species. Based on these informations,
15 we constructed a hypothetical food web for the studied caves. Due its high richness, we propose
16 to include Presidente Olegário karst area as a priority for conservation, since there are a number
17 of current impacts in the region, such as agricultural activities, which may affect the
18 environmental quality of these habitats.

19

20 *Key Words:* Brazil; cave communities; conservation; substrate; zonation.

21

22

23

1 O AMBIENTE SUBTERRÂNEO OU HIPÓGEO CONSISTE EM ESPAÇOS INTERCONECTADOS DO SUBSOLO
2 DE DIFERENTES DIMENSÕES, DESDE ESPAÇOS MILIMÉTRICOS ATÉ AS CAVERNAS. Esse ambiente
3 apresenta diversos habitats terrestres (*e.g.* cavernas, fendas, fissuras) (Howarth 1983, Juberthie
4 2000), os quais possuem uma variedade de substratos, como areia, argila, silte e blocos de rochas
5 (Culver & Pipan 2009).

6 O ambiente subterrâneo pode apresentar três zonas de acordo com a distância em relação
7 ao ambiente epígeo: zona de entrada, zona de penumbra e zona afótica (Poulson & White 1969).
8 Devido ao efeito isolante da rocha, quanto maior a distância das entradas, as zonas caracterizam-
9 se pela redução da luminosidade, redução das flutuações de temperatura e da umidade (Juberthie
10 2000, Culver & Pipan 2009), assim como pela distribuição diferenciada dos seres vivos (Poulson
11 & White 1969, Trajano & Bichuette 2006). A formação da entrada é o resultado do contato das
12 linhas de fraturas da rocha com a superfície. Por isso, há cavernas com muitas entradas e outros
13 espaços subterrâneos sem formação destas (Curl 1966, Culver & Pipan 2009).

14 A ausência permanente de luz, típica da zona afótica, e a consequente ausência de
15 fotoperíodo, acarreta na exclusão de organismos fotoautotróficos, o que geralmente resulta em
16 condições de escassez alimentar (Poulson & Lavoie 2000, Culver & Pipan 2009). Nesse meio, os
17 recursos energéticos são produzidos por bactérias quimioautotróficas ou são trazidos da
18 superfície (por água, vento, ou ocasionalmente por animais), e são compostos por matéria
19 orgânica, guano, carcassas, etc. Esses recursos estão distribuídos de maneira dispersa (Howarth
20 1983, Culver & Pipan 2009) e sua distribuição e disponibilidade determinam onde os animais
21 serão encontrados (Poulson & Culver 1969, Culver & Pipan 2009). Além disso, uma vez que a
22 base alimentar consiste em materiais alóctones, as teias alimentares subterrâneas são truncadas

1 no topo, com apenas dois níveis tróficos (detritívoros e predadores) significativamente
2 representados (Gibert & Deharveng 2002).

3 O entendimento do funcionamento dos ecossistemas subterrâneos é dependente do
4 mapeamento da biodiversidade, o qual implica em amostragens biológicas acuradas (Culver *et*
5 *al.* 2001) com réplicas para a detecção de espécies raras (Huston 1994, Schneider & Culver
6 2004, Gallão & Bichuette 2015).

7 Amostragens adequadas são importantes já que a biodiversidade varia entre microhabitats
8 (Gibert & Deharveng 2002) e alguns dos diversos fatores que influenciam na ocorrência e
9 distribuição dos táxons no meio subterrâneo são: (1) a estrutura física das cavernas (*e.g.*,
10 presença de claraboias que são vias de colonização para a fauna e de entrada de raízes e materiais
11 vindos da superfície; quantidade, dimensão e topografia de entradas - por exemplo, entradas em
12 declives que favorecem o aporte de recursos pela ação de enxurradas) (Howarth 1983, Poulson &
13 Lavoie 2000, Trajano & Bichuette 2010); (2) a presença de drenagens que levam recursos do
14 meio epígeo para o subterrâneo e mantêm substratos terrestres úmidos ao longo do ano (Poulson
15 & White 1969, Culver & Pipan 2009); (3) a qualidade ambiental do entorno, próximo à entradas,
16 sistemas de cavernas e áreas de recargas de aquíferos (Christman & Culver 2001), e impactos
17 provenientes de atividades antrópicas, como práticas agropecuárias que causam assoreamento e
18 poluição de drenagens, prejudicando o habitat e o aporte de material alóctone para as cavernas
19 (Howarth 1983, Sket 1999, Trajano 2000, Simon 2012); (4) a zonação das cavernas (Poulson &
20 White 1969); e (5) a complexidade de substratos (*e.g.*, quantidade e qualidade de depósitos de
21 matéria orgânica) (Poulson & Culver 1969, Culver & Pipan 2009, Ferreira & Martins 2009).

22 A área cárstica de Presidente Olegário, noroeste do estado de Minas Gerais, Brasil, possui
23 mais de 200 cavernas e tem potencial para mais 50, segundo o Grupo Pierre Martin de

1 Espeleologia (GPME, com. pes. 2014). Entretanto, estudos focando a fauna subterrânea são
2 escassos e meramente descritivos: Secutti & Bichuette (2013) descrevem a ictiofauna
3 subterrânea; Simões *et al.*(2014) trazem dados faunísticos para três cavernas da região e Cardoso
4 *et al.* (2014) uma descrição de espécie troglóbia de Amphipoda (gênero *Hyaella*).

5 Considerando a ausência de estudos nessa região e as ameaças presentes na área cárstica
6 (tais como agricultura extensiva, projetos de construção de pequenas centrais hidrelétricas e
7 projetos para a extração de gás) nós investigamos a influência da complexidade dos fatores
8 ambientais na diversidade e distribuição da fauna subterrânea de Presidente Olegário.

9 Testamos aqui as seguintes hipóteses: (1) a complexidade de habitats (estrutura física das
10 cavernas, presença de drenagens, diversidade de recursos, estado de degradação do entorno)
11 influencia a diversidade e distribuição da fauna; (2) a zonação das cavernas influencia a
12 diversidade e distribuição da fauna; e (3) a complexidade de substratos influencia a diversidade e
13 distribuição da fauna.

14

15 MÉTODOS

16

17 **ÁREA DE ESTUDO.**— A área cárstica de Presidente Olegário (18°25'4" S, 46°25'4" W), noroeste
18 do estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil (Fig. 1A-B) pertence à unidade geomorfológica do
19 Grupo Bambuí e mais de 200 cavernas foram registradas até o momento (Auler *et al.* 2001,
20 GPME, com. pes. 2013). A fitofisionomia consiste em cerrado (*sensu* Ab' Saber 1977),
21 intercalada por floresta estacional semi-decídua nos afloramentos calcários. O clima é
22 classificado como tropical sub-quente e semi-úmido, com períodos secos de quatro a cinco meses
23 por ano (Nimer 1989).

1 Selecionamos seis cavernas calcárias para realizar os estudos: Lapa Vereda da Palha (VP)
2 (18°15'18.77" S, 46°07'33.63" W), Lapa da Fazenda São Bernardo (SB) (18°16'36.83" S,
3 46°06'45.52" W), Lapa Zé de Sidinei (ZS) (18°18'05.62" S, 46°05'40.636" W), Lapa Arco da
4 Lapa (AL) (18°12'31.3" S, 46°08'53.3" W), Lapa do Moacir (LM) (18°11'09.67" S, 46°09'34.49"
5 W) e Toca do Charco (TC) (18°11'05.63" S, 46°09'39.31" W) (Fig. 1C).

6
7 AMOSTRAGENS. —Realizamos as amostragens em cinco ocasiões de coleta (Setembro/2013,
8 Janeiro, Abril, Junho e Setembro/2014), assim, contemplamos períodos secos e chuvosos.
9 Estabelecemos bases de amostragens nas diferentes zonas disponíveis ao longo de seis cavernas,
10 considerando a formação singular de cada caverna. (Tabela 1).

11 Realizamos as coletas por meio de busca ativa e método dos *Quadrats* (Krebs 1989). Os
12 animais foram coletados em diferentes substratos, como bancos de sedimento, paredes, blocos de
13 rocha abatidos, manchas de guano, acúmulos de matéria orgânica (detritos, raízes penetrantes,
14 folhiço e galhos). Em algumas localidades, utilizamos extratores *Winkler* para a coleta da fauna
15 associada à serapilheira. De acordo com seus principais componentes, os substratos foram
16 agrupados em 11 categorias: rocha (RO); concreção (CON); solo (SO); solo e rocha (SRO); solo
17 e cascalho (SCA); solo, rocha e matéria orgânica vegetal (SRM); solo, cascalho e matéria
18 orgânica vegetal (SCM); solo e matéria orgânica vegetal (SMO); matéria orgânica vegetal (MO);
19 solo, rocha e guano (SRG); e guano (GUA).

20 Os invertebrados terrestres foram fixados *in loco* em formalina 4% (Turbellaria e
21 Clitellata), em álcool 50% (Diplopoda) e em álcool 70% (demais invertebrados). Identificamos o
22 material até o nível taxonômico menos inclusivo possível e estabelecemos morfotipos. Parte do
23 material foi enviado para especialistas de diferentes instituições para identificações precisas. Para

1 evitar vieses nas análises de dados, excluimos os indivíduos imaturos que não puderam ser
2 identificados. O material testemunho encontra-se depositado em coleções de referência
3 brasileiras.

4
5 ANÁLISES DOS DADOS.— Construimos uma curva de acumulação de espécies pelo método
6 *Mao's tau* (Colwell *et al.* 2004) para cada caverna e para a área cárstica para analisar o esforço
7 amostral das coletas. Contabilizamos o número de morfotipos (riqueza) e suas respectivas
8 abundâncias para cada caverna amostrada e para a área cárstica como um todo.

9 Construimos diagramas *Box-Plots* com dados de riqueza e abundância para verificar como
10 a fauna está distribuída em relação às diferentes zonas (entrada, penumbra e afótica). Testamos a
11 normalidade dos dados (Shapiro & Wilk 1965) e realizamos a análise de variância (ANOVA)
12 (Zar 2010) para verificar se a riqueza de espécies é significativamente distinta nas diferentes
13 zonas. Então, aplicamos a análise de variância multivariada não paramétrica (NPMANOVA)
14 (Anderson 2001) utilizando a distância de Bray-Curtis e 9999 permutações para verificar se a
15 composição faunística é diferente entre as zonas das cavernas, ou seja, se as zonas são singulares
16 considerando esta variável.

17 Construimos diagramas *Box-Plots* com dados de riqueza e abundância para verificar como
18 a fauna está distribuída. Testamos a normalidade dos dados (Shapiro & Wilk 1965) e realizamos
19 uma ANOVA não paramétrica (teste de Kruskal-Wallis) (Kruskal & Wallis 1952) para verificar
20 se a riqueza é significativamente distinta nos diferentes substratos. Então, realizamos a análise de
21 variância multivariada não paramétrica (NPMANOVA) (Anderson 2001), utilizando a distância
22 de Bray-Curtis e 9999 permutações, para verificar se a composição faunística entre substratos é
23 diferente, ou seja, se os substratos são singulares considerando esta variável.

1 Uma análise de regressão linear múltipla (Jongman *et al.* 1995) foi aplicada para testar
2 como a complexidade de habitats como um todo (presença de drenagens hipógeas, manchas de
3 guano, raízes penetrantes, estado de degradação do entorno) influenciam a riqueza e distribuição
4 da fauna em cavernas de Presidente Olegário.

5 Utilizamos os seguintes programas para as análises: para as curvas de acumulação de
6 espécies, *Box-Plots*, ANOVA, ANOVA não paramétrica e NPMANOVA - PAST versão 2.17
7 (Hammer *et al.* 2001); para a regressão linear múltipla - Programa R versão R 3.1.2. (R Core
8 Team 2014).

9

10 **RESULTADOS**

11

12 As principais características físicas e bióticas presentes nas cavernas estudadas são mostradas na
13 Tabela 2. Classificamos o estado de degradação dos entornos das cavernas em: pouco degradado
14 (fragmento de vegetação nativa de ao menos 100 metros de raio a partir do afloramento calcário
15 onde a caverna está inserida) (Fig. S1A); relativamente degradado (aproximadamente 20 metros
16 de vegetação nativa margeando o calcário onde a caverna está inserida, e com o restante do
17 entorno formado por pastagem) (Fig. S1B); muito degradado (pastagens próximas às entradas da
18 caverna) (Fig. S1C); e extremamente degradados (resquícios de vegetação nativa próximos à
19 rocha, e o restante desmatado para plantação com o uso de agrotóxicos) (Fig. S1D). Ainda, as
20 categorias de substratos que foram encontradas nas bases de amostragens das cavernas estudadas
21 são mostradas na Tabela 3.

22 Registramos o total de 381 morfotipos de invertebrados terrestres e 3153 indivíduos nas
23 seis cavernas. A caverna que apresentou maior riqueza e abundância foi a Lapa da Fazenda São

1 Bernardo (SB, 173 e 956 indivíduos), seguida pela Lapa Arco da Lapa (AL 155 e 649), Lapa
2 Vereda da Palha (VP 141 e 716), Lapa Zé de Sidinei (ZS 94 e 370), Lapa do Moacir (LM 80 e
3 298) e Toca do Charco (TC 62 e 164). De acordo com as curvas de acumulação de espécies, o
4 esforço amostral não foi suficiente para acessar o total de espécies presentes em nenhuma das
5 cavernas amostradas, bem como na área cárstica como um todo (Fig. 2).

6 Verificamos uma tendência de valores maiores de riqueza na zona de entrada, seguida pela
7 zona de penumbra e pela afótica (Fig. 3A). Interessantemente, observamos que zonas de
8 penumbra de algumas cavernas (AL, TC e SB) apresentaram número elevado de morfotipos
9 como nas zonas de entrada. Os valores de abundância também foram maiores nas zonas de
10 entrada e, como observado para a riqueza, as zonas de penumbra também apresentaram valores
11 elevados; e as zonas afóticas foram sempre menos ricas e abundantes (Fig. 3B). A análise
12 ANOVA mostrou diferença significativa nos valores de riqueza para as três zonas das cavernas
13 ($p=0,04029$) e o teste de comparação par a par de *Tukey* indicou que há diferença significativa
14 entre as zonas de entrada e afótica ($p=0,01554$). A NPMANOVA mostrou uma diferença
15 significativa na composição faunística entre as três zonas das cavernas ($p=0,00359$), e os testes *a*
16 *posteriori* indicaram que as zonas de entrada são significativamente diferentes das zonas de
17 penumbra ($p=0,0319$) e afótica ($p=0,0161$), mas que a diferença entre as zonas de penumbra e
18 afótica não são significativas ($p=0,4469$), ou seja, estas últimas zonas têm fauna similar.

19 Observamos uma preferência de ocorrência na zona de entrada para alguns morfotipos,
20 como ortópteros do gênero *Eidmanacris* (Phalangopsidae) e aranhas Salticidae, enquanto que
21 outros mostraram preferência por zonas de penumbra, *e.g.*, formigas dos gêneros *Brachymyrmex*
22 e *Nylanderia*, ortópteros *Endecous aguassay* (Phalangopsidae), aranhas dos gêneros *Isoctenus*
23 (Ctenidae), *Loxosceles* (Sicariidae), *Plato* e *Theridiosoma* (Theridiosomatidae), e morfotipos de

1 aranhas Linyphiidae e Pholcidae, coleópteros Pselaphinae (Staphylinidae) e lepidópteros
2 Heterocera. Alguns grupos apresentaram ampla distribuição nas zonas de penumbra e afótica,
3 como aranhas Theridiidae, pseudoescorpiões do gênero *Spelaeochernes* (Chernetidae),
4 diplópodes Pseudonannolenidae e ortópteros do gênero *Endecous* (Phalangopsidae).

5 Nós observamos maiores valores de riqueza e abundância em substratos rochosos e em
6 substratos com matéria orgânica vegetal em sua composição, e menores valores em concreções e
7 solos (Fig. 4A-B). Porém, observamos um mosaico de distribuição dos táxons em relação aos
8 substratos, visto que a riqueza diferiu significativamente entre eles (teste Kruskal-Wallis,
9 $p=0,01718$), e o teste de comparação par a par Mann-Whitney indicou que substratos rochosos
10 diferiram significativamente de concreções, solo, solo e rocha, matéria orgânica vegetal, e guano.
11 As concreções apresentaram baixa riqueza e diferenciaram significativamente de solo e rocha,
12 solo, rocha e matéria orgânica, e solo e matéria orgânica (Tabela 4).

13 A composição faunística também foi distinta entre os substratos, o que foi evidenciado
14 pelos resultados da NPMANOVA ($p=0,0001$) e com os testes *a posteriori* (Tabela 5). Os
15 substratos rochosos mostraram a fauna mais distinta, com valores significativos em relação às
16 outras dez categorias de substratos (Tabela 5). Observamos em tetos e paredes (parte do
17 substrato rochoso) grandes predadores da Classe Arachnida (*e.g.*, aranhas Ctenidae do gênero
18 *Isoctenus* e a espécie *Enoploctenus cyclothorax*; aranhas Pholcidae do gênero *Mesabolivar* – três
19 morfotipos); onívoros generalistas (*e.g.*, opiliões Goniosomatinae – *Mitogoniella taquara*);
20 predadores da Classe Insecta (*e.g.*, hemípteros Reduviidae dos gêneros *Ploiaria* e *Zelurus* – dois
21 morfotipos) e detritívoros (*e.g.*, grilos Phalangopsidae do gênero *Endecous* – três morfotipos,
22 dípteros Drosophilidae, lepidópteros Heterocera, diplópodes Pseudonannolenidae), enquanto que
23 nos blocos de rocha nós observamos principalmente detritívoros e predadores menores (*e.g.*,

1 insetos psocópteros e pseudoescorpiões da família Cheiridiidae).

2 Apesar das concreções apresentaram baixa riqueza, a composição faunística
3 (principalmente lepidópteros Heterocera, coleópteros Silphidae e diplópodes
4 Pseudonannolenidae) distinguiu significativamente de substratos compostos por matéria orgânica
5 vegetal, por solo e matéria orgânica vegetal, e por solo, rocha e matéria orgânica vegetal (Tabela
6 5). Nestes últimos registramos principalmente diversos detritívoros (*e.g.*, gastrópodes, isópodes
7 da família Dubioniscidae, colêmbolos Entomobryomorpha, opiliões do gênero *Eusarcus*,
8 psocópteros, formigas e coleópteros Staphylinidae) e predadores (*e.g.*, coleópteros Carabidae).
9 Solo e matéria orgânica também diferiu significativamente de guano (Tabela 5), o qual
10 apresentou morfotipos de Acari, dípteros Drosophilidae e Phoridae, e predadores como
11 pseudoescorpiões (gênero *Spelaeochnes* – Chernetidae) e quilópodes (gênero *Lamyctes* –
12 Lithobiomorpha, Henicopidae).

13 Não observamos diferenças na composição faunística quando comparamos substratos
14 compostos por solo e cascalho, e solo, rocha e guano (Tabela 5). Ainda, baseando-se nessas
15 informações, propusemos uma teia alimentar simplificada e hipotética de acordo com os
16 principais grupos registrados nas cavernas de Presidente Olegário (Fig. 5).

17 O resultado da regressão linear múltipla ($R^2=0,9858$; $p=0,07995$) indicou que a maior
18 riqueza está fortemente relacionada à maior quantidade de guano ($p=0.0444$) e de raízes
19 penetrantes ($p=0.0374$) (Fig. 6A-B). A presença de drenagem hipógea não influenciou a riqueza
20 ($p=0.1035$) e o mesmo foi observado para o estado de degradação do entorno ($p=0.0734$), mas a
21 análise indicou que há uma relação negativa entre a riqueza de espécies e o grau de degradação do
22 entorno, devido ao valor negativo do coeficiente de inclinação da reta.

23

1 **DISCUSSÃO**

2
3 A diversidade nas cavernas é controlada por fatores primários - o tempo de dispersão e adaptação
4 ao habitat e a estabilidade ambiental; fatores secundários - a heterogeneidade espacial e
5 disponibilidade de alimento; e fatores terciários - a competição, a sobreposição de nichos e a
6 predação (Poulson & Culver 1969). Testamos aqui os fatores secundários, uma vez que se torna
7 extremamente complexo explorar todos os fatores em conjunto.

8 Nossos dados indicam que a área cárstica de Presidente Olegário possui um grande
9 potencial para a biodiversidade subterrânea, uma vez que as cinco réplicas não foram suficientes
10 para atingir a assíntota das curvas de acumulação de espécies. O mesmo padrão foi observado
11 por Gallão e Bichuette (2015) em seis réplicas para cavernas da Chapada Diamantina, nordeste
12 do Brasil.

13 A elevada riqueza da Lapa da Fazenda São Bernardo (SB, 173) está relacionada à sua
14 grande complexidade física e ambiental, como a presença de claraboias em três das cinco bases
15 de amostragem, permitindo a entrada de inúmeras raízes penetrantes, as quais são fontes de
16 alimento para a fauna. Além disso, essas claraboias também permitem a entrada de espécies
17 epígeas, as quais contribuem para a elevada riqueza. O mesmo foi observado por outros autores
18 (Peck 1976, Poulson & Lavoie 2000, Culver & Pipan 2009). A caverna Lapa Arco da Lapa (AL)
19 também apresentou elevada riqueza (155) e, neste caso, está relacionado à presença de manchas
20 de guano observadas em uma base de amostragem. O guano consiste em um importante recurso
21 energético para a fauna e influencia padrões de diversidade (Gnaspini 1992). Outro fator que
22 contribuiu para a elevada riqueza na AL é a entrada em declive. De acordo com Poulson e
23 Lavoie (2000), entradas em declive otimizam a entrada de recursos da superfície.

1 Assim como verificado para a caverna AL, nós observamos elevada riqueza (141) para a
2 Lapa Vereda da Palha (VP), a qual está associada à presença de grandes quantidades de guano
3 em uma das bases de amostragem. Entretanto, ao contrário da caverna SB, a caverna VP possui
4 pouco contato com a superfície e uma tendência à escassez de alimento comparado a outras
5 cavernas de Presidente Olegário, o que provavelmente influenciou o valor da riqueza um pouco
6 menor que as cavernas SB e AL. Poulson e Lavoie (2000) discutem essa questão, contatos com a
7 superfície *versus* diversidade de táxons para cavernas nos Estados Unidos e registraram a mesma
8 tendência observada aqui.

9 A riqueza menos elevada registrada para a Lapa Zé de Sidinei (ZS, 94) provavelmente está
10 relacionada aos poucos recursos energéticos e aos poucos contatos com a superfície, como
11 observado em outros estudos (Poulson & Lavoie 2000). A Lapa do Moacir (LM) e a Toca do
12 Charco (TC) mostraram valores de riqueza menores (80 e 62, respectivamente), provavelmente
13 relacionado ao seu tamanho reduzido.

14 Os maiores valores de riqueza e abundância registrados para as zonas de entrada
15 corroboram aqueles observados por outros autores (*e.g.*, Peck 1976, Prous *et al.* 2004, Novak *et*
16 *al.* 2012, Simões 2013). O contato direto com a superfície otimiza a entrada de recursos
17 alimentares, os quais podem favorecer a ocorrência de espécies (Peck 1976). Alguns autores
18 consideram as zonas de entrada como um ecótono, com uma alta sobreposição entre
19 comunidades epígeas e hipógeas (*e.g.*, Poulson & White 1969, Peck 1976, Prous *et al.* 2004,
20 White 2012). A área cárstica de Presidente Olegário também apresentou este padrão, com
21 maiores riquezas nas zonas de entrada.

22 Um fato surpreendente foi que as zonas de penumbra de Presidente Olegário também
23 apresentaram elevada riqueza e abundância e não diferiram significativamente em termos de

1 riqueza quando comparadas com as zonas de entrada. Corroborando Peck (1976) esta elevada
2 riqueza provavelmente está relacionada à disponibilidade de recursos alimentares compostos por
3 raízes penetrantes e acúmulos de matéria orgânica vegetal. O oposto pode ser considerado para
4 as zonas afóticas de Presidente Olegário, onde registramos menores valores de riqueza e
5 abundância e escassez de alimento, como observada para outras cavernas brasileiras (Trajano &
6 Gnaspini 1991).

7 Assim como afirmado por outros autores (Gibert & Deharveng 2002, Culver & Pipan
8 2009), observamos que as populações e os recursos estão distribuídos de maneira dispersa nas
9 cavernas de PO, o que permite a existência de diferentes nichos na mesma zona da caverna e,
10 portanto, a coexistência de diversos táxons. Culver (1970) também observou a coexistência de
11 organismos subterrâneos devido à diferenciação de nichos.

12 A distribuição da fauna subterrânea terrestre também é influenciada pelos diferentes
13 substratos, ou seja, pela complexidade física de microhabitats. Registramos uma relação positiva
14 entre a diversidade de substratos e a riqueza. A heterogeneidade ambiental aumenta a quantidade
15 de nichos disponíveis e, portanto, a riqueza (MacArthur & MacArthur 1961, Poulson & Culver
16 1969, Poulson & White 1969), como observado nas cavernas de Presidente Olegário.

17 A diferenciação de nichos observada para as cavernas de PO é similar ao observado em
18 outras cavernas tropicais brasileiras (Simões 2013) e em cavernas sob outras condições
19 climáticas (clima subtropical), como aquelas da área cárstica do Alto do Ribeira, sudeste do
20 Brasil (Trajano & Gnaspini 1991)

21 A ocorrência de fauna nas concreções é relatada na literatura com pouca frequência, talvez
22 devido à ausência de esforço amostral nesse tipo de substrato, o qual possui condições climáticas
23 únicas, tais como elevada umidade, importante contra a dessecação dos artrópodes higrófilos

1 (Cullingford 1962). Além disso, as concreções representam abrigos eficientes contra predadores.
2 Algumas espécies apresentaram preferência por guano de hematófagos (*e.g.*, ácaros, drosófilas e
3 pseudoescorpiões) e de frugívoros (*e.g.*, quilópodes Lithobiomorpha). O mesmo padrão foi
4 registrado para outras cavernas brasileiras independente das condições climáticas (Gnaspini
5 1989, Trajano & Gnaspini 1991, Ferreira *et al.* 2000, Simões 2013), enfatizando que o guano é
6 um importante recurso energético para as comunidades subterrâneas (Gnaspini 1992).

7 A elevada riqueza registrada para depósitos de matéria orgânica (como detritos vegetais e
8 guano) nas cavernas de PO também foi relatado por outros autores (*e.g.*, Poulson & Culver
9 1969, Peck 1976, Culver & Pipan 2009, Ferreira & Martins 2009, Simões 2013). Contudo, esses
10 acúmulos de matéria orgânica se modificam gradativamente por processos físicos e químicos e
11 perdem qualidade (Gnaspini & Trajano 2000, Simon *et al.* 2007, Bahia & Ferreira 2005), fato
12 observado em algumas cavernas de Presidente Olegário, onde por vezes o guano associado ao
13 solo e à rocha encontrava-se seco e com riqueza reduzida.

14 Substratos estruturalmente complexos, como solo, rocha e matéria orgânica, solo, cascalho
15 e matéria orgânica e solo e matéria orgânica, também apresentaram elevada riqueza, pois
16 complexidade de substratos ajuda na retenção de umidade e promove proteção contra a
17 dessecação e exposição a predadores potenciais (*e.g.*, Poulson & Culver 1969, Ferreira & Souza-
18 Silva 2001). Já os substratos estruturalmente homogêneos, como os compostos por solo,
19 apresentaram riqueza e abundância reduzidas. Segundo Poulson e Culver (1969) e Humphreys
20 (1991), a homogeneidade torna esses habitats pobres em recursos alimentares, restringindo as
21 possibilidades de sobrevivência à maioria dos organismos da comunidade. Assim, a presença de
22 poucos animais nesses substratos pode indicar o deslocamento deles em busca de recursos (*e.g.*,
23 alimento) ou de condições mais adequadas à sobrevivência (*e.g.*, locais úmidos).

1 As comunidades terrestres das cavernas estudadas parecem ser estruturadas com base em
2 recursos energéticos, como registrado em outros trabalhos (Ferreira & Martins 1998, Ferreira &
3 Martins 2009). Observando a teia alimentar proposta para as cavernas de Presidente Olegário
4 (Fig. 5) é possível notar que, de maneira geral, a ocorrência de animais em determinados tipos de
5 substratos está diretamente associada à presença de seus recursos alimentares. Predadores
6 maiores se estabelecem em substratos rochosos, principalmente paredes e tetos, onde parte de
7 suas presas também estão presentes. Também registramos que predadores menores se
8 estabelecem principalmente em substratos onde há disponibilidade de recursos alimentares para
9 suas presas (animais detritívoros), como matéria orgânica vegetal (detritos, folhiços e raízes) ou
10 animal (guano), corroborando os dados encontrados para a fauna subterrânea do Vale do Ribeira
11 (Trajano & Gnaspini 1991, Trajano 2000).

12 O predomínio de organismos generalistas causa uma sobreposição entre os níveis
13 predadores e decompositores, aumentando da redundância funcional no ecossistema subterrâneo,
14 onde a decomposição e a ciclagem de nutrientes consistem nos processos mais importantes
15 (Gibert & Deharveng 2002).

16 A fauna de PO é amplamente dependente de recursos provenientes da superfície, como
17 observado em outras regiões (Trajano & Gnaspini 1991). Essa dependência aliada à zonação e à
18 estratificação da fauna torna as cavernas de PO frágeis. Essas características são consideradas
19 por outros autores como singulares e devem ser consideradas em estratégias de conservação para
20 o meio subterrâneo (Sket 1999, Trajano 2000, Culver & Pipan 2009).

21 O ambiente subterrâneo e sua fauna associada também são influenciados por mudanças no
22 ambiente epígeo do entorno, como o desmatamento de áreas para práticas agrícolas que pode
23 causar o assoreamento e poluição de rios por agrotóxicos, prejudicando o aporte de recursos para

1 as cavernas, e pode resultar na rápida extinção de espécies endêmicas (Trajano 2000, Culver &
2 Pipan 2009, Simon 2012). Segundo a análise de regressão múltipla, entornos degradados
3 influenciam de forma negativa na riqueza de cavernas de PO. Entretanto, o valor dessa relação
4 não foi significativo possivelmente porque a caverna com entorno em pior estado de degradação
5 (SB) também é aquela com maior quantidade de recursos (alimento e/ou substratos) disponíveis
6 para o estabelecimento da fauna. Este tipo de resultado é um alerta para a interpretação de dados
7 de riqueza e diversidade, já que cavernas com maiores riquezas não necessariamente são aquelas
8 que apresentam melhor qualidade. Nossa interpretação é que os entornos degradados observados
9 em cavernas de PO devem causar impactos negativos; entretanto, talvez eles não foram
10 detectados em nossa mensuração, uma vez que nós não verificamos espécies endêmicas e
11 relictas.

12 Finalmente, a elevada riqueza (381) da área cárstica de Presidente Olegário aliada à
13 complexidade de microhabitats e a consequente estratificação e zonação da fauna categorizam
14 essa região como valiosa para conservação e deve ser incluída nos projetos governamentais
15 como área prioritária para conservação.

16

17 **AGRADECIMENTOS**

18

19 Somos gratas ao Grupo Pierre Martin de Espeleologia (GPME) pelas informações sobre as
20 cavernas e mapas; a Igual, E.C. pelas informações e ajuda em campo; aos ajudantes nas coletas
21 (Damasceno, G.F., Gallo, J.S.; Joaquim, L.A., Resende, L.P.A., Ribeiro, I.A); aos que
22 contribuíram na identificação do material zoológico (Bolfarini, M.P. - Orthoptera - LES/UFSCar;
23 Brescovit, A. - Ctenidae - Instituto Butantã; Carvalho, L.S. - Pholcidae – UFG; Chagas-Jr, A. -

1 Chilopoda – UFMT; Fernandes, C.S. - Isopoda – LES/UFSCar; Gallão, J.E. - Scorpiones -
2 LES/UFSCar; Gallo, J.S. - Diplopoda - LES/UFSCar; Hara, M.R. - Opiliones – USP; Pinto-da-
3 Rocha, R. - Opiliones – USP; Prado, L.P. - Formicidae – Museu de Zoologia/USP; Resende,
4 L.P.A. - Opiliones e Araneae - LES/UFSCar; Rodrigues, E.N.L. - Lyniphidae, Theriidae,
5 Theridiosomatidae e outras Araneomorphae – Unisinos; Santana, H.G. - Reduviidae – Instituto
6 Fiocruz; von Shimonsky, D.M. - Pseudoscorpiones - LES/UFSCar; a Celma M.P. Camargos,
7 Jair F. Sales, José F. de Carvalho, Adão A. Duarte, Roldão P. Pereira, Sra. Mariluci, Sr. Geraldo,
8 Antonio C. de Oliveira, Efigênia C. Ribeiro, José S. Silva, pela estrutura e auxílio em campo; a
9 Batalha, M.A, Silva, D.M. e Fernandes, C.S. pelo auxílio nas análises estatísticas; a Bolfarini,
10 M.P. e Resende, L.P.A. pela confecção do mapa; ao Instituto Chico Mendes de Conservação da
11 Biodiversidade (ICMBio) pela licença de coleta (nº 28992-7); ao Programa de Pós-Graduação
12 em Ecologia e Recursos Naturais (PPG-ERN) pela infraestrutura para o desenvolvimento do
13 trabalho; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo
14 financiamento parcial. M.E.B. agradece ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento
15 Científico (CNPq) pelo financiamento parcial (Processo nº 303715/2011-1). T.Z. agradece ao
16 CNPq pela concessão da bolsa de estudos (Processo nº 132065/2013-4). Agradecemos a
17 Angélica M. Penteado-Dias, Danilo M. Silva, Marcelo A. Fernandes e Jonas E. Gallão pela
18 análise crítica do trabalho.

19

20 **LITERATURA CITADA**

21

22 AB'SABER, A. N. 1977. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul. Primeira aproximação.

23 Geomorfologia 52: 1–22.

- 1 ANDERSON, M. J. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance.
2 Austral Ecol. 26: 32–46.
- 3 AULER, A., E E. RUBBIOLI, AND R. BRANDI. 2001. As grandes cavernas do Brasil. Grupo Bambuí
4 de Pesquisas Espeleológicas. pp. 228. Belo Horizonte, Brasil.
- 5 BAHIA, G. R., E R. L. FERREIRA. 2005. Influência das características físico-químicas e da matéria
6 orgânica de depósitos recentes de guano de morcego na riqueza e diversidade de
7 invertebrados de uma caverna calcária. Rev. Bras. Zoociências 7: 165–180.
- 8 CARDOSO, G. M., P. B. ARAUJO, A. A. P. BUENO, E R. L. FERREIRA. 2014. Two new subterranean
9 species of *Hyalella* Smith, 1874 (Crustacea: Amphipoda: Hyalellidae) from Brazil.
10 Zootaxa 3: 353–368.
- 11 CHRISTMAN, M. C., E D.C. CULVER. 2001. The relationship between cave biodiversity and
12 available habitat. J. Biogeogr. 28: 367–380.
- 13 COLWELL, R.K., C.X. MAO E J. CHANG. 2004. Interpolating, extrapolating, and comparing
14 incidence-based species accumulation curves. *Ecology* 85:2717-2727.
- 15 CULLINGFORD, C. H. D. 1962. Cave fauna and flora. In C.H.D. Cullingford (Ed.). British Caving,
16 an introduction to speleology. pp. 347–389. Routledge and Kegan Paul, London.
- 17 CULVER, D.C. 1970. Analysis of simple cave communities: niche separation and species packing.
18 Ecology 51: 949–958.
- 19 CULVER, D. C., E T. PIPAN. 2009. The biology of caves and other subterranean habitats. pp. 256.
20 Oxford University Press, Oxford, UK.
- 21 CULVER, D.C., L. DEHARVENG, E J. GIBERT. 2001. Introduction. In D. C. Culver, L. Deharveng, J.
22 Gibert, and I. D. Sasowsky (Eds.). Mapping Subterranean Biodiversity. Karst Waters
23 Institute, Special Publication 6. pp. 1–2. Proceedings of the Workshop “Mapping

- 1 Subterranean Biodiversity”, Moulis.
- 2 CURL, R.L. 1966. Caves as a measure of karst. *J. Geol.* 74: 798–830.
- 3 FERREIRA, R. L., E R.P. MARTINS. 1998. Diversity and distribution of spiders associated with bat
4 guano piles in Morrinho Cave (Bahia State, Brazil). *Divers. Distrib.* 4: 235–241.
- 5 FERREIRA, R. L., E R.P. MARTINS. 2009. Mapping subterranean resources: The cave invertebrates
6 distribution as indicator of food availability. *Rev. Bras. Zoociências.* 11: 119–127.
- 7 FERREIRA R. L., E M. SOUZA-SILVA. 2001. Biodiversity under rocks: the role of microhabitats in
8 structuring invertebrate communities in Brazilian outcrops. *Biodivers. Conserv.* 10:
9 1171–1183.
- 10 FERREIRA, R.L., R.P. MARTINS, E D. YANEGA. 2000. Ecology of bat guano arthropod
11 communities in a Brazilian dry cave. *Ecotropica.* 6: 105–116.
- 12 GALLÃO, J. E., E M. E. BICHUETTE. 2015. Taxonomic distinctness and conservation of a new high
13 biodiversity subterranean area in Brazil. *An. Acad. Bras. Cienc.* 87: 209–217.
- 14 GIBERT, J., E L. DEHARVENG. 2002. Subterranean Ecosystems: A Truncated Functional
15 Biodiversity. *Bioscience.* 52: 473–481.
- 16 GNASPINI, P. 1989. Análise comparativa da fauna associada a depósitos de guano de morcegos
17 cavernícolas no Brasil. Primeira aproximação. *Rev. Bras. Entomol.* 33: 183–192.
- 18 GNASPINI, P. 1992. Bat guano ecosystems a new classification and some considerations with
19 special references to Neotropical data. *Mémoires de Biospéologie*, Tome XIX, 13–138.
- 20 GNASPINI, P., E E. TRAJANO. 2000. Guano communities in tropical caves. *In* H. Wilkens, D. C.
21 Culver, W. F. Humphreys (Eds.). *Ecosystems of the World. Subterranean Ecosystems.*
22 pp. 251–269. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.
- 23 HAMMER, Ø., D.A.T. HARPER, E P. D. RYAN. 2001. PAST: Paleontological statistics software

- 1 package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron.* 4: 1–9.
- 2 HOWARTH, F.G. 1983. Ecology of cave arthropods. *Ann. Rev. Entomol.* 28: 365–389.
- 3 HUMPHREYS W. F. 1991. Experimental re-establishment of pulse-driven populations in a
4 terrestrial troglobite community. *J. Anim. Ecol.* 60: 609–623.
- 5 HUSTON, M. A. 1994. *Biological Diversity: The coexistence of species on changing landscapes.*
6 pp. 701. Cambridge University Press, Cambridge.
- 7 JONGMAN, R.H.G., C.J.F. BROOK, E O.F.R. TONGEREN. 1995. *Data analysis in community and*
8 *landscape ecology.* pp. 324. Cambridge: Cambridge University.
- 9 JUBERTHIE, C. 2000. The diversity of the karstic and pseudokarstic hypogean habitats in the
10 world. *In* H. Wilkens, D. C. Culver, and W. F. Humphreys (Eds.). *Ecosystems of the*
11 *World: Subterranean Ecosystems.* pp. 17–39. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- 12 KREBS, C. J. 1989. *Ecological methodology.* pp. 654. University of British Columbia, Harper
13 Collins Publishers, New York, U.S.A.
- 14 KRUSKAL, W.H. E W.A. WALLIS. 1952. Use of ranks in one-criterion analysis of variance. *J.*
15 *Amer. Statist. Assoc.* 47: 583-621.
- 16 MACARTHUR, R. H., E J. W. MACARTHUR. 1961. On bird species diversity. *Ecology* 42: 594–
17 598.
- 18 NIMER E. 1989. *Climatologia do Brasil.* Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de
19 Janeiro-RJ.
- 20 NOVAK T., M. PERC, S. LIPOVŠEK, E F. JANŽEKOVIČ. 2012. Duality of terrestrial subterranean
21 fauna. *Int. J. Speleol.* 41: 57–64.
- 22 PECK, S. B. 1976. The effect of cave entrances on the distribution of cave-inhabiting terrestrial
23 arthropods. *Int. J. Speleol.* 8: 309–321.

- 1 POULSON, T. L., E D. C. CULVER. 1969. Diversity in terrestrial cave communities. *Ecology* 50:
2 153–158.
- 3 POULSON, T. L., E K. H. LAVOIE. 2000. The trophic basis of subsurface ecosystems. *In* H.
4 Wilkens, D. C. Culver, and W.F. Humphreys (Eds.). *Ecosystems of the World:*
5 *Subterranean Ecosystems*. pp. 231–249. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- 6 POULSON, T. L., E W. B. WHITE. 1969. The cave environment. *Science* 165: 971–980.
- 7 PROUS, X., R. L. FERREIRA E R. P. MARTINS. 2004. Ecotone delimitation: Epigeal-hypogean
8 transition in cave ecosystems. *Austral Ecol.* 29: 374–382.
- 9 R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for
10 Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>. R software
- 11 SCHNEIDER, K, E D. C. CULVER. 2004. Estimating subterranean species richness using intensive
12 sampling and rarefaction curves in a high density cave region in West Virginia. *J. Cave*
13 *Karst Stud.* 66: 39–45.
- 14 SECUTTI, S., E M. E. BICHUETTE. 2013. Ictiofauna da Área Cárstica de Presidente Olegário-MG,
15 com ênfase nas espécies subterrâneas. *Revista da Biologia.* 10: 13–20.
- 16 SHAPIRO, S. S. E M.B. WILK, 1965, An analysis of variance test for normality (complet samples).
17 *Biom.*, 52:591-611.
- 18 SIMÕES, M. H., M. SOUSA-SILVA, E R. L. FERREIRA. 2014. Cave invertebrates in northwestern
19 Minas Gerais State, Brazil: endemism, threats and conservation priorities. *Acta*
20 *Carsologica* 43: 159–174.
- 21 SIMÕES, L. B. 2013. Biodiversidade da fauna subterrânea na área cárstica de São Domingos,
22 nordeste de Goiás: relevância versus visibilidade de táxons. . *Dissertação Mestrado.*
23 *Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, Brasil.*

- 1 SIMON, K. S. 2012. Caves Ecosystems. *In* W. B. White, and D. C. Culver (Eds). Encyclopedia of
2 caves. pp. 99–102. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- 3 SIMON, K. S., T. PIPAN, E D. C. CULVER. 2007. A conceptual model of the flow and distribution
4 of organic carbon in caves. *J. Cave Karst Stud.* 69: 279–284.
- 5 SKET, B. 1999. The nature of biodiversity in hypogean waters and how it is endangered.
6 *Biodivers. Conserv.* 8: 1319–1338.
- 7 TRAJANO, E. 2000. Cave faunas in the Atlantic tropical rain forest: composition, ecology and
8 conservation. *Biotropica* 32: 882–893.
- 9 TRAJANO, E., E M. E. BICHUETTE. 2006. *Biologia subterrânea: Introdução.* pp. 92. Redespeleo,
10 São Paulo, Brasil.
- 11 TRAJANO, E., E M. E. BICHUETTE. 2010. Diversity of Brazilian subterranean invertebrates, with a
12 list of troglomorphic taxa. *Subterranean Biology* 7: 1–16.
- 13 TRAJANO, E., E P. GNASPINI. 1991. Notes on the food webs in caves of southeastern Brazil.
14 *Mémoires de Biospéologie, Moulis.* 8: 75–79.
- 15 WHITE, W. B. 2012 . Entrances. *In* W. B. White, and D. C. Culver (Eds). Encyclopedia of caves.
16 pp. 280–284. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- 17 ZAR, J.H. 2010. *Biostatistical analysis.* 5th Edition. Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River,
18 NJ. 944 pp.

19

20

21

22

23

1 TABELA 1: *Ocasões de coleta (réplicas) e número de bases nas diferentes zonas para cada*
 2 *caverna amostrada em Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil. Legenda: ZE: Zona de*
 3 *Entrada; ZP: Zona de Penumbra; ZA: Zona Afótica. ^aBase amostrada somente em três viagens*
 4 *devido a ocorrência de chuva forte em uma ocasião de coleta.*

Cavernas	Réplicas	ZE	ZP	ZA	Total de bases
Lapa Vereda da Palha	5	1	3	2	6
Lapa da Fazenda São Bernardo	5	1	3	1	5
Lapa Zé de Sidinei	5	1	1	1	3
Lapa Arco da Lapa	5	1	3	0	4
Lapa do Moacir	4	1	1 ^a	0	2
Toca do Charco	5	0	1	0	1

5

6

7

8

9

10

11

12

13

1 TABELA 2: *Caracterização das cavernas de Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil.*

2 *Legenda: para drenagem hipógea: 0 = ausência, 1 = presença; para guano: escala de 0 (menor*

3 *quantidade) a 5 (maior quantidade); para e raízes penetrantes: escala de 0 (menor quantidade)*

4 *a 6 (maior quantidade); estado de degradação do entorno: (+) pouco degradado; (++)*

5 *relativamente degradado; (+++) muito degradado; (++++) extremamente degradado.*

Cavernas	Drenagem Hipógea	Guano	Raízes Penetrantes	Degradação do Entorno
Lapa Vereda da Palha	1	5	0	+++
Lapa da Fazenda São Bernardo	1	0	6	++++
Lapa Zé de Sidinei	1	1	0	++
Lapa Arco da Lapa	0	3	1	+
Lapa do Moacir	0	1	2	+++
Toca do Charco	1	0	1	+++

6

7

8

9

10

11

12

13

14

- 1 TABELA 3: *Categorias de substratos presentes nas bases amostradas das cavernas de*
 2 *Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil. Legenda: 0 = ausência, 1 = presença. Cavernas: VP*
 3 *- Lapa Vereda da Palha, SB - Lapa da Fazenda São Bernardo, ZS - Lapa Zé de Sidinei, AL -*
 4 *Lapa Arco da Lapa, LM - Lapa do Moacir, TC - Toca do Charco. Substratos: RO - rocha; CON*
 5 *- concreção; SO - solo; SRO - solo e rocha; SCA - solo e cascalho; SRM - solo, rocha e matéria*
 6 *orgânica vegetal; SCM - solo, cascalho e matéria orgânica vegetal; SMO - solo e matéria*
 7 *orgânica vegetal; MO - matéria orgânica vegetal; SRG - solo e guano; GUA - guano.*

	VP	SB	AL	ZS	LM	TC
RO	1	1	1	1	1	1
CON	0	1	1	1	0	0
SO	1	1	0	1	0	0
SRO	1	1	1	1	0	0
SCA	1	0	1	1	0	0
SRM	1	1	0	1	1	1
SCM	1	0	1	0	0	0
SMO	1	1	1	1	1	1
MO	1	1	1	0	1	0
SRG	1	0	1	0	0	0
GUA	1	0	1	1	1	0

1 TABELA 5: Valores de *p* da análise NPMANOVA a posteriori (distância de Bray-Curtis; 9999 permutações) para a composição de
 2 invertebrados subterrâneos terrestres de Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil, em relação à composição do substrato. Em
 3 destaque, substratos nos quais valores de *p* foram significativos. Legenda: RO - rocha; CON - concreção; SO - solo; SRO - solo e
 4 rocha; SCA - solo e cascalho; SRM - solo, rocha e matéria orgânica vegetal; SCM - solo, cascalho e matéria orgânica vegetal; SMO
 5 - solo e matéria orgânica vegetal; MO - matéria orgânica vegetal; SRG - solo e guano; GUA - guano.

Substratos	RO	CON	SO	SRO	SCA	SRM	SCM	SMO	MO	SRG	GUA
RO	0	0,0104	0,0137	0,005	0,0105	0,0021	0,0357	0,0024	0,004	0,0375	0,0053
CON	0,0104	0	0,3027	0,1166	0,0993	0,0176	0,1972	0,0105	0,0254	0,5106	0,1339
SO	0,0137	0,3027	0	0,7988	0,5973	0,1765	0,9012	0,2269	0,5185	0,5023	0,1553
SRO	0,005	0,1166	0,7988	0	0,656	0,4722	0,5213	0,1319	0,1113	0,8618	0,1091
SCA	0,0105	0,0993	0,5973	0,656	0	0,246	0,5972	0,375	0,1977	1	0,6856
SRM	0,0021	0,0176	0,1765	0,4722	0,246	0	0,3807	0,5312	0,0812	0,1439	0,0569
SCM	0,0357	0,1972	0,9012	0,5213	0,5972	0,3807	0	0,5089	0,9371	0,6626	0,4699
SMO	0,0024	0,0105	0,2269	0,1319	0,375	0,5312	0,5089	0	0,135	0,2803	0,0175
MO	0,004	0,0254	0,5185	0,1113	0,1977	0,0812	0,9371	0,135	0	0,3987	0,1169
SRG	0,0375	0,5106	0,5023	0,8618	1	0,1439	0,6626	0,2803	0,3987	0	0,6669
GUA	0,0053	0,1339	0,1553	0,1091	0,6856	0,0569	0,4699	0,0175	0,1169	0,6669	0

LEGENDAS DAS FIGURAS

FIGURA 1: Mapa da região de estudo: área cárstica de Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil. (A) América do Sul; (B) estado de Minas Gerais e município de Presidente Olegário; (C) Cavernas amostradas. Legenda: VP = Lapa Vereda da Palha, SB = Lapa da Fazenda São Bernardo, ZS = Lapa Zé de Sidinei, AL = Lapa Arco da Lapa, LM = Lapa do Moacir, TC = Toca do Charco. Disponibilizado por Bolfarini, M.P. e Resende, L.P.A.

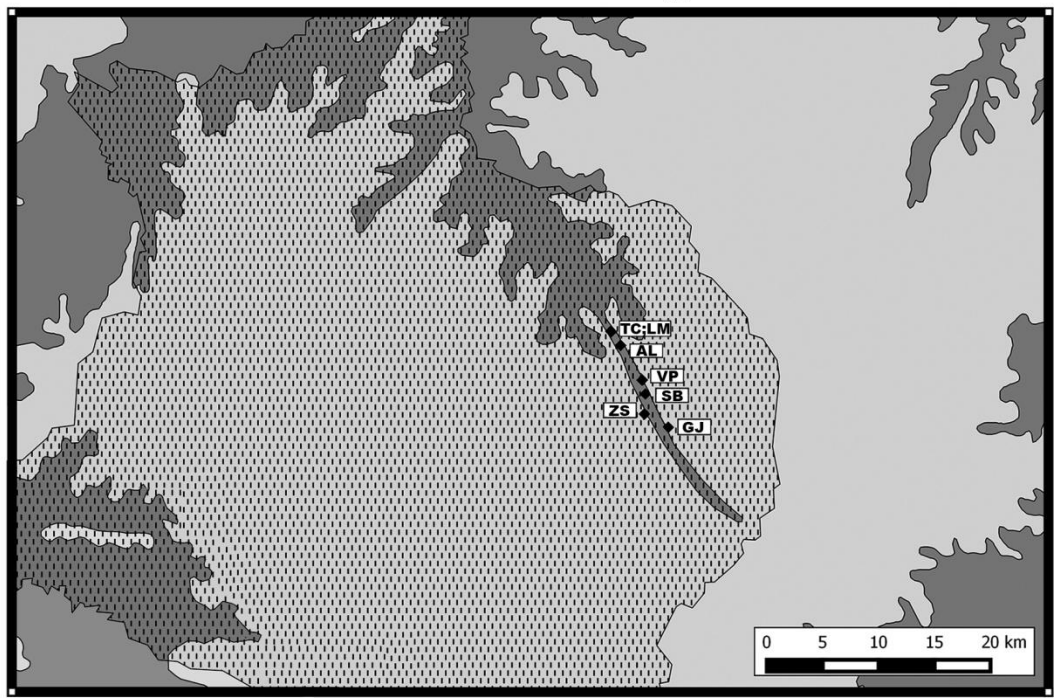
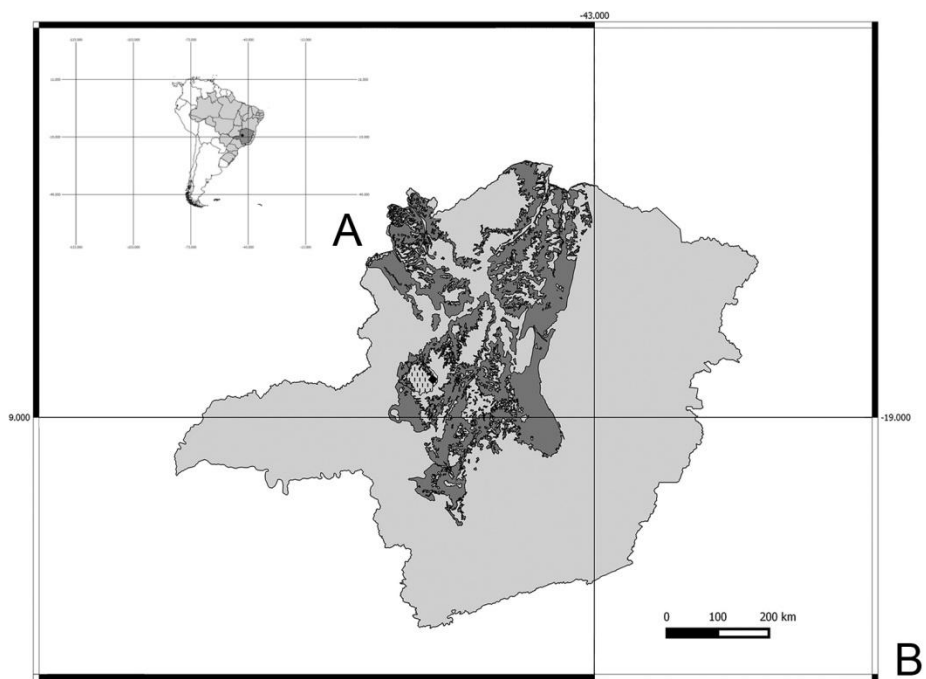
FIGURA 2: Curvas de acumulação de espécies e seus respectivos desvios-padrão (intervalos de 95% de confiança) para cavernas de Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil. (A) Lapa Vereda da Palha, (B) Lapa da Fazenda São Bernardo, (C) Lapa Zé de Sidinei, (D) Lapa Arco da Lapa, (E) Lapa do Moacir, (F) Toca do Charco, e (G) Área cárstica total.

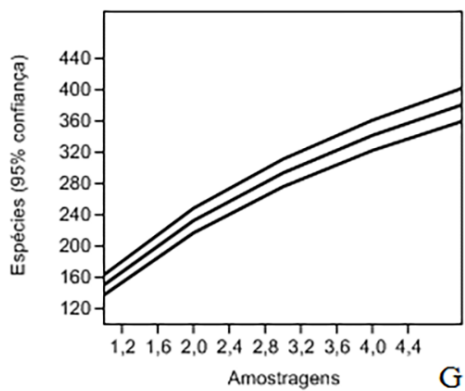
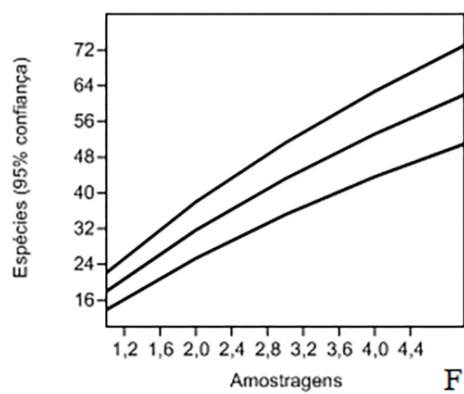
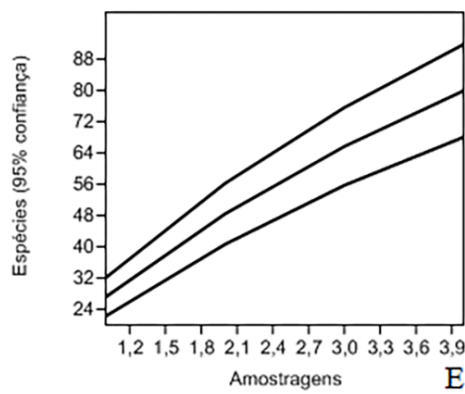
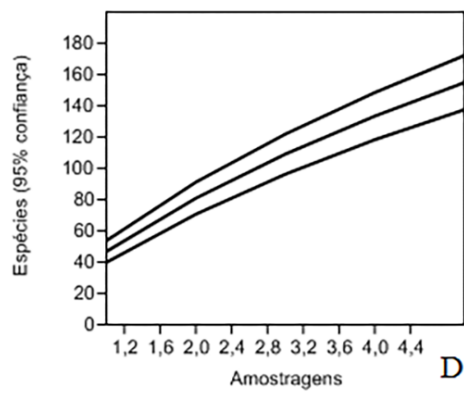
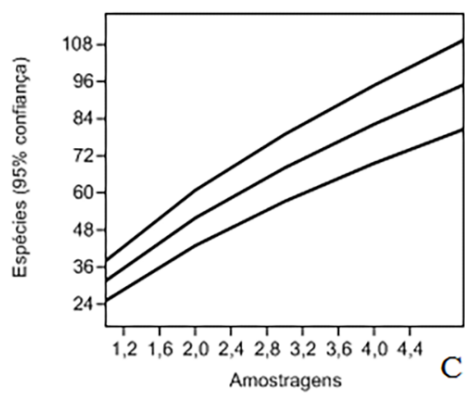
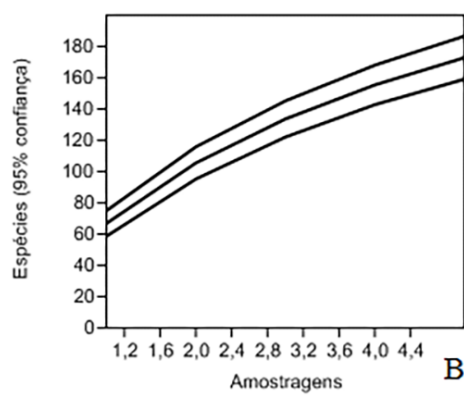
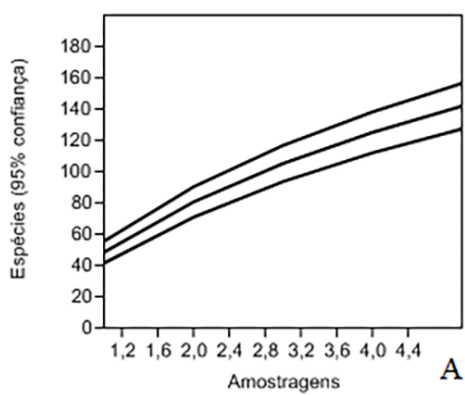
FIGURA 3: *Box-plots* indicando as medianas e os valores máximos e mínimos (A) da riqueza de invertebrados e (B) de suas abundâncias nas diferentes zonas das cavernas da área cárstica de Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil. Legenda: ZE = Zona de Entrada, ZP = Zona de Penumbra, ZA = Zona Afótica.

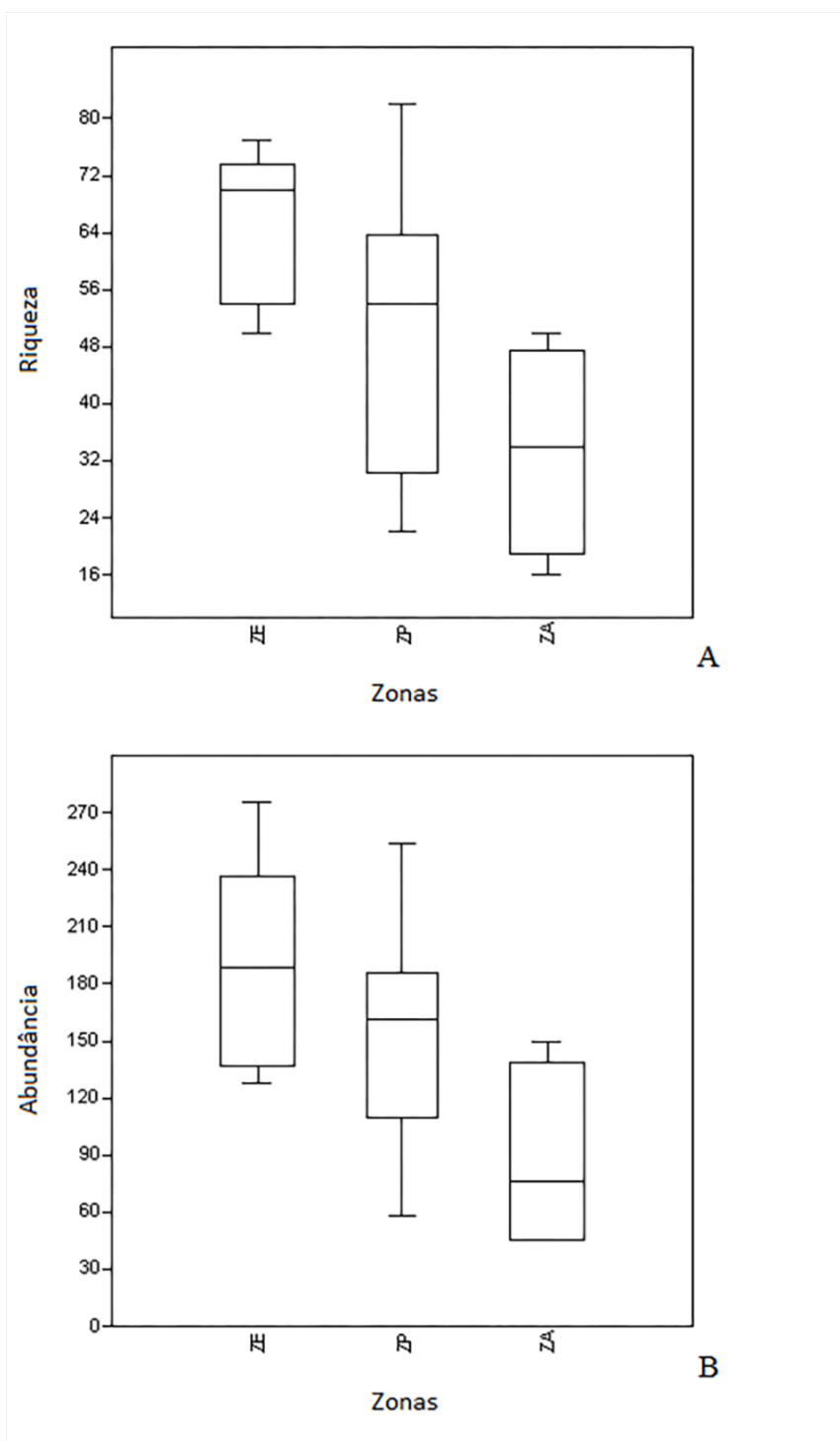
FIGURA 4: *Box-plots* indicando as medianas e os valores máximos e mínimos (A) da riqueza de invertebrados e (B) de suas abundâncias nas diferentes categorias de substrato presentes em cavernas de Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil. Legenda: RO = rocha; CO = concreções; SO = solo; SRO = solo + rocha; SCA = solo + cascalho; SRM = solo + rocha + matéria orgânica vegetal; SCM = solo + cascalho + matéria orgânica vegetal; SMO = solo + matéria orgânica vegetal; MO = matéria orgânica vegetal; SRG = solo + rocha + guano; GUA = guano.

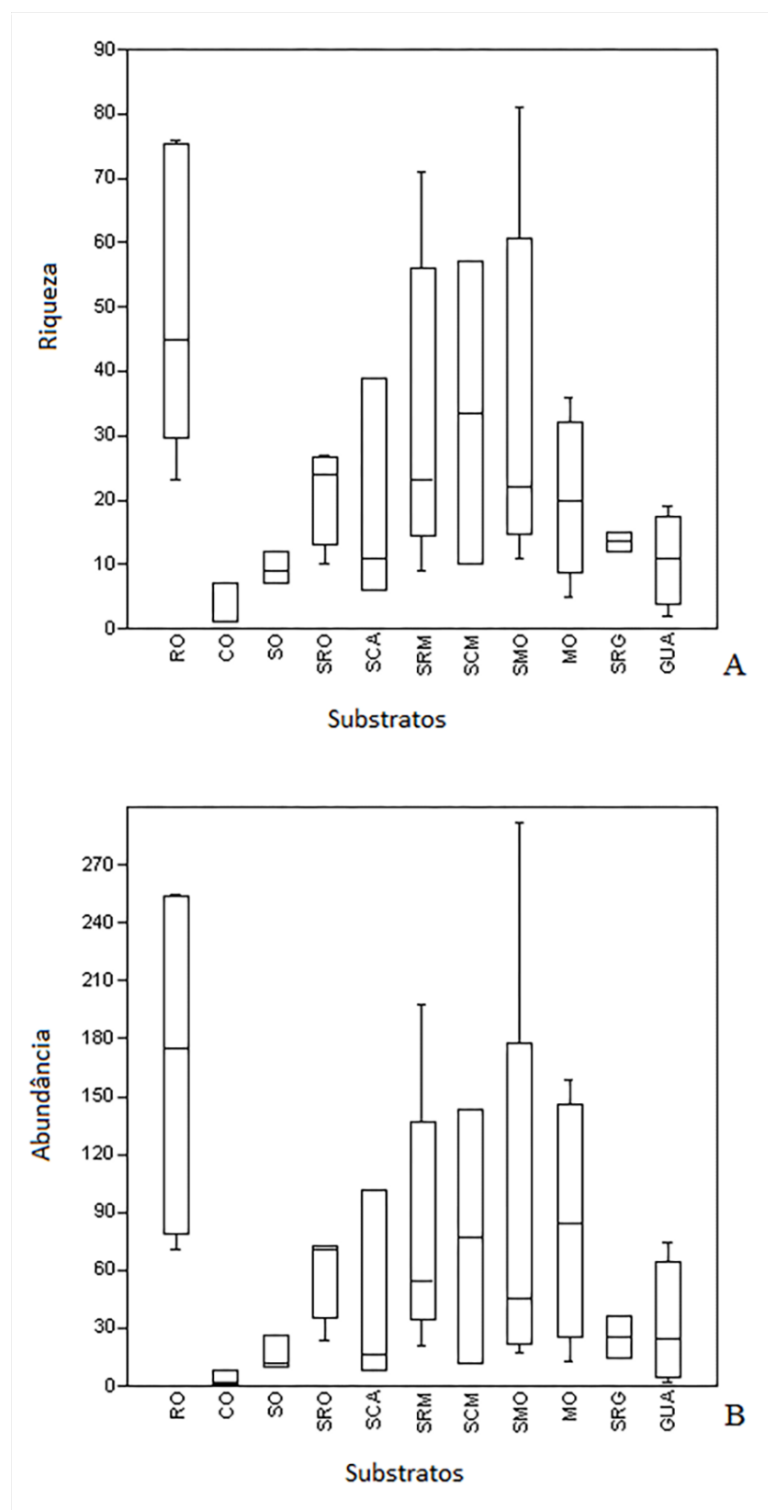
FIGURA 5: Teia alimentar hipotética simplificada da fauna subterrânea de Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil.

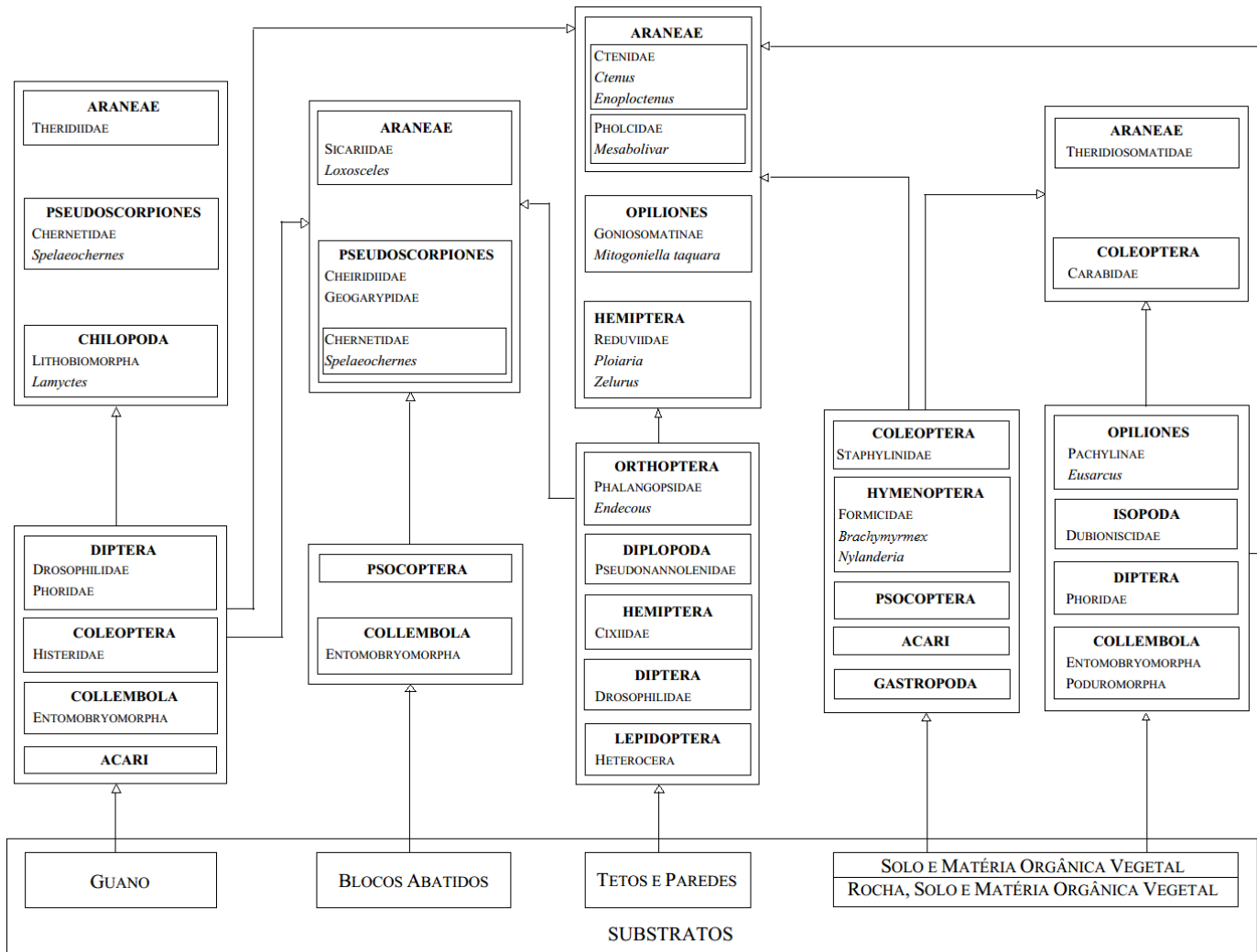
FIGURA 6: Regressão linear múltipla mostrando a riqueza de espécies em relação (A) ao guano e (B) às raízes penetrantes das cavernas de Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil.



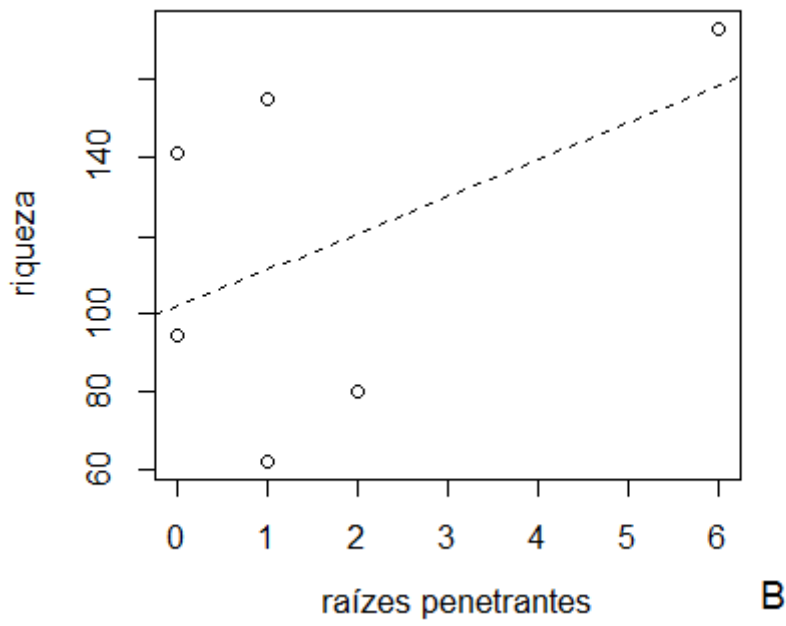
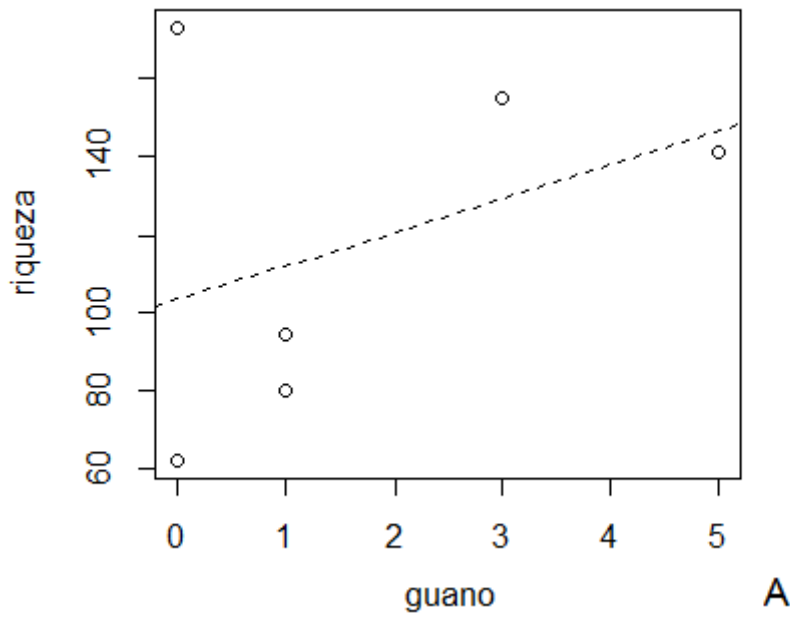








—▷ direção do fluxo de energia



INFORMAÇÃO SUPLEMENTAR

Influência da Complexidade de Habitats e Microhabitats na Diversidade e Distribuição da Fauna Cavernícola Neotropical

Tamires Zepon e Maria Elina Bichuette



FIGURA S1: Diferentes estados de degradação dos entornos das cavernas da área cárstica de Presidente Olegário, Minas Gerais, Brasil. (A) Entorno pouco degradado (Lapa Arco da Lapa); (B) Entorno relativamente degradado (Lapa Zé de Sidinei); (C) Entorno muito degradado (Lapa Vereda da Palha); (D) Entorno extremamente degradado (Lapa da Fazenda São Bernardo). Fotografias A, B e D: T. Zepon; Fotografia C: M. E. Bichuette.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo trouxe contribuições para o conhecimento sobre a fauna subterrânea da área cárstica de Presidente Olegário (PO), até então pouco estudada, e da região neotropical de uma maneira geral.

Presidente Olegário apresentou elevada riqueza, com alguns táxons relativamente comuns em cavernas brasileiras como um todo. Verificou-se a dificuldade em categorizar os organismos subterrâneos de acordo com a classificação ecológico-evolutiva de Schiner-Racovitza, muitas vezes devido à ausência de evidências de onde as populações estão estabelecidas, o que exige mais réplicas para a confirmação de espécies troglóbias. A área cárstica de PO consiste em uma região potencial para ocorrência de troglóbios.

Observou-se elevada singularidade faunística devido à ocorrência de espécies novas, registros novos e espécies com troglomorfismos, o que destaca a importância biogeográfica dessa área. Ainda, as cavernas dessa região apresentam elevada distinção taxonômica, o que também implica em uma alta singularidade faunística, a qual consiste na principal justificativa para a conservação destes ambientes.

As espécies estão distribuídas de maneira distinta em relação às variáveis abióticas, o que evidencia uma diferenciação de nichos entre os organismos e, conseqüentemente, permite a coexistência de táxons. Verificou-se que a riqueza de espécies está relacionada de forma positiva à complexidade física cavernas, como a presença de contatos com a superfície que permitem a entrada de recursos energéticos.

Considerando-se a zonação, as zonas de entrada possuem maiores valores de riqueza e abundância devido ao contato direto com a superfície. Curiosamente, as zonas de penumbra das cavernas de Presidente Olegário também apresentaram elevada riqueza, o que está relacionado à disponibilidade de recursos alimentares. Já as zonas afóticas tiveram menores valores de riqueza e abundância e escassez de alimento. Assim, observou-se que a fauna está distribuída de maneira distinta em relação às zonas das cavernas.

Verificou-se a estratificação da fauna em relação aos substratos. Foi registrada elevada riqueza em depósitos de matéria orgânica (como detritos vegetais e guano), porém, esses depósitos se modificam gradativamente por processos físicos e químicos e perdem qualidade. Substratos estruturalmente complexos apresentaram elevada riqueza, pois sua estrutura ajuda na retenção de umidade e promove proteção contra a dessecação e exposição a

predadores potenciais. Já os substratos estruturalmente homogêneos apresentaram riqueza e abundância reduzidas por serem pobres em recursos alimentares.

As comunidades terrestres das cavernas estudadas parecem ser estruturadas com base em recursos energéticos e, por isso, a estrutura trófica das cavernas foi verificada propondo uma teia alimentar.

A degradação de entornos influencia de forma negativa a riqueza de cavernas de PO, pois sua fauna é amplamente dependente de recursos provenientes da superfície, e o desmatamento para práticas agrícolas pode levar à uma diminuição da qualidade ambiental e causar o assoreamento e poluição de rios, prejudicando o aporte de recursos para as cavernas, podendo resultar na rápida extinção de espécies endêmicas. Ainda, essa área cárstica apresenta elevada riqueza e singularidade faunística, as quais são influenciadas pela complexidade de habitats e microhabitats. Tais características destacam a importância e a singularidade da região e, portanto, é proposto que essa área cárstica e toda sua área de influência seja incluída como prioritária para conservação.