

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

Luiza Bertelli Simões

**BIODIVERSIDADE DA FAUNA SUBTERRÂNEA NA ÁREA CÁRSTICA DE
SÃO DOMINGOS, NORDESTE DE GOIÁS: RELEVÂNCIA VERSUS
VISIBILIDADE DE TÁXONS**

Orientação: Prof^ª. Dr^ª. Maria Elina Bichuette

São Carlos
Maio de 2013

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



Luiza Bertelli Simões

BIODIVERSIDADE DA FAUNA SUBTERRÂNEA NA ÁREA CÁRSTICA DE
SÃO DOMINGOS, NORDESTE DE GOIÁS: RELEVÂNCIA VERSUS
VISIBILIDADE DE TÁXONS

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

São Carlos
Maio de 2013

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

S593bf

Simões, Luiza Bertelli.

Biodiversidade da fauna subterrânea na área cárstica de São Domingos, nordeste de Goiás : relevância versus visibilidade de táxons / Luiza Bertelli Simões. -- São Carlos : UFSCar, 2013.
197 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2013.

1. Ecologia. 2. Fauna subterrânea. 3. Diversidade biológica. 4. Cavernas. I. Título.

CDD: 574.5 (20^a)

Luiza Bertelli Simões

Dissertação apresentada à Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

Aprovada em 17 de junho de 2013

BANCA EXAMINADORA

Presidente *Maria Elina Bichuette*
Prof.ª. Dra. Maria Elina Bichuette
(Orientadora)

1º Examinador *Marcel Okamoto Tanaka*
Prof. Dr. Marcel Okamoto Tanaka
PPGERN/UFSCar

2º Examinador *Regina Bessi Pascoaloto*
Prof.ª. Dra. Regina Bessi Pascoaloto
Carste Consultores Associados LTDA

*A todos que percorrem o árduo caminho em busca do conhecimento científico,
Dedico...*

Não há fatos eternos, como não há verdades absolutas

Friedrich Nietzsche

Agradecimentos

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais e à minha irmã, Reinaldo Henrique Fernandez Simões, Rosemeiri Bertelli Simões e Celina Bertelli Simões, que estiveram incondicionalmente ao meu lado em todas as minhas escolhas e sem os quais jamais teria alcançado meus objetivos. À Prof.^a Dr.^a Maria Elina Bichuette por ter ensinado a importância da disciplina e ética no trabalho e por proporcionar grande parte de meus conhecimentos em diversos âmbitos. Ao guia de campo Ramiro Hilário, o qual me acompanhou durante o trabalho e me fez aprender muito além da esfera biológica. Aos colegas de laboratório, pelo esclarecimento de dúvidas e discussões proveitosas e pelo ótimo convívio tanto na formalidade acadêmica quanto em viagens de campo. Aos amigos, pela força e paciência nos momentos difíceis e pela colaboração através de apoio moral e intelectual, em especial à Denise Rodrigues Bueno e Flávia Ferreira Martinelli. Finalmente, ao CNPq e FAPESP pelas bolsas de auxílio financeiro.

Sumário

Resumo Geral	10
General Abstract	11
Introdução Geral	13
Referências	17
Capítulo I - Riqueza e distinção taxonômica da fauna de invertebrados em cavernas do Brasil central: uma área vulnerável com elevada singularidade faunística	20
Resumo	21
1. Introdução	22
2. Métodos	25
2.1. Área de Estudo	25
2.2. Amostragem da fauna de invertebrados subterrâneos	26
2.3. Análises dos dados	28
3. Resultados	29
3.1. Novos registros e táxons relevantes	32
4. Discussão	35
4.1. A fauna troglóbia do nordeste de Goiás e seu grau de conservação	44
5. Agradecimentos	48
6. Referências	48
7. Lista de Figuras	57
8. Lista de Tabelas	66
Capítulo II - Influência da sazonalidade, substrato e zonação na fauna de invertebrados terrestres de uma caverna neotropical, Brasil central	99
Resumo	100
1. Introdução	101
2. Métodos	104
2.1. Área de Estudo	104

2.2. A Caverna Angélica.....	104
2.3. Estratificação e zonation da Caverna Angélica	105
2.4. Amostragem da fauna de invertebrados terrestres	106
2.5. Análises dos dados.....	107
3. Resultados.....	108
4. Discussão	112
4.1. Riqueza de espécies e o esforço de coleta	112
4.2. Sazonalidade	113
4.3. Substratos.....	115
4.4. Zonação.....	119
4.5. Influências e ameaças à biodiversidade local	121
5. Conclusões.....	123
6. Agradecimentos.....	124
7. Referências	100
8. Lista de Figuras	130
9. Lista de Tabelas.....	141
Capítulo III - Aquatic biota of the epikarstic horizon in subterranean systems of Goiás, Central Brazil – a test of visibility versus relevance.....	164
Introduction	166
Subterranean horizons.....	166
The epikarst.....	166
Worldwide subterranean aquatic biota	168
Material and Methods.....	169
Study Area	169
Sampling of aquatic invertebrates.....	170
Physical and chemical variables	171
Results	171

Richness of the karstic waters of Goiás	174
Tropical versus temperate aquatic subterranean biota	178
Remarks on conservation.....	178
Acknowledgements	179
References	180
Figures List	185
Table List.....	192

Resumo Geral

Neste trabalho, realizamos um levantamento da fauna subterrânea em uma área cárstica nordeste de Goiás, considerando tanto os diminutos invertebrados aquáticos quanto os representantes das comunidades terrestres. Para tal, verificamos a composição de espécies em 13 cavernas pertencentes às regiões de São Domingos e Posse. Parte da região de São Domingos inclui uma ampla área de preservação, com cerca de 50.000 ha, o Parque Estadual de Terra Ronca (PETER), onde há elevado número de cavernas bem conhecidas pela ciência e também intensa atividade turística, o que ameaça a integridade destes frágeis sistemas. Em contrapartida, as cavernas da região de Posse são pouco frequentadas e praticamente desconhecidas quanto à sua biologia. Para fins de publicação, dividimos nosso trabalho em três capítulos. O primeiro capítulo caracteriza a fauna de invertebrados terrestres nestes ambientes subterrâneos. Para isso, verificamos a riqueza, diversidade, distinção taxonômica e similaridades faunísticas entre as cavernas amostradas em ambas as regiões. Além disso, destacamos os registros de espécies novas, raras e/ou troglóbias. Garantimos um acesso acurado a esta fauna por meio de seis ocasiões de coletas sistematizadas em diferentes estações ao longo dos anos de 2010, 2011 e 2012. Amostramos diferentemente estas cavidades, de modo a contemplar todas elas em esforço amostral que variou de uma a três réplicas, com exceção da Caverna Angélica. Esta última foi amostrada nas seis ocasiões, de modo a investigar a variação faunística local em função do tempo e de alguns fatores ambientais. Assim, no segundo capítulo, buscamos verificar a influência da sazonalidade, zonação e da disponibilidade e complexidade de substratos na composição faunística desta caverna. Nestes dois primeiros capítulos, abordamos também a importância da amostragem por meio de métodos combinados, propondo a utilização do método dos quadrados além da coleta por busca ativa. A fauna cavernícola terrestre, pelo fato de ter maior visibilidade e facilidade de acesso, tem sido estudada mais detalhadamente no país. Ao contrário, a diversidade aquática de organismos diminutos está claramente subestimada, tanto pela sua menor visibilidade quanto pela falta de adequação dos métodos de amostragem à coleta desses animais. No entanto, a maioria dos sistemas subterrâneos nesta e em outras áreas cársticas brasileiras possuem amplos sistemas de drenagem, com diversas vias de infiltração de água, entre elas a captação de rios epígeos e chuvas. A percolação dessa água produz extensa rede de

micro habitats potenciais, desde pequenos condutos preenchidos por ar e/ou águas temporárias até bolsões permanentes, o que constitui uma zona insaturada conhecida como epicarste. Ciente da necessidade em se estudar este horizonte subterrâneo peculiar, no terceiro capítulo, verificamos a riqueza da fauna de microrganismos aquáticos presentes em algumas cavernas desta área. Utilizando redes de plâncton, filtramos água em todos os habitats aquáticos potenciais como gotejamentos, travertinos (poções d'água), rios epicársticos esubterrâneos, bem como zonas de ressurgência e rios epígeos do entorno de algumas cavernas. Observamos o grau de similaridade faunística entre os diferentes ambientes amostrados. Ainda, foram aferidas variáveis físicas e químicas da água a fim de encontrar relações táxons-ambiente.

General Abstract

In this issue, we did a survey of subterranean fauna in a karstic area from northeast of Goiás, considering both the tiny aquatic invertebrates as representatives of terrestrial communities. We verify the species composition in 13 caves belonging to the regions of São Domingos and Posse. Part of the region of São Domingos includes a large conservation area, with about 50.000 ha, the Terra Ronca State Park (PETER), where there are large number of caves well known to science and intense tourist activity, which threatens the integrity of these fragile systems. In contrast, the caves of the region of Posse are less visited and almost unknown when it comes to its biology. For publication purposes, we divide our work in three chapters. The first one features the terrestrial invertebrate fauna in these underground environments. We verified the richness, diversity, taxonomic distinctness and faunal similarities between caves sampled in both regions. Moreover, we highlight the records of new, rare and/or troglobitic species. We guaranteed accurate access to this fauna through six occasions collections systematized in different seasons over the years of 2010, 2011 and 2012. We sampled differently these cavities by sampling efforts that ranged from one to three replicates, except for Angélica Cave. The latter was sampled at six times in order to investigate variance in fauna according to different periods of collecting and some environmental factors. Thus, in the second chapter, we aim to verify the influence of seasonality, zoning, availability and complexity of substrates in the faunal composition of this cave. Moreover, in these first two chapters, we discussed the importance of

sampling by combined methods, proposing the use of the method of squares plus the usual collecting by active search. As the terrestrial hypogean fauna is more visible, it has been studied in more detail in Brazil. Rather, the diversity of tiny aquatic organisms is clearly underestimated, both for its lower visibility as the lack of adequacy of sampling methods for collecting these animals. However, most of the underground systems in this and other Brazilian karstic areas have large karst drainage systems, with diverse passages for water infiltration in the subterranean environment, such as the capture of superficial rivers and rainwater. The percolating water produces extensive network of potential micro-habitats, from small fissures filled with air and/or water to temporary or permanent pockets, which is an unsaturated zone known as epikarst. Aware of the necessity to study this unique subterranean horizon, in the third chapter, we analyze the richness of aquatic microorganisms present in some caves in this area. Using plankton nets, we filtered water in all potential aquatic habitats as drips, travertine (pockets of water), epikarstic and groundwater rivers, as well as areas of resurgence and epigean rivers surrounding some of the caves. We observed the degree of faunal similarity between different environments sampled. Finally, some physical and chemical variables of water were measured in order to find taxa-environment relationships.

Introdução Geral

Em sua concepção mais ampla, o meio subterrâneo ou hipógeo compreende o conjunto de espaços interconectados do subsolo, preenchidos por água ou ar e que variam desde a escala milimétrica até grandes cavidades acessíveis aos humanos, conhecidas como cavernas (Juberthie 2000).

A principal peculiaridade deste ambiente é a ausência permanente de luz, que acarreta a exclusão de organismos fotoautotróficos. Além disso, há tendência à estabilidade ambiental, com flutuações mínimas de temperatura e elevada umidade relativa do ar devido ao efeito-tampão da rocha (Culver 1982). O aporte alimentar depende principalmente de sistemas de drenagens e de água de percolação, que transportam matéria orgânica particulada e dissolvida, além de fezes e carcaças de animais que transitam regularmente nesses ambientes (Peck 1976; Culver 1982; Culver & Pipan 2009). Assim, em alguns casos, há grande dependência de recursos do meio epígeo (alóctones) para a manutenção das comunidades hipógeas.

Estas condições resultam em um regime seletivo diferenciado, de modo que apenas alguns organismos são capazes de colonizar efetivamente o meio hipógeo e estabelecer populações auto-suficientes (Barr 1968). Portanto, de acordo com seu grau de especialização e dependência do meio externo, os organismos encontrados em cavernas podem ser agrupados em três categorias ecológico-evolutivas principais: troglófilos, troglóbios e troglófilos (Schinner-Racovtza 1907).

Segundo a definição recente proposta por Trajano (2012), os organismos ditos troglóbios (estigóbios para os aquáticos) formam populações fonte exclusivas de ambientes subterrâneos, podendo ser encontradas populações “dreno” no meio superficial. Os troglófilos (estigófilos) incluem populações tanto em ambiente epígeo quanto subterrâneo, e muitos podem transitar entre estes habitats, o que promove a troca de genes entre populações subterrâneas e superficiais. Por fim, os troglófilos (estigófilos) são populações epígeas fonte, que utilizam recursos do meio hipógeo, dependendo destes para completar seus ciclos de vida. Ainda, há espécies que podem ser troglófilas sob certas circunstâncias e troglóbias em outras. Em cavernas onde há grande disponibilidade de recursos alimentares, organismos tipicamente troglófilos podem passar toda a vida no ambiente hipógeo (Holsinger & Culver 1988).

As espécies troglóbias podem apresentar especializações morfológicas, fisiológicas e comportamentais em resposta a pressões seletivas presentes no meio cavernícola e/ou a ausência de pressões seletivas típicas do meio externo, os chamados troglomorfismos (Holsinger & Culver 1988; Langecker 1989). Os principais exemplos são a redução ou perda de pigmentação melânica corporal, maior desenvolvimento de estruturas sensoriais e regressão de órgãos visuais (Barr & Holsinger 1985).

A distribuição da fauna subterrânea pode ser determinada por inúmeras variáveis, destacando-se a disponibilidade de recursos alimentares (Poulson & Culver 1968). Dentre estes principais fatores, podemos mencionar o distanciamento das zonas de entrada e captação de rios (vias de contato com o meio epígeo), o número e qualidade de depósitos de matéria orgânica ao longo das cavidades (*e.g.* guano) e o tipo e grau de interações entre as espécies (*e.g.* predação e competição) (Hamilton-Smith & Ebehard 2000; Bellati et al. 2003; Culver & Pipan 2009).

Existe uma zonation do ambiente cavernícola determinada pela distância em relação ao meio epígeo e com distintas características físicas e químicas entre si: zona de entrada, penumbra e afótica (Mohr & Poulson 1966). Há diminuição gradativa de luminosidade e flutuações de temperatura desde o meio superficial até as zonas mais profundas, além de distribuição diferenciada dos seres vivos (Barr 1968, Poulson & White 1969). Geralmente, as comunidades cavernícolas tendem a apresentar alta riqueza de espécies próximo da região da entrada, diminuindo à medida que se afasta desta (Poulson & Culver 1969, Gomes et. al 2000; Culver & Pipan 2009). Ainda, segundo Novak e colaboradores 2012, há também uma zonation faunística vertical, com maior diversidade de espécies concentrada em zonas de até 10 metros de profundidade, habitantes do meio subterrâneo superficial (MSS).

É de amplo consenso que ecossistemas subterrâneos são frágeis e altamente vulneráveis a fatores de estresse tais como alteração de hábitat, flutuações ambientais não-naturais, poluição química, eutrofização, entre outros (Trajano & Bichuette 2006; Gallão 2012). Além disso, é comum a dependência de nutrientes importados do meio epígeo, com raras exceções de cavernas com cadeias alimentares baseadas em organismos quimioautotróficos (Hüppop 2000). Cabe ainda ressaltar que populações subterrâneas são freqüentemente pequenas, com baixa capacidade de restabelecimento, em virtude das estratégias de ciclo de vida do tipo K, que resultam em um lento *turnover* populacional (Poulson 1964; Culver 1982).

Idealmente, além de critérios relativos à cultura e ao turismo local, a seleção de áreas destinadas à proteção de ecossistemas subterrâneos deve basear-se em critérios científicos, entre eles os relacionados a fenômenos de alto interesse biológico, que contemplam aspectos sobre a ecologia e a evolução da fauna (Sket 1992; Trajano 2001). Alguns desses critérios são a presença de espécies endêmicas, talvez o mais amplamente utilizado; a ocorrência de táxons relictos ou basais em filogenias; a ocorrência de localidades-tipo; e a presença de comunidades particularmente diversificadas, com relações mútuas complexas (*e.g.*, comunidades associadas a guano). O estudo da biodiversidade local representa o primeiro passo para a aplicação desses critérios, não apenas pela realização de levantamentos faunísticos, como também por abordagens taxonômicas e delimitação da área de ocorrência de espécies (Moreno & Halffter 2000; Sarkar 2006).

A área abordada neste estudo representa uma das expressões regionais da unidade geomorfológica Bambuí, que constitui o maior conjunto de ocorrências calcárias favoráveis à presença de cavernas no Brasil, com área de aproximadamente 105.200 km² (Auler et al. 2001). A região de São Domingos se insere em uma Unidade de Conservação, o Parque Estadual de Terra Ronca (PETER), criado há 17 anos, mas ainda com diversos problemas fundiários e de fiscalização, ocorrendo retirada de madeira e pisoteamento de gado próximo às nascentes dos rios. Um agravante é o fato de que as nascentes dos principais rios que atravessam os sistemas de cavernas se encontram fora do limite do Parque (Gallão & Bichuette 2012). A região de Posse, que representa a porção mais ao sul da mesma lente calcária, se localiza a cerca de 200 km do PETER e possui sistemas e drenagens subterrâneas menos desenvolvidas. Além disso, a maioria das cavernas ainda não foi mapeada e estudada quanto à biologia.

Sabe-se que a fauna cavernícola terrestre, pelo fato de ter maior visibilidade, tem sido estudada mais detalhadamente no Brasil (Trajano & Bichuette 2006). Ao contrário, a diversidade aquática de pequenos organismos, como por exemplo microcrustáceos (copépodes, ostrácodes, sincáridos e cladóceros), está claramente subestimada, devido a dificuldade de adequação dos métodos de amostragem à coleta desses animais (Trajano & Bichuette *op. cit.*). Para o Brasil, os únicos registros de crustáceos copépodes restringem-se a seis espécies de duas cavernas de Goiás e referências esparsas em publicações faunísticas gerais, acrescentando três outras espécies (Pinto-da-Rocha 1995). Para a amostragem desses organismos é demandado o uso de peneiras ou redes

de malha muito fina (micrométrica), de preferência em habitats especiais como poças alimentadas por água de percolação na zona epicárstica, além de peneiragem de sedimento para espécies intersticiais e utilização de bombas a vácuo.

Grande parte dos sistemas subterrâneos nesta e em outras áreas cársticas brasileiras possuem amplos sistemas de drenagem, com diversas vias de infiltração de água, entre elas a captação de rios epígeos e chuvas. A percolação dessa água produz extensa rede de micro habitats potenciais, desde pequenos condutos preenchidos por ar e/ou águas temporárias até bolsões permanentes, o que constitui uma zona insaturada conhecida como epicarste (Williams 1983; Bakalowicz 2003). O estudo da fauna intersticial e epicárstica é um campo da Biologia Subterrânea totalmente em aberto no Brasil e altamente promissor.

A falta de amostragens é um dos principais fatores para o moderado número de troglóbios descritos para o Brasil (Trajano 1995). Até o momento, os levantamentos faunísticos feitos nas regiões de São Domingos e Posse consistem em amostragens pontuais, provenientes de uma ou duas ocasiões de coleta, não contemplando a sazonalidade ao longo de períodos anuais (*e.g.* Majer et al. 2003; Rheims & Pellegatti-Franco 2003). Entretanto, há organismos que possuem distribuições retraídas ou expandidas em função de oscilações ambientais podendo, por exemplo, ser abundantes em épocas chuvosas e pouco numerosos em estações secas. Assim, o monitoramento de cavernas envolvendo coletas periódicas em uma mesma localidade é necessário ao acesso acurado desta fauna.

A falta de especialista para muitos grupos comumente encontrados nestes ambientes também limita o conhecimento da biodiversidade subterrânea. O impedimento taxonômico é o principal entrave ao avanço da bioespeleologia no Brasil, pois muitos grupos ainda não são identificados no menor nível taxonômico possível, o que dificulta o conhecimento da diversidade de táxons subterrâneos (Wheeler et al. 2004; Trajano et al. 2012). Deste modo, muitas espécies não são incluídas em listas de espécies ameaçadas simplesmente por não terem sido descritas, o que reforça a urgência de estudos taxonômicos.

O reconhecimento da importância da fragilidade dos ecossistemas subterrâneos pelos órgãos governamentais foi verificado pela inclusão de troglóbios nas listas de espécies ameaçadas de extinção (D.O.U. de 28/05/2004). Entretanto, a assinatura do decreto 6.640 em 2008 e sua respectiva Instrução Normativa número 2 de agosto de

2009, propõe a classificação de cavernas de acordo com graus de relevância (baixo, médio ou alto), estabelecidos com base em no mínimo duas amostragens anuais. A exigência de apenas duas ocasiões de coleta para o conhecimento da biodiversidade local é um dos muitos problemas verificados neste decreto e que ameaçam a integridade destes sistemas. Em geral, há alto grau de singularidade entre cavernas, mesmo entre aquelas com elevada proximidade geográfica e inseridas num mesmo maciço rochoso (Christiansen 1962; Culver et al. 2006). Assim, é evidente a necessidade de preservação do maior número de cavidades possível, pois o ideal de compensação não se aplica a estes ambientes únicos.

Referências

- Ab'Saber, A. 1977. Os domínios morfoclimáticos da América do Sul. **Geomorfologia**, 52: 1-21.
- Auler A.; Rubbioli E. & Brandi R. 2001. As grandes cavernas do Brasil. **Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas**, Belo Horizonte, 228pp.
- Bakalowicz M. 2003. The epikarst, the skin of karst. In: **Epikarst. Proceedings of the symposium held**, 1-4.
- Barr T. C. & Holsinger J. R. 1985. Speciation in cave faunas. **Annual Review of Ecology and Systematics**, 16, 313-337.
- Barr, T.C. 1968. Cave ecology and the evolution of troglobites. **Evolutionary Biology**, 2: 35-102.
- Bellati, J.; A.D. Austin & N.B. Stevens. 2003. Arthropod diversity of a guano and non-guano cave at the Naracoorte Caves world heritage area, South Australia. **Records of the South Australian Museum Monograph Series**, 7: 257-265.
- Christiansen K.A. 1962. Proposition pour la classification des animaux cavernicoles. **Spelunca**, 2: 76-78.
- Culver D.C. 1982. Cave Life - Evolution and Ecology. **Cambridge: Harvard University Press**.
- Culver D.C. et al. 2006. The mid-latitude biodiversity ridge in terrestrial cave fauna. **Ecography**, 29(1): 120-128.
- Culver D.C. & T. Pipan. 2009. Biology of Caves and Other Subterranean Habitats. **Oxford: Oxford University Press**, 254 p.

- Gallão J.E. 2012. Estado de conservação e dados de distribuição da fauna troglóbia brasileira com propostas de áreas prioritárias para proteção. *Tese de Mestrado*, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 93 p.
- Gallão J.E. & Bichuette M.E. 2012. A Lista de Fauna Ameaçada de Extinção e os Entraves para a Inclusão de Espécies—o Exemplo dos Peixes Troglóbios Brasileiros. **Natureza & Conservação**, 10(1): 83-87.
- Gomes F. T. D. M. C.; Ferreira R. L. & Jacobi C.M. 2000. Comunidade de artrópodes de uma caverna calcária em área de mineração: composição e estrutura. **Revista Brasileira de Zoociências**, 2(2).
- Hamilton-Smith E. & Ebehard S. 2000. Conservation of cave communities in Australia. In H. Wilkens, D.C. Culver and W.F. Humphreys (eds.). **Subterranean ecosystems**, 647-664. Elsevier Press, Amsterdam, The Netherlands.
- Holsinger J.R. & Culver D.C. 1988. The invertebrate cave fauna of Virginia and a part of eastern Tennessee: Zoogeography and ecology. **Brimleyana**, 14:1-162.
- Huppopp K. 2000. How do cave animals cope with the food scarcity in caves?. **Ecosystems of the world**, 159-188.
- Juberthie C. 2000. The diversity of the karstic and pseudokarstic hypogean habitats in the world. In: Wilkens H, Culver DC & Humphreys WF (eds.). **Ecosystems of the World, Vol. 30: Subterranean Ecosystems**. Amsterdam: Elsevier. p. 17-39
- Langecker T.G. 1989. Studies on the light reaction of epigean and cave populations of *Astyanax fasciatus* (Characidae, Pisces). **Memoires de Biospeologie**, 16: 169-176.
- Majer et al. 2003. Invertebrados aquáticos de cavernas da área cárstica de São Domingos, nordeste de Goiás. **O Carste**, 15(4): 126-131.
- Mohr C.E. & Poulson T.L. 1966. The Life of the Cave: Our Living World of Nature. **McGraw Hill**, 232 pp.
- Moreno C.E. & Halffter G. 2000. Assessing the completeness of bat biodiversity inventories using species accumulation curves. **Journal of Applied Ecology**, 37: 149-158.
- Novak T. et al. 2012. Duality of terrestrial subterranean fauna. **International Journal of Speleology**, 41(2): 57-64.
- Pinto-da-Rocha R. 1995. Sinopse da fauna cavernícola do Brasil (1907-1994). **Papéis Avulsos de Zoologia**, 39(6): 61-173.

- Poulson T. L. 1964. Animals in aquatic environments: animals in caves. **Handbook of physiology**, (4): 749-771.
- Poulson T. L. & Culver D.C. 1969. Diversity in terrestrial cave communities. **Ecology**, 153-158.
- Rheims C.A. & Pellegatti-Franco F. 2003. Invertebrados terrestres de cavernas da área cárstica de São Domingos, nordeste de Goiás. **O Carste**, 15(4): 132-137.
- Sarkar S. 2006. Ecological diversity and biodiversity as concepts for conservation planning: comments on Ricotta. **Acta Biotheoretica**, 54: 133-140.
- Sket B. 1992. Conservation of sites important for their hypogean aquatic fauna. A proposal. **Bulletin de Liaison de la Société de Biospéologie**, 19, 23-26.
- Trajano E. 1995. Evolution of tropical troglobites: Applicability of the model of Quaternary climatic fluctuations. **Mémoires de Biospéologie**, 22: 203-209.
- Trajano E. 2001. Ecology of subterranean fishes: an overview. **Environmental Biology of Fishes**, 62(1-3): 133-160.
- Trajano E. & Bichuette M.E. 2006. **Biologia Subterrânea: Introdução**. São Paulo: Redespeleo Brasil, 92 p.
- Trajano E.; Bichuette M. E. & Batalha M. A. 2012. Estudos ambientais em cavernas: os problemas da coleta, da identificação, da inclusão e dos índices. **Espeleo-Tema**, (1): 13-22.
- Wheeler Q.D.; Raven P.H. & Wilson E.O. 2004. Taxonomy: impediment or expedient? **Science**, 303: 285.
- Williams P.W. 1983. The role of the subcutaneous zone in karst hydrology. **Journal of Hydrology**, 61: 45-67.

Capítulo I

Riqueza e distinção taxonômica da fauna de invertebrados em cavernas do Brasil central: uma área vulnerável com elevada singularidade faunística

Luiza Bertelli Simões, Diego Monteiro Neto, Jonas Eduardo Gallão & Maria Elina Bichuette^(*)

Laboratório de Estudos Subterrâneos, Departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva (DEBE), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Via Washington Luís, km 235, 13565-905, Caixa Postal 676, São Carlos, SP, Brasil. Telefone: (16) 3351-8798.

*Autor correspondente. E-mail: bichette@uol.com

Resumo

No presente trabalho, verificamos a riqueza e composição de espécies em 13 cavernas pertencentes às regiões de São Domingos e Posse, nordeste de Goiás. Parte da região de São Domingos se insere em uma ampla área de preservação, o Parque Estadual de Terra Ronca (PETER), onde há elevado número de cavernas bem conhecidas pela ciência. Há também intensa atividade turística local, o que ameaça a integridade destes frágeis sistemas. As cavernas da região de Posse são pouco frequentadas e praticamente desconhecidas quanto à sua biologia. Por meio de coletas sistematizadas ao longo dos anos de 2010, 2011 e 2012, comparamos a fauna destas cavidades considerando fatores como a posição geográfica, número de réplicas e métodos amostrais, e distinção taxonômica das comunidades. Amostramos também o entorno de algumas cavidades, possibilitando a comparação entre a fauna epígea e subterrânea e a determinação mais acurada de suas categorias ecológico-evolutivas. Listamos as riquezas, abundâncias e índices de diversidade de espécies para cada caverna e região e, por fim, para a área cárstica como um todo (as duas regiões juntas), enfatizando os registros de táxons novos, raros e/ou troglóbios. Há grande singularidade faunística entre cavernas tanto dentro de cada região quanto entre elas. De acordo com a análise *Taxonomic distinctness* (Δ^*), nem sempre as cavernas mais ricas ou diversas possuem as maiores singularidades taxonômicas, fato verificado em nossos resultados. A alteração ambiental proveniente de impactos antrópicos pode reduzir a diversidade taxonômica local. Mesmo com um esforço amostral de seis ocasiões de coleta não tivemos acesso à fauna como um todo. A elevada riqueza de táxons amostrada, com a ocorrência de registros novos, troglóbios e distribuições ampliadas, reforça o potencial de biodiversidade para a fauna subterrânea neotropical. O impedimento taxonômico dificulta a elaboração de listas faunísticas precisas e muitos táxons acabam negligenciados. Ainda há muitos entraves para o estabelecimento de áreas prioritárias para conservação.

Palavras-chave: riqueza, distinção taxonômica, fauna subterrânea, São Domingos, Posse, conservação.

1. Introdução

O ambiente subterrâneo pode ser definido como um complexo sistema de canais interconectados, preenchidos por ar e/ou água, que apresentam temperatura relativamente constante e próxima da média anual da região onde se insere (Howarth 1983; Juberthie 2000). A ausência permanente de luz é a sua principal característica, de modo que não há organismos fotossintetizantes como fonte de produção primária.

O aporte alimentar nestes ambientes depende principalmente de drenagens que percorrem as cavernas e transportam matéria orgânica, da água de percolação que penetra os maciços rochosos até condutos maiores, carreando matéria orgânica dissolvida, bactéria e protozoários e de fezes de animais que entram regularmente nesses ambientes (Culver 1982; Culver & Pipan 2009). Assim, em alguns casos, há grande dependência de recursos do meio epígeo (alóctones) para a manutenção da maioria das comunidades hipógeas.

No meio subterrâneo, espera-se encontrar uma fauna distinta e composta por organismos capazes de sobreviver a um regime de condições peculiares (Barr 1968). Estas características intrínsecas atuam como um filtro ambiental, de maneira que apenas parte dos táxons epígeos é capaz de colonizar e estabelecer populações hipógeas. Alguns apresentam ocorrência accidental, ao passo que outros evoluíram exclusivamente nestes ambientes, tornando-se especializados. Portanto, de acordo com seu grau de especialização e dependência do meio externo, os organismos encontrados em cavernas podem ser agrupados em três categorias ecológico-evolutivas principais.

Segundo definição recente proposta por Trajano (2012), os organismos ditos troglóbios (estigóbios para os aquáticos) formam populações fonte exclusivas de ambientes subterrâneos, podendo ser encontradas populações “dreno” no meio superficial; os troglófilos (estigófilos) incluem populações tanto em ambiente epígeo quanto subterrâneo, e muitos podem transitar entre estes habitats, o que promove a troca de genes entre populações subterrâneas e superficiais; troglógenos (estigógenos) são populações epígeas fonte, que utilizam recursos do meio hipógeo, dependendo destes para completar seus ciclos de vida. Ainda, há espécies que podem ser troglógenas sob certas circunstâncias e troglófilas em outras. Em cavernas onde há grande disponibilidade de recursos alimentares, organismos tipicamente troglógenos podem passar toda a vida no ambiente hipógeo (Holsinger & Culver 1988).

Até mesmo em grandes sistemas subterrâneos, com áreas extensas para a colonização, as distribuições de muitos táxons troglóbios são geralmente restritas, particularmente onde barreiras para a dispersão são encontradas na estrutura geológica (Barr 1968). É importante ressaltar que os troglóbios podem apresentar características morfológicas e/ou comportamentais especializados à sobrevivência no meio subterrâneo, os chamados troglomorfismos (*sensu* Holsinger & Culver 1988). Dentre os principais exemplos temos a redução ou perda de pigmentação melânica corporal e/ou órgãos visuais e alongamento de apêndices sensoriais. No entanto, há táxons que apresentam troglomorfismos e não são troglóbios. Por este motivo a determinação da categoria ecológico-evolutiva em troglóbio deve ser cautelosa, baseando-se na distribuição do grupo e em comparações entre seus exemplares epígeos e subterrâneos (Culver & Pipan 2009; Gibert et al. 2009).

Em função de apresentar condições únicas, o meio subterrâneo é considerado um sistema frágil, com elevado grau de endemismo e sensível a mudanças ambientais, principalmente com relação às alterações ocasionadas por atividades antrópicas (Culver 1986; Gibert & Deharveng 2002; Trajano & Bichuette 2006). Dentre as principais interferências humanas às cavernas brasileiras podemos ressaltar a mineração, construção de hidrelétricas, desmatamento para agropecuária e o turismo desenfreado, esta última muito intensa na área do presente estudo (Gallão 2012; Gallão & Bichuette 2012).

Para diversas cavernas de regiões temperadas há extensas listas detalhando a fauna subterrânea regional (Belles 1987; Holsinger & Culver 1988; Bole et al. 1993; Juberthie & Ginet 1994; Culver et al. 2000; Deharveng et al. 2009). No entanto, cavernas carbonáticas em zonas tropicais ainda são menos exploradas. Algumas regiões são até mesmo negligenciadas em escala global, principalmente aquelas inseridas na América do Sul, o que inclui inúmeras áreas cársticas brasileiras.

Para o Brasil, o primeiro levantamento de fauna hipógea, englobando as principais áreas cársticas, foi publicado há mais de 30 anos (Dessen et al. 1980). A partir daí, a fauna subterrânea tem sido estudada em diversas regiões do país (*sensu* Karman & Sanchez 1979, 1986), de modo que boa parte está registrada em levantamentos faunísticos mais gerais (Trajano 1987; Trajano & Gnaspini 1991; Pinto-da-Rocha 1995; Trajano 2000; Rheims & Pellegatti-Franco 2003; Trajano & Bichuette 2010). Porém, há elevada heterogeneidade entre o número de estudos focando diferentes

áreas cársticas brasileiras. Algumas são consideradas bem conhecidas como o Vale do Ribeira (SP) e Chapada Diamantina (BA); ao passo que para muitas outras áreas, o conhecimento ainda é limitado a dados preliminares de riqueza e abundância de espécies, compilados em poucas ocasiões de coleta (*e.g.* Altamira-PA; Ubajara-CE). No entanto, é importante ressaltar que, mesmo para áreas consideradas bem conhecidas, registros novos e novas espécies surgem a cada ocasião de coleta (Trajano & Bichuette 2010). Além disso, poucas abordagens foram realizadas em longo prazo, com réplicas suficientes para contemplar diferentes estações do ano. Para cavernas tropicais, a oscilação sazonal é fator de grande influência na dinâmica dos ambientes subterrâneos, por exemplo, maior quantidade de recursos alóctones pode ser carregada para o interior das cavidades nos períodos chuvosos e padrões faunísticos podem alterar-se (Trajano 2000).

O Brasil possui cerca de 10.000 cavernas cadastradas (Cadastro do CECAV) e um potencial espeleológico para mais de 100.000 (Auler et al. 2001). Assim, é notável a necessidade em se aumentar as informações sobre a biodiversidade subterrânea brasileira.

Uma das áreas contempladas no presente estudo, a região de São Domingos, possui complexos sistemas de drenagens superficiais e subterrâneas, com alto potencial de carreamento de matéria orgânica, com acúmulos de detritos em algumas cavidades. Em função disso, estas cavernas apresentam elevada riqueza tanto de táxons subterrâneos terrestres quanto aquáticos (Pinto-da-Rocha 1995, Rheims & Pelegatti-Franco 2003; Majer et al. 2003). Ainda, a região representa um *hotspot* de diversidade de peixes troglóbios, com sete espécies registradas na área (Bichuette 2003; Bichuette & Trajano 2003). No entanto, levantamentos da fauna de invertebrados subterrâneos para a região ainda são escassos, sem monitoramento sazonal e baixo ou inexistente número de réplicas para a maioria de suas cavernas (*e.g.* Rheims & Pellegatti-Franco op. cit.).

Outro problema relacionado à avaliação da diversidade da fauna de invertebrados subterrâneos no país é a falta de especialista para muitos grupos comumente encontrados nestes ambientes. O impedimento taxonômico é o principal entrave ao avanço da bioespeleologia no Brasil, já que muitos grupos ainda não são identificados no menor nível taxonômico possível, o que dificulta o conhecimento da diversidade de táxons subterrâneos (Wheeler et al. 2004; Trajano et al. 2012).

No presente trabalho, amostramos a fauna de invertebrados terrestres subterrâneos em cavernas da área cárstica do nordeste de Goiás, nas regiões dos municípios de São Domingos e Posse, por meio de coletas sistematizadas ao longo dos anos de 2010, 2011 e 2012. Comparamos a fauna destas cavidades considerando fatores como a posição geográfica, número de réplicas amostrais e distinção taxonômica das comunidades. Amostramos também o entorno de algumas cavidades, possibilitando a comparação entre a fauna epígea e subterrânea a fim de determinar suas categorias ecológico-evolutivas. Listamos a riqueza e abundância de espécies para cada caverna e região e, por fim, para a área cárstica como um todo (as duas regiões juntas), enfatizando os registros de táxons novos, raros ou troglóbios.

2. Métodos

2.1. Área de Estudo

A área cárstica a nordeste de Goiás representa uma das expressões regionais da unidade geomorfológica Bambuí, que constitui o maior conjunto de ocorrências calcárias favoráveis à presença de cavernas no Brasil, com área de aproximadamente 105.200 km² (Auler et al. 2001). Há na região cinco grandes sistemas de cavernas, com até 23 km de desenvolvimento e extenso horizonte epicárstico. Rios superficiais pertencentes à Bacia do Paranã (Alto Tocantins) penetram nos calcários após drenar uma extensa região arenítica, formando grandes sistemas de cavernas (Karmann & Setúbal 1984; Auler & Farrant 1996). Em parte destas, há afluentes superiores na zona vadosa, alimentados por águas de infiltração do epicarste.

A região de São Domingos está inserida em uma Unidade de Conservação, o Parque Estadual de Terra Ronca (PETER), criado há 17 anos, mas ainda com diversos problemas fundiários e de fiscalização, ocorrendo retirada de madeira e pisoteamento por gado próximo às nascentes dos rios. Um agravante é o fato de que as nascentes dos principais rios que atravessam os sistemas de cavernas se encontram fora do limite do Parque (Gallão & Bichuette 2012).

A região de Posse, que representa a porção mais ao sul da mesma lente calcária, se localiza a cerca de 200 km do PETER. Nessa porção, os sistemas e drenagens subterrâneas não são tão desenvolvidos quanto os de São Domingos. Além disso, nesta região, a maioria das cavernas ainda não foi mapeada e estudada quanto à biologia.

Assim, todas as cavernas de Posseabordadas neste estudo ainda não estão mapeadas, exceto o Sistema Russão, que se encontra em fase de mapeamento com um desenvolvimento estimado de, no mínimo, 3000 metros (E. Igual, com. pess.).

Estas duas regiões estão inseridas no Domínio morfoclimático dos Cerrados (Ab'Saber 1977), com estação seca entre maio e setembro, às vezes se estendendo até outubro (Nimer 1979). O regime de chuvas é caracterizado por enxurradas nos períodos mais chuvosos (outubro a março), que transportam grande quantidade de matéria orgânica para o interior das cavernas.

2.2. Amostragem da fauna de invertebrados subterrâneos

As coletas da fauna de invertebrados subterrâneos foram realizadas em seis ocasiões, contemplando tanto estações chuvosas quanto secas: abril de 2010; abril e outubro de 2011; fevereiro, junho e outubro de 2012. Amostramos as cavernas principalmente por meio de busca ativa em todos os micro-habitats potenciais, como acúmulos de folhiço, troncos, depósitos de guano, espaços sob rochas, entre outros, onde os indivíduos eram coletados com auxílio de pinças e pincéis e imediatamente fixados em álcool 70%.

As cavernas em estudo pertencem a duas regiões inseridas na mesma área cárstica: região de São Domingos, na qual amostramos os sistemas de cavernas Angélica, Bezerra, Passa Três, Pau Pombo, São Bernardo, São Mateus, Terra Ronca I, Terra Ronca II e região de Posse, representada pelas cavernas Doralino I e II, Lapa Nova Esperança, Região de Bombas, Sistema Russão e Revolucionários (Figura 1). A região de Posse não faz parte da reserva do PETER, mas também se insere na unidade geomorfológica Bambuí, mais ao sul da lente calcária.

Figura 1.

Em duas das localidades (cavernas Angélica e Terra Ronca II) utilizamos também o método dos quadrados para as amostragens, com área de 0,25 m². Na Caverna Angélica, para as bases próximas à zona de entrada, os quadrados foram arremessados de maneira aleatória ao longo de uma linha imaginária que percorreu parte do diâmetro da boca da caverna (cerca de 20m), incluindo o leito do rio Angélica, o qual a atravessa. No caso das demais bases, os quadrados foram arremessados, também de modo aleatório, em uma área equivalente ao raio do salão onde esta estava inserida. Na Caverna Terra Ronca II, os quadrados foram utilizados ao longo de todo o trecho

percorrido na cavidade, em sua maior parte linear, e lançados próximos às margens do rio e em bancos de areia e cascalho. Nas zonas mais profundas da caverna, os quadrados também foram dispostos aleatoriamente em área equivalente ao raio do salão.

De modo a padronizar o esforço de coleta, estabelecemos um tempo de busca de 10 a 15 minutos em cada quadrado, variando de acordo com o grau de complexidade do substrato. A intenção do uso deste método complementar foi comparar a eficiência de captura entre as amostragens realizadas unicamente por busca ativa, mais comumente utilizada em estudos de fauna cavernícola, com aquelas por métodos combinados.

Ainda, para fins comparativos, realizamos coletas de fauna epígea no entorno das cavernas Angélica, Terra Ronca I e Terra Ronca II, Sistema Russão e na localidade Grotão da Onça. Nestes trechos epígeos, vasculhamos áreas de acúmulos de folhço, troncos de árvores, troncos caídos e retiramos porções do solo e serapilheira para análise mais acurada em laboratório.

Amostramos cada localidade diferentemente quanto ao número de visitas, variando de uma até seis ocasiões. A caverna Angélica foia única localidade monitorada em todas as seis viagens. Todas as coordenadas geográficas foram obtidas em campo, por meio de aparelhagem de georreferenciamento (GPS Garmin, modelo Map 60CSx) (Tabela 1).

Tabela 1.

Posteriormente, morfotipamos os organismos capturados no Laboratório de Estudos Subterrâneos (LES) da UFSCar. Os menores níveis taxômicos possíveis para as identificações foram obtidos utilizando-se literatura específica (Borror & DeLong 1969; Brescovit et al. 2002; Zeppelini & Bellini 2004; Rafael et al. 2012). Além disso, parte do material foi enviada aos especialistas de diversos grupos para a confirmação e identificação: Araneae – Dr. Antonio Brescovit (Instituto Butantan); Acari – Dr. Jeferson L. C. Mineiro (Intituto Biológico – Campinas); Coleoptera Carabidae – Dra. Regina Bessi (USP/São Paulo); Coleoptera Staphylinidae – Dr. Edilson Caron (UFPR); Diptera – Dra. Rafaela Lopes Falaschi (USP/Ribeirão Preto); Hemiptera – Dr. Felipe Moreira (UFRJ, Fio Cruz) e Dr. Helcio Gil-Santana, especialista em Reduviidae; Orthoptera – Dr. Márcio Bolfarini (Laboratório de Entomologia – Unesp/Botucatu); Collembola – Dr. Douglas Zeppelini (UEPB). Quando a identificação não atingiu o nível de espécie, utilizamos hierarquias superiores e os classificamos em seus morfotipos, constituindo, portanto, categorias taxonômicas confiáveis. Indivíduos

imaturos que não puderam ser claramente identificados com base nos exemplares adultos foram excluídos das análises.

Ao longo do trabalho, utilizaremos as seguintes abreviações: SD=região de São Domingos, Po=região de Posse e Total= as duas regiões juntas, representando a área cárstica como um todo. Para as cavernas, as abreviações utilizadas serão: Ang= Angélica, Bez= Bezerra, PPom= Pau Pombo, PTres= Passa Três, SBer= São Bernardo, SMat= São Mateus, TR_I= Terra Ronca I, TR_II= Terra Ronca II, pertencentes a São Domingos; Bom= Bombas, Dor= Doralino I e II, NEsp= Nova Esperança, Rev= Revolucionários, Rus= Russão, região de Posse.

2.3. Análises dos dados

Por meio de curva de rarefação, foi possível verificar a adição de espécies em função do aumento do número de amostragens tanto para as cavernas da região de São Domingos quanto para a área cárstica como um todo (cavernas de São Domingos e Posse juntas). Amostramos a região de Posse em apenas duas ocasiões de coleta, deste modo, não foi possível a construção da curva para estas cavernas isoladamente.

A seguir, listamos todos os táxons registrados em cada caverna e região em estudo, enfatizando os registros de táxons novos, raros e/ou troglomórficos. (Apêndice 1). Além disso, definimos as categorias ecológico-evolutivas dos táxons mais conhecidos, com destaque para os registros de espécies troglóbias. Do mesmo modo, a listagem da fauna epígea coletada no entorno de algumas cavidades é apresentada no Apêndice 2.

Utilizamos os estimadores de riqueza *Jackknife 1* e *2*, *Chao 2* e *Bootstrap* (Colwell & Coddington 1994), para comparar as riquezas observadas e estimadas para a região de São Domingos e Posse e para a área cárstica como um todo. Estas estimativas foram efetuadas por meio do programa R (versão 2.15.1).

Para verificar a composição dos táxons registrados em cada região e na área cárstica total, construímos gráficos de riqueza e abundância relativas para os grupos mais representativos. A seguir, calculamos as riquezas, os índices de Equitabilidade, Diversidade *Shannon-Wiener* (H') e o de *Simpson* (1-D) (Krebs 1999) separadamente para cada caverna e para cada região, exceto para a Caverna Angélica, devido a discrepante diferença do número de amostragens entre a ela (seis ocasiões) e as demais (uma ou duas ocasiões).

Posteriormente, investigamos a similaridade faunística entre todas as cavernas da área cárstica por meio de análise de agrupamento baseada no índice de *Sorensen* (Wolda 1981), gerando um dendrograma.

Por fim, verificamos a distinção taxonômica entre elas por meio do índice *Taxonomic Distinctness* (Δ^*) (Warwick & Clarke 1995), efetuada por meio do programa R (versão 2.15.1).

As curvas de rarefação de espécie, o cálculo de índices de Equitabilidade, Diversidade *Shannon-Wiener* (H') e o de *Simpson* (1-D), bem como a análise de similaridades faunísticas foram realizados pelo Programa PAST (versão 2.13) (Hammer et al. 2001).

3. Resultados

As curvas de rarefação de amostragens para as cavernas da região de São Domingos e para as cavernas das duas regiões juntas (área cárstica total) não atingiram suas assíntotas, mesmo com um esforço de seis ocasiões de coleta (Figura 2). Para ambas, a estabilização das curvas está longe de ser atingida.

Figura 2.

Para as amostras pertencentes às duas regiões, registramos 2241 invertebrados, pertencentes a 450 morfoespécies, 124 famílias, 37 ordens e nove classes (Apêndice 1). A classe com o maior riqueza de táxons foi Insecta (249; 52%), seguida por Arachnida (163; 33%), Entognatha (14; 3%), Diplopoda (6; 1%), Chilopoda (6; 1%), Malacostraca (6; 1%), Gastropoda (2), Clitellata (2), Symphyla (1) e filo Nematoda (1). Cada um destes quatro últimos grupos representou menos de 1% do total.

Considerando apenas as amostras da região de São Domingos, registramos 1777 invertebrados, pertencentes a 385 morfoespécies, 106 famílias, 35 ordens e nove classes. A classe com o maior riqueza de táxons foi Insecta (213; 55%), seguida por Arachnida (137; 35%), Entognatha (12; 3%), Diplopoda (6; 2%), Chilopoda (6; 2%), Malacostraca (5; 1%), Clitellata (2), Gastropoda (2), Symphyla (1) e filo Nematoda (1). Cada um destes quatro últimos grupos representou menos de 1% do total.

Para a região de Posse, registramos 464 invertebrados, pertencentes a 145 morfoespécies, 58 famílias, 24 ordens e nove classes. A classe com o maior riqueza de táxons foi Insecta (81 táxons; 56%), seguida por Arachnida (49; 34%), Entognatha (5;

3%), Diplopoda (3; 2%), Malacostraca (2; 1%), Chilopoda (1), Symphyla (1), Gatropoda (1), Clitellata (1). Cada um destes quatro últimos grupos representou menos de 1% do total.

De todas as 124 famílias identificadas na área total, 62 pertencem a Insecta e 49 a Arachnida, o que significa que somente estas duas classes juntas representam 89% do total de famílias. Destas 49 famílias de Arachnida, 30 representam morfoespécies de aranhas (61%), seis de pseudoescorpiões (12%), cinco de opiliões (10%), cinco de ácaros (10%), uma de ambliopígeo, uma de escorpião e uma de Schizomida (2% cada). As abundâncias dos principais táxons de aracnídeos, na área total e para cada região, são descritas na Figura 3.

Figura 3.

Das 28 famílias de aranhas registradas na região de São Domingos, 25 pertencem a subordem Araneomorphae, das quais as mais abundantes foram: Pholcidae (79), Theridiosomatidae (57), Sicariidae (55), Theridiidae (50), Scytodidae (25), Ctenidae (22), Araneidae (16), Oonopidae (13) e Tetragnathidae (12). A subordem Mygalomorphae foi representada por três famílias: Dipluridae (1), Idiopidae (1), e Theraphosidae (2), além de uma de família não identificada. Na região de Posse, 10 das 11 famílias identificadas pertencem à subordem Araneomorphae, das quais as mais abundantes foram: Pholcidae (31), Sicariidae (26), Ctenidae (21), Theridiosomatidae (19), Theridiidae (17), Araneidae (16) e Nesticidae (5). A subordem Mygalomorphae foi representada apenas por Dipluridae (2) (Figura 4).

Figura 4.

A família Pholcidae não só apresentou a maior abundância de indivíduos nas duas regiões, como elevada riqueza para a área cárstica total (oito espécies), pertencentes a pelo menos três gêneros: *Ibotyporanga*(1), *Leptopholcus*(1) e *Mesobolivar*(2), além de uma espécie da subfamília Ninetinae (1) e três não identificadas. Na sequência, as três outras famílias mais abundantes na área (Theridiosomatidae, Sicariidae e Theridiidae) são representantes de famílias mais comumente encontradas em ambientes cavernícolas desta e de muitas áreas cársticas carbonáticas brasileiras. (Pinto-da-Rocha 1995).

Algumas famílias ocorreram em apenas uma das regiões, como o caso de Anapidae, Caponiidae, Corinnidae, Filistatidae, Lycosidae, Mysmenidae, Oonopidae, Palpimanidae, Salticidae, Scytodidae, Segestriidae, Selenopidae, Symphytognathidae,

Thomisidae, Trechaleidae, Uloboridae e Zodariidae (São Domingos) e Nesticidae, Pisauridae (Posse).

As ordens de Insecta com as maiores riquezas totais foram Coleoptera (96), Diptera (45), Hemiptera (30), Hymenoptera (20), Orthoptera (12) e Blattaria (10) e Trichoptera (9). A sequência destas ordens foi muito semelhante com relação às suas abundâncias no total de amostras: Coleoptera (463), Diptera (191), Blattaria (108), Hemiptera (93), Hymenoptera (74), Orthoptera (72) e Trichoptera (62). Descrevemos também as abundâncias destas ordens em cada região (Figura 5).

Figura 5.

As ordens de insetos com maior riqueza de famílias na área total foram: Coleoptera (16), Diptera (14), Hemiptera (7) e Trichoptera (5). Estas famílias estão distribuídas entre as duas regiões da seguinte maneira: coleópteros, 14 famílias em São Domingos e sete em Posse; dípteros, 11 famílias em cada uma das regiões; hemípteros, seis em São Domingos e quatro em Posse; tricópteros, três famílias em cada região. A Figura 6 ilustra a abundância relativa dos indivíduos de cada família dentre estas ordens. Como demonstrado pelos gráficos, observamos registros similares de famílias entre as duas regiões, porém há também famílias registradas em apenas uma delas.

Figura 6.

Os quatro estimadores de riqueza utilizados apresentaram diferenças no número de espécies estimadas para cada uma das regiões e para a área total. As estimativas foram sempre maiores pelos métodos *Chao 2* e *Jackknife 2* e menores pelo *Bootstrap*. Além disso, para todos os estimadores, a riqueza observada foi sempre muito menor que a estimada (Tabela 2). Todos os métodos são baseados em incidência e utilizam o número de *uniques* e *duplicates*, que são o número de espécies encontradas em somente uma ou duas amostras, respectivamente (Colwell & Coddington 1994).

Tabela 2.

Para a região de São Domingos, a Caverna Terra Ronca II mostrou as maiores riquezas e abundâncias (106 e 298, respectivamente), além dos valores mais altos de diversidade de *Shannon* ($H' = 4,135$) e *Simpson* ($1-D = 0,9738$). A menor riqueza foi registrada na Gruta do Pau Pombo (12), bem como maior Equitabilidade ($J = 0,9282$) e menores diversidades de *Shannon* e *Simpson* ($H' = 2,306$ e $1-D = 0,8847$). Por fim, verificamos a menor Equitabilidade da região na caverna Passa Três ($J = 0,8715$).

Na região de Posse, a Caverna Doralino I e II foi a mais rica e abundante (50 e 133, respectivamente), apresentando também a menor Equitabilidade ($J=0,8709$). O sistema Russão aparece com as maiores diversidades de *Shannon* ($H'=3,47$) e de *Simpson* ($1-D=0,9512$) e Equitabilidade ($J=0,9117$). A Lapa Nova Esperança foi a localidade com menor riqueza e abundância (19 e 45, respectivamente) e diversidade de *Simpson* ($1-D=0,9116$). Observamos o menor índice de diversidade de *Shannon* para a Caverna Bombas ($H'=2,92$).

Ainda, verificamos os índices de diversidade de *Shannon* e *Simpson* ($H'=5,385$ e $1-D=0,9919$) e Equitabilidade ($J=0,8838$) para a área total. Todos os valores mencionados podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3.

De acordo com o índice de *Sorensen*, há uma reduzida similaridade faunística entre as cavernas ($S=0,08$), como pode ser observado no dendrograma de agrupamento gerado (Figura 7).

Figura 7.

Por meio da análise de distinção taxonômica (*Taxonomic Distinctness*), observamos que as cavernas São Bernardo e Revolucionários mostraram as maiores distinções taxonômicas ($\Delta^*=72.285$ e 71.340 , respectivamente) e se situaram acima dos limites do intervalo de confiança. A caverna Passa Três apresentou o menor valor ($\Delta^*=65.621$), seguida por Terra Ronca II, Angélica e Russão, todas com valores abaixo da média estimada, mas dentro do intervalo de confiança. As demais cavernas apresentaram valores muito similares e próximos à média (Figuras 8 e 9).

Figura 8.

Figura 9.

3.1. Novos registros e táxons relevantes

Alguns organismos coletados apresentam ocorrência rara e/ou características troglomórficas, como pigmentação corporal reduzida, ausência ou redução de olhos, alongamentos de apêndices, entre outras. Além disso, houve registro de espécies novas e distribuições ampliadas para táxons já conhecidos. Destacamos estes registros, bem como suas respectivas localidades de ocorrência, na tabela de listagem de fauna do Apêndice 1. Quando possível, os classificamos também quanto suas categorias ecológico-evolutivas em troglófilos, troglóbios ou acidentais (além

daqueles considerados possíveis troglófilos e/ou troglóbios). A seguir, apresentamos uma breve descrição destes principais registros. Para melhor entendimento de suas ocorrências, as informações abaixo devem ser complementadas pelos dados contidos no Apêndice 1.

Identificamos nove troglóbios em nossas amostras, representados pelos seguintes grupos: Opiliones (1): Gonyleptidae - Pachylinae - *Eusarcus* sp.; Pseudoscorpiones (3): Chernetidae – *Spelaeochnes* sp., *Spelaeochnes eleonora* e *Spelaeochnes pedroi*; Schizomida cf. Hubbardiidae indeterminado (1); Collembola (1): Paronellidae - *Trogolaphysa* sp.; Coleoptera (1): Staphylinidae – Pselaphinae indeterminado; Malacostraca - Isopoda (2): Dubioniscidae – sp. 1 e cf. Styloniscidae - sp. 1. Vale ressaltar a captura de nove indivíduos da ordem Schizomida em duas cavernas de São Domingos (Terra Ronca I e II), táxon nunca antes coletado em cavernas da região ou para seu entorno epígeo.

Além destes, observamos seis espécies possíveis troglóbias: Pseudoscorpiones (2): Chthoniidae - sp. 5 e Olpiidae – *Progarypus* sp; Scolopendromorpha (1): Scolopendridae - Cryptopinae; Polydesmida (1): Onicodesmidae indeterminado; Collembola (2): Cyphoderidae indeterminado e Entomobryiidae - sp. 2. Registramos os opiliões *Paecilema* sp. n., família Cosmetidae, espécie nova que se encontra em fase de descrição (R. Pinto-da-Rocha, com. pess.) distribuídos na maioria das cavernas. As espécies troglófilas pertencentes às famílias Cosmetidae, Stygidae e Gonyleptidae são as mais comuns e há várias ocorrências para os estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Goiás e Pará (Pinto-da-Rocha 1993; Pinto-da-Rocha 1995), e também as mais registradas em nossas amostragens.

No caso das espécies troglófilas, devemos destacar as aranhas da família Pholcidae, para a qual registramos elevada riqueza (oito espécies). Esta família é muito comum na área cárstica, com grandes abundâncias já registradas principalmente para o gênero *Mesabolivar*, também dominantes em nossas amostras (Trajano & Gnaspini-Netto 1991; Gnaspini & Trajano 1994; Horta & Moura 1996). Além deste, registramos outros dois gêneros para a família, *Ibotyporanga* (Terra Ronca II) e *Leptopholcus* (Doralino I e II).

Dentre todas as aranhas registradas, encontramos espécies novas para as famílias Pholcidae - *Mesabolivar* sp. 1 e Sicariidae – *Loxosceles* sp. 1 e sp. 11, além de possíveis espécies novas dentre as famílias Ctenidae e Theridiosomatidae (*Isoctenus* sp. 1 e sp. 2;

Plato sp. 1 e sp. 2) (A. Brescovit, com. pess.). Vale destacar que as espécies novas *Mesabolivar* sp. 1 e *Loxosceles* sp. 1 ocorreram apenas nas cavernas São Bernardo e Angélica, respectivamente. Do mesmo modo, as possíveis espécies novas do gênero *Isoctenus* ocorreram apenas na caverna Revolucionários. A espécie *Scytodes eleonora*, família Scytodidae, é um registro raro, com sua ocorrência anteriormente descrita apenas para as cavernas Angélica, Passa Três e São Bernardo (Rheims & Brescovit 2001; Rheims & Pellegatti-Franco 2003). No presente estudo, verificamos ocorrência da espécie nas cavernas Angélica e Bezerra, ou seja, a sua distribuição na área cárstica foi ampliada.

Ainda dentre os aracnídeos, em uma única ocasião de coleta na Gruta dos Revolucionários (região de Posse), foi coletada uma espécie nova do gênero *Tityus*, família Buthidae. É interessante destacar que, até o momento, não há registros de qualquer espécie de escorpião para as cavernas do PETER, inseridas na mesma lente calcária. Para a ordem dos Pseudoscorpiones identificamos elevada riqueza de famílias na área total (6), das quais três espécies são troglóbias, como anteriormente mencionado. Ademais, para a família Olpiidae, observamos uma espécie possivelmente troglófila (Olpiidae sp. 2), já que houve registros de indivíduos tanto no meio epígeo quanto em uma caverna de Posse (Sistema Russão). Ainda, identificamos dois indivíduos troglomórficos, um pertencente à família Olpiidae (*Progarypus* sp.) e outro à Chtoniidae (sp. 5), com ocorrência somente na Caverna Angélica. Além destes, podemos destacar o registro de uma espécie da família Cheiridiidae, também com ocorrência restrita a Caverna Angélica. Trata-se provavelmente de uma espécie nova, uma vez que há apenas quatro espécies descritas para o Brasil, uma para o estado do Espírito Santo, uma na Bahia e duas na região amazônica (Harvey 2011).

Dentre os miriápodes diplópodes da ordem Spirostreptida, houve registros da espécie troglófila *Pseudonannolene imbirensis*, família Pseudonannolenidae, cuja ocorrência já é descrita para esta e muitas outras áreas cársticas (Trajano 1987, Pinto-da-Rocha 1995, Rheims & Pellegatti-Franco 2003), além de uma possível espécie nova da mesma família. A ordem Polydesmida geralmente apresenta maior diversidade de famílias em cavernas e muitos delas possuem representantes troglófilos (Trajano & Gnaspini 1991). Em nossas amostras, registramos um indivíduo da família Onicodesmidae, possível espécie troglóbia, endêmico a caverna Terra Ronca II. Ao contrário dos Diplopoda, os Chilopoda são raramente observados em cavernas (Trajano

& Gnaspini op. cit.). No entanto, identificamos elevada riqueza de espécies para o grupo (9), dentre elas a espécie troglófila *Pselliodes* sp., família Psellioididae (Ordem Scutigeromorpha).

Para os insetos, encontramos duas novas espécies de ortópteros da família Phalangopsidae, gênero *Endecous*. A primeira ocorre em quatro localidades distintas (uma caverna de São Domingos e três de Posse) e a segunda apenas na Caverna Bombas (região de Posse), não havendo sobreposição de suas ocorrências.

Considerando a ordem Coleoptera, as famílias Carabidae e Staphylinidae foram as mais representativas, com as maiores abundâncias e riquezas, respectivamente. Para os carabídeos, observamos elevada abundância de indivíduos do gênero *Paratachys*, para o qual registramos duas espécies distintas, uma muito mais abundante que a outra. Além disso, houve registro de pelo menos outros seis gêneros nesta família. Em contrapartida, o gênero *Polyderis*, já encontrado na região de São Domingos (Gnaspini & Trajano 1994) apresentou ocorrência e abundância muito menores em nossas amostras (apenas dois indivíduos, cada um em apenas uma caverna). Para a família Staphylinidae, há pelo menos oito subfamílias e cinco gêneros confirmados, além de uma espécie nova e troglóbia pertencente à subfamília Pselaphinae.

Durante a coleta no entorno epígeo da Caverna Angélica, encontramos um indivíduo da classe Onychophora, família Peripatidae, que certamente será descrito como espécie nova do gênero *Epiperipatus* (C. Sampaio, com. pess.). Vale lembrar que os únicos registros anteriores desta classe no estado de Goiás pertencem à espécie *Peripatus evelinae*, com ocorrência no sistema São Mateus, região de São Domingos (Dessen et al. 1980). Além disso, coletamos uma espécie indeterminada de ortóptero no entorno epígeo da Caverna Terra Ronca I, pertencente a um provável gênero novo da família Phalangopsidae (M. Bolfarini, com. pess.).

Alguns exemplos citados acima, bem como outros táxons presentes nesta área cárstica, são ilustrados no Apêndice 3.

4. Discussão

Nossos dados evidenciam a elevada riqueza de táxons para as regiões de São Domingos e Posse e, conseqüentemente, para toda a área cárstica do nordeste de Goiás. Os organismos registrados correspondem aos táxons geralmente presentes em cavernas

calcárias nesta e em outras áreas cársticas brasileiras (Trajano 1987, Trajano 1994 e Pinto-da-Rocha 1995). Ainda que o esforço de coleta para a maioria das cavernas tenha se limitado a uma ou duas ocasiões de coleta, os valores de riqueza, abundância e índices de diversidades obtidos evidenciam o grande potencial para descobertas.

As curvas de rarefação de amostragens não atingiram suas assíntotas, ou seja, a riqueza de espécies tanto para as cavernas da região de São Domingos quanto para a área cárstica total ainda pode aumentar significativamente em futuras amostragens. O mesmo foi indicado pelos estimadores de riqueza. Os resultados de cada estimador diferiram quanto ao número de espécies estimadas e foram sempre maiores pelos métodos *Chao 2* e *Jackknife 2*. Em todos os casos, a riqueza observada foi muito menor que a estimada, o que corrobora o observado nas curvas de rarefação. Os estimadores *Chao 2*, *Jackknife 2* e *1*, nesta sequência, são os menos enviesados e com a melhor performance em comunidades compostas predominantemente por espécies com baixas abundâncias (Colwell & Coddington 1994), que é o caso de nossas amostras. Assim, mesmo com um esforço de seis ocasiões de coleta sistematizadas ao longo de três anos de estudo, não pudemos acessar a maior parte da fauna prevista para esta área.

Dentre os organismos registrados, destacamos a ocorrência de oito espécies novas (desconsiderando-se quatro possíveis espécies novas e muitas indeterminadas) e nove troglóbias, além de endemismo para algumas espécies. No caso das aranhas, a família Pholcidae não só apresentou a maior abundância de indivíduos nas duas regiões, como também elevada riqueza de espécies para a área cárstica total, pertencentes a pelo menos três gêneros, com destaque para *Mesabolivar*. De fato, o gênero é o mais abundante nas cavernas de São Domingos e provavelmente o mais abundante em cavernas de todo o Brasil (Rheims & Pellegatti-Franco 2003). No entanto, a ocorrência de outros dois gêneros, além de espécies não identificadas para esta família, revela uma riqueza superior ao até então encontrado para as cavernas desta área.

A baixa abundância de ácaros verificadas em nossas amostras deve estar relacionada tanto ao método de amostragem como a disponibilidade de habitats. Os ácaros geralmente são encontrados em maior abundância no solo, nas porções superficiais orgânicas e nos primeiros centímetros da porção predominantemente inorgânica subjacente (Moraes & Flechtmann 2008). As cavernas amostradas não possuem grande quantidade de depósitos de guano, que geralmente estão reduzidos a manchas esparsas, já que as colônias de morcegos nesta região possuem hábitos mais

itinerantes e também foram afastadas pelo turismo não regulamentado. Estes depósitos são um dos principais habitats destes organismos em cavernas brasileiras (Trajano & Gnaspini 1991; Ferreira & Pompeu 1997; Gnaspini & Trajano 2000).

Estudos sobre a diversidade de ácaros no Brasil ainda são escassos, realizados apenas em algumas cavernas do Vale do Ribeira e de Minas Gerais (Bernardi et al. 2009, 2010; Hernandez et al. 2011), devido principalmente à dificuldade de identificação. O mesmo problema ocorre para outros organismos menores como, por exemplo, os colêmbolos, isópodes e pseudoescorpiões.

Registramos elevada riqueza de espécies de colêmbolos, das quais uma é troglóbia e nova (*Trogolaphysa* sp.) e outra possivelmente troglóbia (Entomobryiidae sp.2), além de quatro espécies indeterminadas que provavelmente serão novas (D. Zeppelini, com. pess.). A ordem Collembola é a segunda mais rica em representantes troglóbios no Brasil (13 espécies), atrás apenas dos peixes Siluriformes (17 espécies entre bagres e cascudos) (Gallão 2012). A falta de especialistas do grupo e seu reduzido tamanho corporal eleva a dificuldade de identificação a níveis específicos. Além disso, a maioria das espécies de colêmbolos epígeos é despigmentada, o que pode gerar dúvidas no reconhecimento de troglomorfismos, bem como a classificação de muitas espécies com relação às suas categorias ecológico-evolutivas.

Algumas famílias de isópodes são bem distribuídas em diferentes áreas cársticas, como é o caso de Platyarthridae e Styloniscidae, encontrados em cavernas de Minas Gerais, Bahia e Vale do Ribeira (Trajano & Bichuette 2010). Para as cavernas em estudo, observamos elevada riqueza do táxon, com indivíduos pertencentes às famílias Armadillidae, Dubioniscidae, Platyarthridae e Styloniscidae. Interessante destacar que coletamos apenas uma espécie da família Styloniscidae, identificada como troglóbia e provavelmente nova. Esta família é frequentemente registrada na província espeleologia do Bambuí (Trajano & Gnaspini 1991), ao passo que o registro da família Dubioniscidae é novo na região e esta foi representada por duas espécies, uma delas nova e troglóbia (Souza, L. comm. pess.). Além destas, encontramos duas espécies troglófilas da família Platyarthridae com ocorrência exclusiva em uma localidade, uma delas na Caverna São Bernardo e outra na Caverna Terra Ronca II. Devido ao elevado grau de diferenciação morfológica verificada para o grupo, é provável que mais táxons sejam considerados troglóbios após sua identificação em nível de espécie.

Ressaltamos a captura de nove indivíduos da ordem Schizomida (provável família Hubbardiidae) em duas cavernas de São Domingos, táxon nunca antes coletado em cavernas ou no meio epígeo de Goiás e na formação Bambuí como um todo. No Brasil, apenas 14 espécies de Schizomida foram descritas até o momento e, este grupo somente era conhecido para a região amazônica e floresta atlântica costeira (Santos et al. 2008; Santos & Pinto-da-Rocha 2009; Armas 2010). A espécie é nova e mostrou-se endêmica para as cavernas Terra Ronca I e Terra Ronca II, que são sistemas conectados e percorridos pelo mesmo rio, o Rio da Lapa.

Em geral, escorpiões são raros em cavernas brasileiras, tendo sido observados principalmente no Nordeste e Amazônia (Trajano & Gnaspini 1991). No entanto, encontramos uma espécie nova do gênero *Tytius*, família Buthidae, apenas na Caverna Revolucionários, região de Posse. Aparentemente há uma população bem estabelecida, já que avistamos 15 indivíduos em uma única ocasião de coleta. Este registro, bem como os registros da ordem Schizomida, podem alterar os padrões de distribuição destes aracnídeos no território brasileiro.

As famílias de coleópteros que merecem destaque são Carabidae e Staphylinidae, que apresentaram as maiores riquezas da ordem, concentradas principalmente em substratos com acúmulo de matéria orgânica e/ou maior umidade, como leitos de rios e depósitos de folhiço. Estes são organismos típicos de várias províncias espeleológicas brasileiras (Trajano 1987; Trajano & Gnaspini 1991; Pinto-da-Rocha 1995). As larvas de alguns coleópteros que habitam os ambientes ripários das cavidades são muito importantes para transferência de energia destes depósitos orgânicos (folhiço, principalmente) para o restante da cavidade. Ao contrário, as larvas de Tenebrionidae, família pouco registrada em nossas amostras, precisam de ambiente mais seco para seu desenvolvimento. Esta família ocorre mais frequentemente em ambientes mais secos e em locais onde há depósitos de guano e/ou madeira trazida do meio externo (Gnaspini-Netto 1989; Trajano & Gnaspini 1991). Devemos destacar a ausência de carabídeos fossoriais em nossas amostras. Estes organismos alojam-se nos primeiros centímetros de sedimento, assim, é provável que o método de coleta tenha limitado o acesso a esta fauna, já que a amostragem manual concentra-se nas porções superficiais do solo. Ainda, esta ausência pode ser resultado das condições do ambiente epígeo (sem florestas, com pequena ou nenhuma camada de solo - *bare karst*) (R. Bessi, com. pess.).

Destacamos o registro de duas novas espécies de ortópteros do gênero *Endecous*. Além de novas, estas espécies não ocorreram juntas. Registramos a primeira em quatro localidades distintas (uma caverna de São Domingos e três de Posse) e a segunda apenas na Caverna Bombas (região de Posse), não havendo sobreposição entre elas. Caso este padrão de distribuição se mantenha com o aumento de amostragens, poderemos inferir que estas espécies se excluem competitivamente ou ainda, que nunca ocorreram juntas. Algo similar foi verificado para os grilos troglófilos dos gêneros *Endecous* e *Eidmanacris* em algumas regiões de Intervalles, Vale do Ribeira (Trajano & Gnaspini 1991). Estes autores constataram que *Endecous* seria mais eficiente na colonização do meio subterrâneo, de modo que os dois gêneros raramente ocorrem juntos.

De maneira geral, todas as cavernas apresentaram índices de diversidade semelhantes e muito relacionados ao número de amostragens. As cavernas Pau Pombo e Passa Três mostraram os menores índices de diversidade da região de São Domingos. Porém, amostramos a Caverna Passa Três após um período de chuvas muito intenso que certamente proporcionou um distúrbio a comunidade. É provável que parte da fauna tenha sido arrastada por enxurradas, o que reduziu as possibilidades de amostragem e resultou em baixa riqueza e diversidade de táxons registrados. No caso da caverna Pau Pombo, os baixos valores podem ser explicados pela pequena extensão percorrida em relação às demais cavernas, além da cavidade ser formada por condutos secos e com muitas aberturas para o meio epígeo (clarabóias), o que promove maior instabilidade ambiental. Para as cavernas Angélica e Terra Ronca II, amostradas tanto por meio de busca visual quanto pelo método dos quadrados, houve maior riqueza e abundância de espécies. Dentre estas, os valores obtidos para a Caverna Terra Ronca II podem ser diretamente comparados às demais, já que o esforço amostral foi semelhante.

A coleta manual por busca ativa é muito utilizada e considerada um método eficiente, porém seu uso isolado pode negligenciar parte da fauna. Isto ocorre, pois neste caso, a captura de organismos depende principalmente da habilidade e acuidade visual do coletor, de modo que táxons diminutos são inevitavelmente menos amostrados. Além disso, há espécies mais ou menos ativas em diferentes períodos do dia, o que pode enviesar estimativas de presença e ausência em localidades. O uso combinado de distintos métodos de amostragens é recomendado para o acesso da riqueza de uma

região, já que potencializa as chances de que a fauna inconspícua seja igualmente contemplada (Culver 1982; Culver & Pipan 2009).

O uso do método dos quadrados não é comum em meio subterrâneo, pois há necessidade de adequação da unidade amostral às diferentes formações e terrenos irregulares. No entanto, constatamos sua eficiência em nossas amostragens, já que o método potencializou o acesso à fauna das cavernas onde o utilizamos. Do mesmo modo, Sharrat e colaboradores (2000), estudando cavernas da África do Sul, encontraram um elevado número de espécies endêmicas e troglóbias por meio de amostragens combinadas de busca visual e método dos quadrados.

A coleta acurada promovida pela delimitação de quadrados, nos quais o coletor explora cuidadosamente todos os seus componentes, garante a inspeção de mais habitats e nichos potenciais, que podem abrigar maior diversidade de espécies. De fato, a caverna Terra Ronca II mostrou a maior diversidade de espécies dentre as cavernas, mesmo aquelas com o mesmo número de amostragens. No entanto, este método só foi eficiente para potencializar a coleta da riqueza de espécies, mas não para as abundâncias, já que a maioria dos táxons registrados foi representada por menos de 10 indivíduos. A abundância de indivíduos deve aumentar com a coleta de porções do solo e depósitos orgânicos para triagem em armadilha do tipo *Winkler*, já que para organismos diminutos a captura manual é trabalhosa e extremamente limitada pelo senso de observação do coletor.

É importante lembrar que amostramos todas as cavernas da região de Posse em apenas uma ocasião, ao passo que para a região de São Domingos houve ao menos duas amostragens em cada localidade (com exceção das Grutas Pau Pombo e Passa Três). Assim, comparando as abundâncias de espécies obtidas proporcionalmente para cada região, observamos os maiores valores para Posse. Ainda que as cavernas de São Domingos estejam inseridas em área de proteção legal (PETER), é grande o fluxo de turistas na região e, muitas vezes, não há fiscalização adequada destas atividades. Deste modo, o impacto causado por visitas excessivas pode estar afetando estas comunidades subterrâneas.

A maior parte da fauna presente nas duas regiões possui composição similar, mas houve também registros de vários táxons exclusivos a apenas uma delas. Ainda que estas cavernas estejam inseridas em uma mesma lente calcária, há inúmeras outras variáveis capazes de regular a ocorrência de táxons, tais como a qualidade do ambiente

de entorno e seus sistemas de drenagens; o número e dimensão de entradas, interações entre espécies, geomorfologia local, impactos provenientes de atividades antrópicas, entre outras (Howarth 1983; Elliot & Ashley 2005; Sket 1999).

Comparando os registros de fauna epígea aos subterrâneos, observamos que há grupos exclusivos a um ambiente, enquanto outros ocorreram em ambos. Tal observação é um indício importante para a classificação dos táxons quanto a sua categoria ecológico-evolutiva. A incorporação de coletas no meio epígeo do entorno das cavernas deve ser parte indispensável da metodologia de estudo de ambientes subterrâneos. É comum que o pesquisador direcione seu esforço à realização de coletas no interior de cavernas e zonas de entrada, negligenciando o meio superficial adjacente. Porém, isto dificulta o reconhecimento de padrões de distribuição e origem de comunidades hipógeas, e seu grau de parentesco (quando ele existe) com populações epígeas.

Estudos considerando a influência da sazonalidade na composição faunística de ambientes subterrâneos são escassos para as cavernas tropicais, concentrando-se em regiões temperadas (Romero 2009). Variações climáticas como temperatura, umidade relativa, regime pluviométrico são marcantes na região, o que promove maior diversificação de nichos e aumento de diversidade local. A sistematização de nossas coletas ao longo de três anos de estudo nos permitiu verificar a ocorrência de espécies em períodos chuvosos e secos, o que garantiu maior acesso a fauna destas regiões. A biologia de cada grupo é um dos fatores determinantes de suas distribuições nas diferentes estações do ano. Os picos de suas ocorrências geralmente coincidem com seus períodos reprodutivos (Bichuette 2003; Pelegatti-Franco 2004; Bessi 2005). Assim, táxons mais ou menos presentes em cada época do ano puderam ser igualmente registrados.

Em geral, comparações faunísticas entre cavernas de zonas temperadas e tropicais não são adequadas, devido às diferenças biogeográficas, origens, dinâmicas climáticas, bem como influências paleoclimáticas (Mitchell 1969; Peck 1990). Assim, é interessante compararmos nossos resultados com os existentes para outras áreas cársticas tanto no Brasil quanto nos demais países tropicais e, mais especificamente, considerando os países pertencentes à região Neotropical. Contudo, há uma notável escassez de trabalhos abordando repetições nos estudos de diversidade biológica em cavernas neotropicais (Peck 1971, 1974; Chapman 1984).

De acordo com Culver & Sket (2000), das 20 cavernas mundialmente consideradas *hotspots* de fauna subterrânea, apenas duas pertencem à região tropical (uma na Austrália e outra na Indonésia) e o restante se distribuem em zonas temperadas da Europa e Estados Unidos. Entretanto, Gallão (2012) encontrou um novo *hotspot* regional de fauna subterrânea neotropical, onde foram registradas 18 espécies troglóbias distribuídas em 10 cavernas quartzíticas, de uma pequena área (25km²) situada no município de Andaraí, região central da Bahia. Tal fato revela o grande potencial para a diversidade de fauna subterrânea tropical, em parte ainda negligenciada pela falta de estudos amparados por taxonomistas.

As medidas de diversidade alfa permitem comparar comunidades em termos de diversidade ou riqueza, mas não descrevem se existe similaridade ou singularidade quanto à composição de espécies. Para lidar com essa questão, utilizamos o índice de diversidade beta de *Sorensen*, que revelou uma baixa similaridade faunística entre as cavernas da área cárstica a nordeste de Goiás. Assim, mesmo que estas cavernas apresentem índices de diversidades similares, a composição faunística se mostrou singular a cada uma delas.

De maneira geral, os índices de diversidade são muito dependentes do esforço amostral, o que inviabiliza comparações entre inventários produzidos por meio de diferentes métodos e esforço de coleta (Trajano et al. 2012). Alguns índices de riqueza de espécies dão peso máximo às espécies raras, ao passo que outros consideram igualmente as dominantes. No caso do Índice de *Shannon-Wiener* (H'), por exemplo, o peso é intermediário, enquanto para o Índice de *Simpson* (1-D), o peso de espécies raras é pequeno (Krebs 1999). Podemos utilizar inúmeros índices para calcular a diversidade (além de outros atributos) de uma comunidade, porém a escolha do melhor método nem sempre é de fácil dedução.

É inadequado considerarmos unicamente a diversidade local observada para a atribuição de relevância biológica a uma área, uma vez que este índice isoladamente não é efetivo para a comparação entre diferentes ambientes, regiões ou táxons (Pärtel et al. 2011). Ainda, no caso dos habitats subterrâneos, valores numéricos de diversidade alfa não refletem as singularidades óbvias desses ambientes, as quais constituem a principal justificativa para sua conservação (Trajano et al. 2012). De acordo Harper & Hawksworth (1994), a diversidade biológica em uma área deveria ser estimada considerando não apenas a riqueza e abundância de espécies como a existência ou não

de relações de “parentesco” entre elas. Para isto, há necessidade da incorporação de índices que considerem as distâncias ou diferenças funcionais e/ou filogenéticas entre as espécies (Solow & Polasky 1994, Ganeshaiah et al. 1997). Tais índices podem ser particularmente úteis em estudos de conservação, onde se pretende maximizar não apenas riqueza de espécies, mas também o número de clados ou grupos taxonômicos (Ricotta 2005).

Os valores obtidos pela análise de *Taxonomic distinctness* (Δ^*) podem ser considerados uma medida direta de relação taxonômica entre as espécies de uma determinada localidade. Ademais, sua estimativa independe do esforço amostral, o que facilita a comparação de áreas amostradas em intensidade diferentes, superando os entraves impostos pelos índices de diversidade tradicionais. Observamos que as cavernas São Bernardo e Revolucionários mostraram os maiores valores de Δ^* e se situaram acima dos limites do intervalo de confiança, ou seja, estas cavernas possuem comunidades formadas por grupos taxonômicos mais distintos comparados às demais. Interessante notar que estas cavernas não são nem as mais ricas, nem as mais diversas do total de amostras, porém possuem as maiores singularidades em suas composições faunísticas. A baixa riqueza registrada na Caverna Passa Três, em função do viés amostral já mencionado (eventos de enxurradas), certamente subestimou os seus valores de distinção taxonômica.

A Caverna Terra Ronca II, mesmo com a segunda maior riqueza de espécies, apresentou uma das menores distinções taxonômicas. O trecho amostrado nesta cavidade é composto basicamente pelo mesmo tipo de substrato, predominantemente bancos de areia e cascalho depositados a margem do rio. Deste modo, ainda que a caverna possua elevada riqueza, estas espécies não pertencem a grupos taxonômicos muito distintos comparados às demais comunidades subterrâneas da região. Observamos algo similar para a Caverna Angélica, onde registramos a maior riqueza de espécies na área total, provavelmente devido ao elevado número de amostragens comparado às demais cavernas (seis ocasiões) e, no entanto, esta também apresentou um dos menores valores de Δ^* , situado abaixo da média estimada para a região.

Devemos considerar que, desde o ano 2000, não há controle efetivo do número e frequência de grupos de turistas na região (M. E. Bichuette, obs. pess.). A Caverna Angélica é uma das mais visitadas do PETER e, em algumas ocasiões, os grupos chegam a percorrer toda a sua extensão. Em nossas observações em campo, notamos

que há apenas esparsas manchas de guano ao longo da caverna, reduzidas provavelmente devido ao impacto antrópico (pisoteamento e poluição sonora, afugentando os morcegos). A perturbação diminui a heterogeneidade ambiental e, conseqüentemente, reduz a oferta de micro habitats e recursos à comunidade local. Warwick & Clarke (1998) verificaram uma diminuição contínua na distinção taxonômica de comunidades de espécies marinhas em ambientes gradativamente mais contaminados na costa chilena, enquanto a riqueza de espécie permaneceu constante. Do mesmo modo, observamos que algumas das cavernas mais ricas desta área cárstica não possuem elevada distinção taxonômica, possivelmente devido a distúrbios de origem antrópica.

O índice de distinção taxonômica pode ainda estar relacionado com a diversidade trófica da comunidade, de maneira que quando há redução do número de guildas, este igualmente decai (Clarke & Warwick 1999). A diversidade trófica é fortemente influenciada pelo tipo de habitat, conseqüentemente, áreas mais impactadas geralmente estão mais sujeitas a uma diminuição de distinção taxonômica. Deste modo, este índice representa uma ferramenta promissora para a escolha de áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade.

4.1. A fauna troglóbia do nordeste de Goiás e seu grau de conservação

A região de São Domingos é notável pela sua elevada riqueza de peixes troglóbios, que exibem diferentes graus de especialização à vida subterrânea (um cascudo Loricariidae; quatro bagres Trichomycteridae; um bagre Heptapteridae e um peixe-elétrico Sternopygidae – Reis 1987; Triques 1996; Fernández & Bichuette 2002; Bichuette & Trajano 2004; Trajano et al. 2004;) além de invertebrados terrestres como aranhas Ctenidae, Scytodidae e Symphytognathidae (Rheims & Pellegatti-Franco 2001).

No entanto, de acordo com o verificado neste e em estudos anteriores, a fauna de invertebrados terrestres troglóbios na área cárstica em estudo é pobre em um contexto global (Trajano & Bichuette 2010; Gallão 2012). Identificamos apenas nove troglóbios e sete possíveis troglóbios em nossas amostragens. De maneira geral, as cavernas brasileiras possuem riqueza de troglóbios reduzida quando comparadas a áreas cársticas do hemisfério norte, principalmente com relação à fauna de invertebrados terrestres (Culver & Sket 2000; Culver et al. 2003; Deharveng 2005; Juberthie 2000). Tal

evidência pode ser embasada no modelo que considera as flutuações climáticas como principais responsáveis pela formação de populações troglóbias (Barr 1973; Moore 1964), já esta área compreende uma zona paleoclimática estável. O mesmo modelo assume que a origem da fauna subterrânea no hemisfério norte, onde ocorreram flutuações climáticas mais acentuadas, tenha levado a maior diversificação destes organismos (Barr 1968; Peck 1980). Os troglóbios brasileiros mais especializados são encontrados em regiões semi-áridas da Bahia, como é o caso das cavernas Chapada Diamantina e Campo Formoso (Trajano 1995).

A maior parte da fauna troglóbia brasileira descrita pertence a grupos de peixes (Bichuette 2003, Bichuette & Trajano 2003; Bichuette & Trajano 2006, Bichuette & Trajano 2008; Mattox 2008; Bichuette & Rizzato 2012), contrariamente às cavernas de zonas temperadas, onde há maior ocorrência de invertebrados terrestres e aquáticos, com destaque para os microcrustáceos, e praticamente ausência de peixes (Culver & Sket 2000; Culver et al. 2003; Peck 1998; Stein et al. 2012). A exemplo destas discrepâncias, podemos citar Culver e colaboradores (2003), que relatou variação de zero a 256 espécies de invertebrados exclusivamente subterrâneas em nove áreas cársticas dos Estados Unidos, além de outros trabalhos como Juberthie & Ginet (1994) e Sharratt e colaboradores (2000), que também encontraram elevada riqueza de invertebrados terrestres troglóbios em cavernas de áreas cársticas da França e África do Sul. Para a caverna Vjetrenica Jama, Bósnia-Hezergovina, há 60 espécies troglóbias descritas (Culver & Sket 2000). No entanto, os baixos registros de troglóbios em cavernas tropicais ocorrem também devido à falta de amostragens, que ainda restringe o conhecimento e subestima o potencial de nossa fauna subterrânea (Trajano 1995).

Para o Brasil, há 104 espécies troglóbias descritas até o momento, das quais apenas 12 ocorrem no estado de Goiás (Gallão 2012; J. E. Gallão, com. pess.). As duas cavernas brasileiras com maior número de troglóbios são o Sistema Areias e Gruta Alambari de Cima, com 16 e 10 espécies respectivamente, ambas em litologia calcária e inseridas em Mata Atlântica do sudeste brasileiro (Deharveng 2005). Além disso, recentemente verificou-se elevada riqueza de troglóbios em cavernas quartzíticas do nordeste brasileiro, como a Gruta Parede Vermelha, Chapada Diamantina, Bahia, na qual foi registrado 13 troglóbios (J.E. Gallão & M. E. Bichuette, *in prep.*).

Os únicos coleópteros troglóbios descritos para cavernas brasileiras pertencem aos carabídeos, sendo dois do gênero *Coarazuphium* (*C.bezerra* e *C.cessaima*) e um do

gênero *Schizogenius* (*S. ocellatus*), com ocorrência nos estados de São Paulo, Bahia, Minas Gerais e Goiás (Trajano & Bichuette 2010; Gallão 2012). Portanto, nosso registro de um indivíduo troglóbico para a família Staphylinidae, subfamília Pselaphinae, é novo tanto para a área cárstica quanto para o país. O fato de já haver registro de outro coleóptero troglóbico na mesma caverna (Caverna Bezerra), o *Coarazuphium bezerra*, torna o achado ainda mais interessante. Porém, ainda é necessário o auxílio de um especialista do grupo para a identificação deste indivíduo em nível de espécie.

A elevada riqueza de táxons amostrada no presente estudo, com a ocorrência de registros novos e distribuições ampliadas, reforça este potencial de biodiversidade para a fauna subterrânea da região. É relevante salientar que nem todo troglóbico possui troglomorfismos e vice-versa. Em cada sistema, há diferentes pressões seletivas atuantes, capazes de promover ou não a diferenciação de caracteres em populações isoladas (Culver 1982). Há espécies que apresentam troglomorfismos tanto em ambientes hipógeos quanto em superficiais, como é o caso de alguns colêmbolos, que em geral são despigmentados. Portanto, a classificação de espécies como exclusivamente subterrâneas deve ser embasada principalmente em estudos acurados considerando a sua ocorrência e distribuição (Culver & Pipan; Gibert et al. 2009).

O impedimento taxonômico ainda dificulta a elaboração de listas faunísticas precisas, já que muitos táxons acabam negligenciados devido à falta de especialistas para sua identificação (Wheeler et al. 2004). Em países megadiversos, de campo científico ainda limitado e dependente de tecnologia externa, como é o caso do Brasil, devemos salientar a importância da taxonomia tradicional como o método mais prático, rápido e viável para o acesso à biodiversidade (Trajano & Bichuette 2010). Segundo Mace (2004), a escassez de taxonomistas pode enviesar as listas de espécies produzidas para fins de monitoramento e manejo, especialmente em ambientes pouco estudados, como as cavernas. O número de troglóbicos nesta área cárstica deve aumentar em novas amostragens e na medida em que a identificação de espécies subterrâneas seja amparada por especialistas.

Organismos cavernícolas são particularmente vulneráveis a distúrbios, pois apresentam altos índices de raridade em suas comunidades, além de distribuições restritas e semelhantes às encontradas em ilhas (Slaney & Weinstein 1997). Os troglóbicos são ainda mais susceptíveis às alterações em seu ambiente, principalmente em resposta as ações antrópicas, as quais acarretam diminuições populacionais podendo

resultar em extinções locais de vários grupos (Trajano & Bichuette 2006). A preservação do meio epígeo, incluindo a vegetação e recursos hídricos do entorno das cavidades, é igualmente necessária para a manutenção da riqueza de espécies subterrâneas.

Além disso, geralmente há alto grau de singularidade entre cavernas, mesmo entre aquelas com elevada proximidade geográfica e inseridas num mesmo maciço rochoso, como foi verificado em nossa área de estudo. Assim, é evidente a necessidade de preservação do maior número de cavidades possível, pois o ideal de compensação não se aplica a estes ambientes únicos. Com o aumento de estudos na região, novos táxons vêm sendo registrados e as distribuições de alguns grupos ampliadas. Isto reforça a ideia de que não se pode determinar com clareza o número de coletas necessário para se acessar toda a riqueza de espécies em uma localidade (Dole-Olivier 2009).

É importante lembrar que, mesmo com um esforço amostral de seis ocasiões de coleta sistematizadas ao longo de três anos de estudo, não tivemos acesso à fauna como um todo. Deste modo, a elaboração de relatórios ambientais e planos de conservação baseados em reduzido número de amostragens é uma proposta extremamente inadequada. Não obstante, encontramos levantamentos em cavernas com apenas uma ou duas unidades amostrais, certamente insuficientes para uma boa estimativa da biodiversidade (Bernardi et al. 2011; Jordão 2003; Santana et al. 2010; Souza-Silva 2008, 2011). Um esforço de coleta intenso é necessário para estimativas acuradas de riqueza de espécies na maioria dos ambientes e, quanto mais heterogeneidade este apresentar, maior esforço deve ser dispendido (Moreno & Halffter 2000; Thompson et al. 2003).

Podemos ressaltar a elevada dificuldade para um monitoramento eficaz de áreas naturais, mesmo aquelas inseridas em reservas legais. O fato de grande parteda nascentes dos rios que atravessam as cavernas do PETER estarem fora da área do parque, onde há criação extensiva de gado e plantio de monoculturas, acarreta o assoreamento e poluição dos mesmos, o que prejudica o habitat e aporte de material alóctone para as cavernas (Bichuette & Trajano 2010). Em fevereiro deste ano, ocorreu uma série de desmoronamentos na região de São Domingos que, associados a chuvas intensas e uso mal planejado de terras, ocasionou a desestabilização de encostas e consequente assoreamento do rio São Vicente. Certamente, as atividades de agricultura intensiva, à montante do sistema, contribuíram para este trágico episódio. Diante disso,

fica evidente a dificuldade em se preservar uma área natural, mesmo com a delimitação de parques e reservas legais.

5. Agradecimentos

Agradecemos aos colegas do Laboratório de Estudos Subterrâneos pelo auxílio nas coletas (C.S. Fernandes; P.P. Rizzato; T. Zepon); ao Dr. Gustavo Henrique de Carvalho, pelo auxílio nas análises estatísticas e taxonômicas; ao guia de campo Ramiro Hilário; ao auxílio financeiro FAPESP (processo nº 2010/08459-4) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio de concessão da bolsa de mestrado à primeira autora (#132981/2011-4). Todas as coletas foram feitas respeitando as leis estaduais (autorização para pesquisa científica em unidade de conservação SEMARH nº 063/2012) e federais brasileiras (SISBIO # 28992-1). Agradecemos também ao PPGERN/UFSCar pela infraestrutura para execução do presente.

6. Referências

- Ab'Saber, A. 1977. Os domínios morfoclimáticos da América do Sul. **Geomorfologia**, 52: 1-21
- Auler A. & Farrant A.R. 1996. A brief introduction to karst and caves in Brazil. **Proceedings of University of Bristol Speleological Society**, 20(3): 187-200.
- Auler A.; Rubbioli E. & Brandi R. 2001. As grandes cavernas do Brasil. **Grupo Bambuí de Pesquisas Espeológicas**, Belo Horizonte, 228pp.
- Armas L.F. 2010. Schizomida de Sudamérica (Chelicerata: Arachnida). **Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A.)**, 46: 203-234.
- Barr T.C. 1968. Cave ecology and the evolution of troglobites. **Evolutionary Biology**, 2: 35-102.
- Barr T.C. 1973. Refugees of the ice age. **Natural History**, 82(5): 26-35.
- Belles X. 1987. Fauna cavernícola i intersticial de la Península Ibérica i les illes Balears. **Consell Superior d'Investigacions Científiques**, Moll Ed., Mallorca: 207 pp.
- Bernardi L.F.O. et al. 2009. Ácaros cavernícolas do Brasil: uma observação preliminar sobre a ocorrência e distribuição das famílias. **Mundos Subterrâneos**, 20:5-13.

- Bernardi L.F.O. et al. 2010. Occurrences of *Erythracarus nasutus* Otto, 1999 (Anystoidea: Anystidae) in underground environments in Brazil. **Espeleo-Tema**, 21(2): 119-129.
- Bernardi L.F.O. et al. 2011. Efeitos do uso turístico sobre cavidades subterrâneas artificiais: subsídios para o uso antrópico de sistemas subterrâneos. **Sociedade Brasileira de Espeleologia**: 71.
- Bessi R.P. 2005. Dinâmica populacional do carabídeo cavernícola *Schizogenius ocellatus* Whitehead, 1972 (Coleoptera) e sua recuperação após eventos de enchentes (Sudeste do Estado de São Paulo, Brasil). *Tese de doutorado*, Universidade de São Paulo, SP, Brasil.
- Bichuette M.E. 2003. Distribuição, biologia, ecologia populacional e comportamento de peixes subterrâneos, gêneros *Ituglanis* (Siluriformes: Trichomycteridae) e *Eigenmannia* (Gymnotiformes: Sternopygidae), da área cárstica de São Domingos, nordeste de Goiás. *Tese de Doutorado*, Universidade de São Paulo, São Paulo. 330 p.
- Bichuette M.E. & E. Trajano. 2003. Epigeal and subterranean ichthyofauna from São Domingos karst area, upper Tocantins river basin, Central Brazil. **Journal of Fish Biology**, 63(5): 1100-1121.
- Bichuette M.E. & Trajano E. 2004. The new subterranean species of *Ituglanis* from Central Brazil (Siluriformes: Trichomycteridae). **Ichthyological Exploration of Freshwaters**, 15(3): 243-256.
- Bichuette M.E. & E. Trajano. 2008. *Ituglanis mambai*, a new subterranean catfish from the karst area of Central Brazil, rio Tocantins basin (Siluriformes: Trichomycteridae). **Neotropical Ichthyology**, 6(1): 9-15.
- Bichuette M.E. & Rizzato P.P. 2012. A new species of cave catfish from Brazil, *Trichomycterus rubbioli* sp.n., from Serra do Ramalho karstic area, São Francisco River basin, Bahia State (Siluriformes: Trichomycteridae). **Zootaxa**, 3480: 48-66.
- Bole et al. 1993. Endemic animals in hypogean habitats in Slovenia. **Nase Jame**, 35:43-56.
- Borror D.J. & D.M. DeLong. 1969. **Introdução ao estudo dos insetos**. Agência norte-americana para o desenvolvimento internacional, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 653 p.

- Brescovit A.D. et al. 2002. Araneae. In: Joachim Adis (Eds.) Amazonian Arachnida and Myriapoda. **Pensoft Publishers**, Sofia-Moscow. pp. 303-343.
- Chapman P. 1984. The invertebrate fauna of the caves of Gunung Mulu National Park. **Sarawak Museum journal**. 30(51): 1-18.
- Clarke K. R. & Warwick R. M. 1999. The taxonomic distinctness measure of biodiversity: weighting of step lengths between hierarchical levels. **Marine Ecology Progress Series**, 184, 21-29.
- Colwell R.K. & Coddington J.A. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B**, 345:101–118.
- Culver D.C. 1982. **Cave Life - Evolution and Ecology**. Cambridge: Harvard University Press.
- Culver D.C. 1986. Cave faunas. In: Soule ME (ed) **Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity**, Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, p. 427–443
- Culver D.C. & Sket B. 2000. Hotspots of subterranean biodiversity in caves and wells. **Journal of Cave and Karst Studies**, 62: 11–17.
- Culver, D.C. & T. Pipan. 2009. *Biology of Caves and Other Subterranean Habitats*, Oxford: **Oxford University Press**, 254 p.
- Culver D.C. et al. 2003. The North American obligate cave fauna: regional patterns. **Biodiversity & Conservation**, 12.3: 441-468.
- Deharveng L. 2005. Diversity patterns in the tropics. – In: Culver, D. C. and White, W. B. (eds), **Encyclopedia of caves**, Elsevier/Academic Press, p. 166–170.
- Deharveng L. et al. 2009. Groundwater biodiversity in Europe. **Freshwater Biology**, 54(4): 709-726.
- Dessen E.M.B. et al. 1980. Levantamento preliminar da fauna de cavernas de algumas regiões do Brasil. **Ciência e Cultura**. 32(6): 714-725.
- Dole-Olivier et al. 2009. Towards an optimal sampling strategy to assess groundwater biodiversity: comparison across six European regions. **Freshwater Biology**. 54: 777–796.
- Elliott W.R. & Ashley D.C. 2005. Caves and karst. **The terrestrial natural communities of Missouri**, **Missouri Natural Areas Committee**.3, 474-491.

- Fernández L. & Bichuette M.E. 2002. A new cave dwelling species of *Ituglanis* from the São Domingos karst, central Brazil (Siluriformes: Trichomycteridae). **Ichthyological Exploration of Freshwaters**, 13(3): 273-278.
- Ferreira R.L. & Pompeu P.S. 1997. Fatores que influenciam a riqueza e a diversidade da fauna associada a depósitos de guano na Gruta Taboa, Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil. **O Carste**, 2(9): 30-33.
- Gallão J.E. 2012. Estado de conservação e dados de distribuição da fauna troglóbia brasileira com propostas de áreas prioritárias para proteção. *Tese de Mestrado*, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 93 p.
- Gallão J.E. & Bichuette M.E. 2012. A Lista de Fauna Ameaçada de Extinção e os Entraves para a Inclusão de Espécies—o Exemplo dos Peixes Troglóbios Brasileiros. **Natureza & Conservação**, 10(1): 83-87.
- Ganeshaiah K.N.; Chandrashekara K. & Kumar A.R.V. 1997. Avalanche index: a new measure of biodiversity based on biological heterogeneity of the communities. **Current Science**. 73(2): 128-133.
- Gibert J. & Deharveng L. 2002. Subterranean ecosystems: a truncated functional biodiversity. **BioScience**, 52: 473–481.
- Gibert J. et al. 2009. Assessing and conserving groundwater biodiversity: synthesis and perspectives. **Freshwater Biology**, 54(4), 930-941.
- Gnaspini-Netto P. 1989. Análise comparativa da fauna associada a depósitos de guano de morcegos cavernícolas no Brasil. Primeira aproximação. **Revista Brasileira de Entomologia**, 33(2): 183-92.
- Gnaspini P. & Trajano E. 1994. Brazilian Cave Invertebrates, with a Checklist of Troglomorphic Taxa. **Revista Brasileira de Zoologia**. 38 (3/4): 549-584.
- Gnaspini P. & Trajano E. 2000. Guano communities in tropical caves. **Ecosystems of the World**, 251-268.
- Hammer et al. 2001. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia electronica**, 4(1): 9.
- Harper J.L. & Hawksworth D.L. 1994. Biodiversity: measurement and estimation. **Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences**, 345(1311): 5.

- Harvey M.S. 2011. Pseudoscorpions of the World, version 2.0. Western Australian Museum, Perth. <http://www.museum.wa.gov.au/catalogues/pseudoscorpions>. Acessado em 15/03/2013.
- Hernandes F.A.; Bernardi L.F.O.; Ferreira R.L. 2011. Snout mites from caves in Brazil, with description of a new species (Acari: Trombidiformes: Bdellidae). **Journal of Natural History**. 45(13): 799 – 812.
- Holsinger J.R. & Culver D.C. 1988. The invertebrate cave fauna of Virginia and a part of eastern Tennessee: Zoogeography and ecology. **Brimleyana**, 14:1-162.
- Horta L.S. & Moura R.T. 1996. Bioespeleologia. In: Expedições espeleológicas franco-brasileiras, Goiás 94 e 95. **GBPE/GREGEO/GSBM**, Brasília, pp. 58-63.
- Howarth F.G. 1983. Ecology of cave arthropods. **Annual Review of Entomology**, 28: 365-389.
- Jordão F.S. 2003. Levantamento da fauna de invertebrados da Gruta dos Ecos (GO) durante a estação chuvosa: dados preliminares para elaboração do plano de manejo espeleológico (PME). In: **Congresso Brasileiro de Espeleologia**, 27, Januária, MG. *Boletim de Resumos*.
- Juberthie C. 2000. The diversity of the karstic and pseudokarstic hypogean habitats in the world. In: Wilkens H, Culver DC & Humphreys WF (eds.). **Ecosystems of the World: Subterranean Ecosystems**. Amsterdam: Elsevier, 30: 17-39.
- Juberthie C. & Ginet R. 1994. France. In: Juberthie, C. and Decu, V. (eds) Encyclopoedia Biospeologica I, **Société de Biospéologie**, Moulis, Bucarest, pp 665–692.
- Karmann I. & Sanchez L.E. 1979. Distribuição das Rochas Carbonáticas e Províncias Espeleológicas do Brasil. **Espeleo-Tema**, 13: 105-167.
- Karmann I. & Sanchez L.E. 1986. Speleological Provinces in Brazil. In: **Congresso Internacional de Espeleologia**, 9, Barcelona: IUS, 1986, v.1, p. 151-153.
- Karmann I. & Setúbal J.C. 1984. Conjunto espeleológico São Mateus-Imbira: principais aspectos físicos e históricos da exploração. **Espeleotema**, 14: 43-53.
- Krebs C.J. 1999. **Ecological methodology**. Benjamin Cummings, Menlo Park.
- Mace G.M. 2004. The role of taxonomy in species conservation. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, 359(1444): 711-719.

- Majer et al. 2003. Invertebrados aquáticos de cavernas da área cárstica de São Domingos, nordeste de Goiás. **O Carste**, 15(4): 126-131.
- Mattox G.M.T. et al. 2008. Surface and subterranean ichthyofauna in the Serra do Ramalho karst area, northeastern Brazil, with updated lists of Brazilian troglobitic and troglophilic fishes. **Biota Neotropical**, 8(4): 145-152.
- Mitchell R. W. 1969. A comparison of temperate and tropical cave communities. **The Southwestern Naturalist**, 73-88.
- Moore B.P. 1964. Present-day cave beetle fauna of Australia: a pointer to past climatic change. **Helictite**, 3, 3-9.
- Moraes G.J. & Flechtmann, C.H.W. 2008. **Manual de Acarologia: acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil**. Ribeirão Preto: Editora Holos.288p.
- Moreno C.E. & Halffter G. 2000. Assessing the completeness of bat biodiversity inventories using species accumulation curves. **Journal of Applied Ecology**, 37: 149-158.
- Nimer E. 1979. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro.
- Pärtel M.; Szava-Kovats R. & Zobel M. 2011. Dark diversity: shedding light on absent species. **Trends in ecology & evolution**, 26(3): 124-128.
- Peck S.B. 1971. The invertebrate fauna of tropical American caves, Part. I: chilibrilo cave, Panamá. **Annales Spéléologie**, 26(2): 423-37.
- Peck S.B. 1974. The invertebrate fauna of tropical American caves, part II: Puerto Rico, an ecological and zoogeographic analysis. **Biotropica**, 14-31.
- Peck S.B. 1980. Climatic change and the evolution of cave invertebrates in the Grand Canyon, Arizona. **National Speleological Society Bulletin**, 42: 53-60.
- Peck S.B. 1990. Eyeless arthropods of the Galapagos Islands, Ecuador: composition and origin of the cryptozoic fauna of a young, tropical, oceanic archipelago. **Biotropica**, 366-381.
- Peck S.B. 1998. A summary of diversity and distribution of the obligate cave-inhabiting faunas of the United States and Canada. **Journal of Cave and Karst Studies**, 60: 18-26.
- Pellegatti-Franco F. 1994. Biologia e ecologia populacional de *Ctenus fasciatus* Mello-Leitão e *Enoploctenus cyclothorax* (Bertkau) em cavernas do Alto do Ribeira, Iporanga, SP (Araneae: Ctenidae). *Tese de doutorado*, Universidade de São Paulo, SP, Brasil.

- Pinto-da-Rocha R. 1993. Invertebrados cavernícolas da porção meridional da província espeleológica do Vale do Ribeira, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, 10(2): 229-225.
- Pinto-da-Rocha R. 1995. Sinopse da fauna cavernícola do Brasil (1907-1994). **Papéis Avulsos de Zoologia**. 39(6): 61-173.
- Rafael J.A. et al. 2012. Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia. Constantino (Eds.). Ribeirão Preto: **Holos Editora**, 810 p.
- Reis R.E. 1987. *Ancistrus cryptophthalmus* sp. n. a blind mailed catfish from the Tocantins river basin, Brasil (Pisces, Siluriformes, Loricariidae). **Revue française d'aquariologie**, 14 (3): 81-4.
- Rheims C.A. & Brescovit A.D. 2001. New species and records of Scytodes Latreille, 1804 of the " globula group" from Brazil (Araneae, Scytodidae). **Andrias, Karlsruhe**, 15: 91-98.
- Rheims C.A. & Pellegatti-Franco F. 2003. Invertebrados terrestres de cavernas da área cárstica de São Domingos, nordeste de Goiás. **O Carste**, 15(4): 132-137.
- Ricotta C. 2005. Through the jungle of biological diversity. **Acta Biotheoretical**. 53(1): 29-38.
- Romero A. 2009. **Cave biology: life in darkness**. Cambridge: Cambridge University Press.
- Santana M.E.V.; Souto L.D. S. & Dantas M.A.T. 2011. Diversidade de invertebrados cavernícolas da Toca da Raposa, Simão Dias, Sergipe: o papel do recurso alimentar e métodos de amostragem. **Scientia Plena**, 6(12).
- Santos A.J. & Pinto-da-Rocha R. 2009. A new micro-whip scorpion species from Brazilian Amazonia (Arachnida, Schizomida, Hubbardiidae), with the description of a new synapomorphy for Uropygi. **The Journal of Arachnology**, 37: 39-44.
- Santos et al. 2008. The arachnid order Schizomida in the Brazilian Atlantic forest: a new species of *Rowlandius* and new records of *Stenochrus portoricensis* (Schizomida: Hubbardiidae). **Zootaxa**, 850:53–60.
- Sharratt N.J. et al. 2000. The invertebrate fauna of the sandstone caves of the Cape Peninsula (South Africa): patterns of endemism and conservation priorities. **Biodiversity & Conservation**, 9: 107–143.
- Sket B. 1999. The nature of biodiversity in hypogean waters and how it is endangered. **Biodiversity & Conservation**, 8(10): 1319-1338.

- Slaney D.P. & Weinstein P. 1997. Conservation of cave fauna: more than just bats. **Memoirs of the Museum of Victoria**, 56(2): 591–596.
- Solow A. & Polasky S. 1994. Measuring biological diversity. **Environmental and Ecological Statistics**, 1(2): 95-107.
- Souza-Silva M. 2008. Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na Mata Atlântica Brasileira. *Tese de Doutorado*. Universidade Federal de Minas Gerais/Pós-Graduação em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre. 226pp.
- Souza-Silva M.; Martins R.P. & Ferreira R.L. 2011. Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest. **Biodiversity and Conservation**, 20(8): 1713-1729.
- Stein H. et al. 2012. Stygoregions – a promising approach to a bioregional classification of groundwater systems. **Scientific reports**, 2.
- Thompson et al. 2003. Assessing biodiversity with species accumulation curves; inventories of small reptiles by pit-trapping in Western Australia. **AustralEcology**, 28: 361-383.
- Trajano E. 1987. Fauna Cavernícola Brasileira: Composição e Caracterização Preliminar. **Revista Brasileira de Zoologia**, 3(8): 533-561.
- Trajano E. 1995. Evolution of tropical troglobites: Applicability of the model of Quaternary climatic fluctuations. **Mémoires de Biospéologie**, 22: 203-209.
- Trajano E. 2000. Cave Faunas in the Atlantic Tropical Rain Forest: Composition, Ecology, and Conservation. **Biotropica**, 32(4b): 882-893.
- Trajano E. 2012. Ecological classification of subterranean organisms. In: **White WB & Culver DC (eds.). Encyclopedia of Caves**. Amsterdam: Elsevier. p. 275-277. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-383832-2.00035-9>.
- Trajano E. & Gnaspini-Netto P. 1991. Composição da Fauna Cavernícola Brasileira com uma Análise Preliminar da Distribuição dos Táxons. **Revista Brasileira de Zoologia**, 7(3): 383-407.
- Trajano E.R.; E. Reis & M.E. Bichuette. 2004. Pimelodella spelaea: a new cave catfish from Central Brazil, with data on ecology and evolutionary considerations (Siluriformes: Heptapteridae). **Copeia**, (2): 315-325.
- Trajano E. & Bichuette M.E. 2006. **Biologia Subterrânea: Introdução**. São Paulo: Redespeleo Brasil, 92 p.

- Trajano E. & Bichuette M.E. 2010. Diversity of Brazilian subterranean invertebrates, with a list of troglomorphic taxa. **Subterranean Biology**, 7: 1-16.
- Trajano E.; Bichuette M.E. & Batalha M.A. 2012. Estudos ambientais em cavernas: os problemas da coleta, da identificação, da inclusão e dos índices. **Espeleo-Tema**, 23(1): 13-22.
- Zeppelini D.F. & Bellini B.C. 2004. **Introdução ao estudo dos Collembola**. João Pessoa, Paraíba: Editora Universitária, Universidade Federal da Paraíba. 82 p.
- Warwick R.M. & Clarke K.R. 1995. New 'biodiversity' measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. **Marine Ecology Progress Series**, 129: 301–305.
- Warwick R.M. & Clarke K.R. 1998. Taxonomic distinctness and environmental assessment. **Journal of Applied Ecology**, 35: 532–543.
- Wheeler Q.D.; Raven P.H. & Wilson E.O. 2004. Taxonomy: impediment or expedient? **Science**, 303: 285.
- Wolda H. 1981. Similarity indices, sample size and diversity. **Oecologia**, 50: 296-302.

7. Lista de Figuras

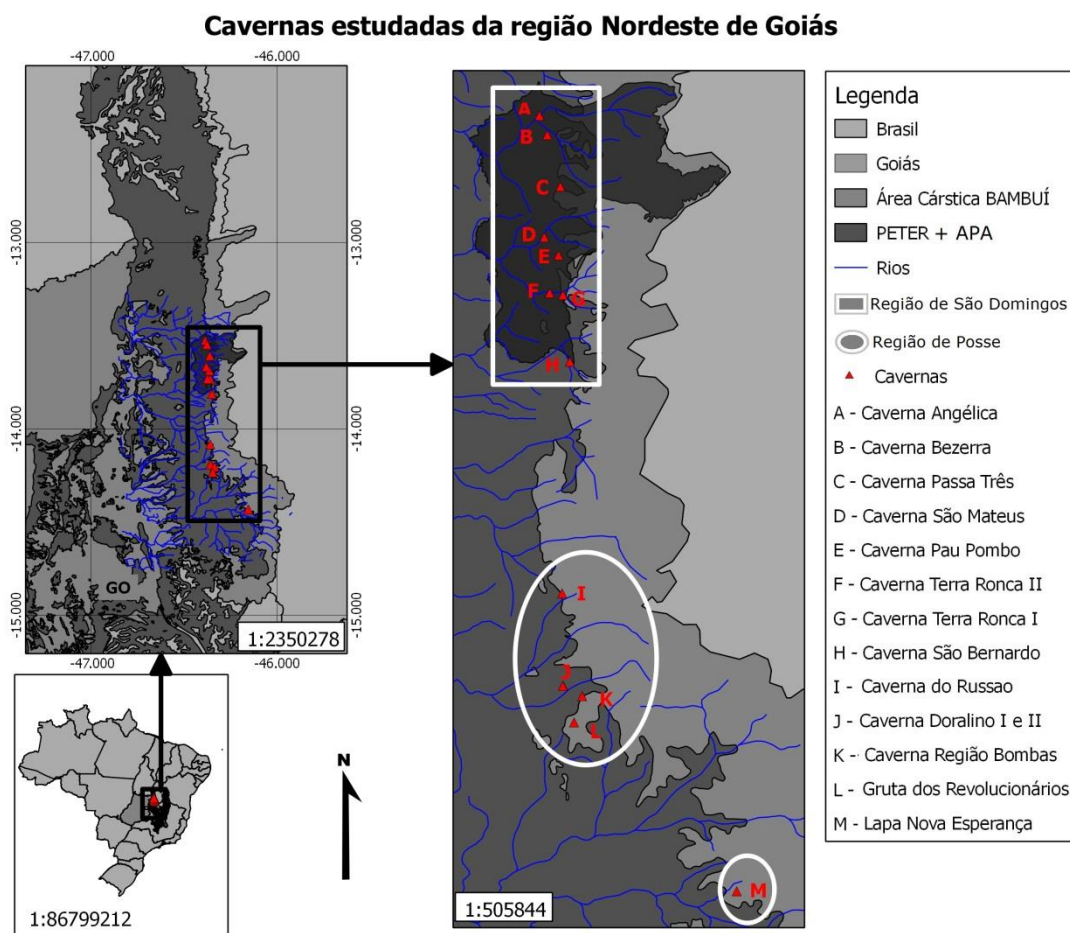


Figura 1. Mapa destacando as cavernas amostradas na área cárstica a nordeste de Goiás. As localidades marcadas ao norte representam a região de São Domingos e ao sul Posse, respectivamente. **PETER+APA**= Parque Estadual de Terra Ronca + Área de Proteção Ambiental.

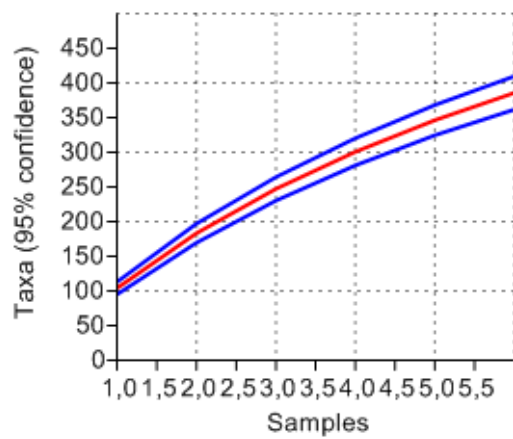
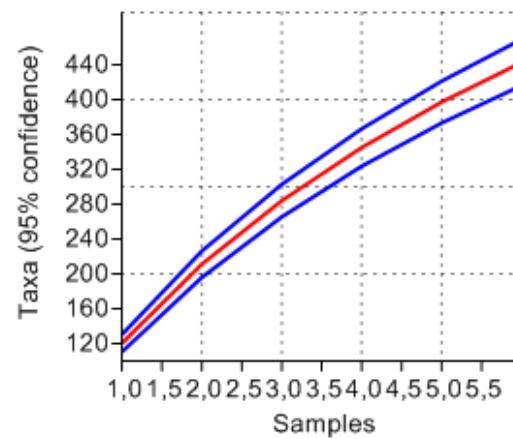
A-**B-**

Figura 2. Curvas de rarefação de amostragem para as seis ocasiões de coleta realizadas em cavernas da região de São Domingos (**B**) e para as cavernas da área cárstica total, a nordeste de Goiás (**A**).

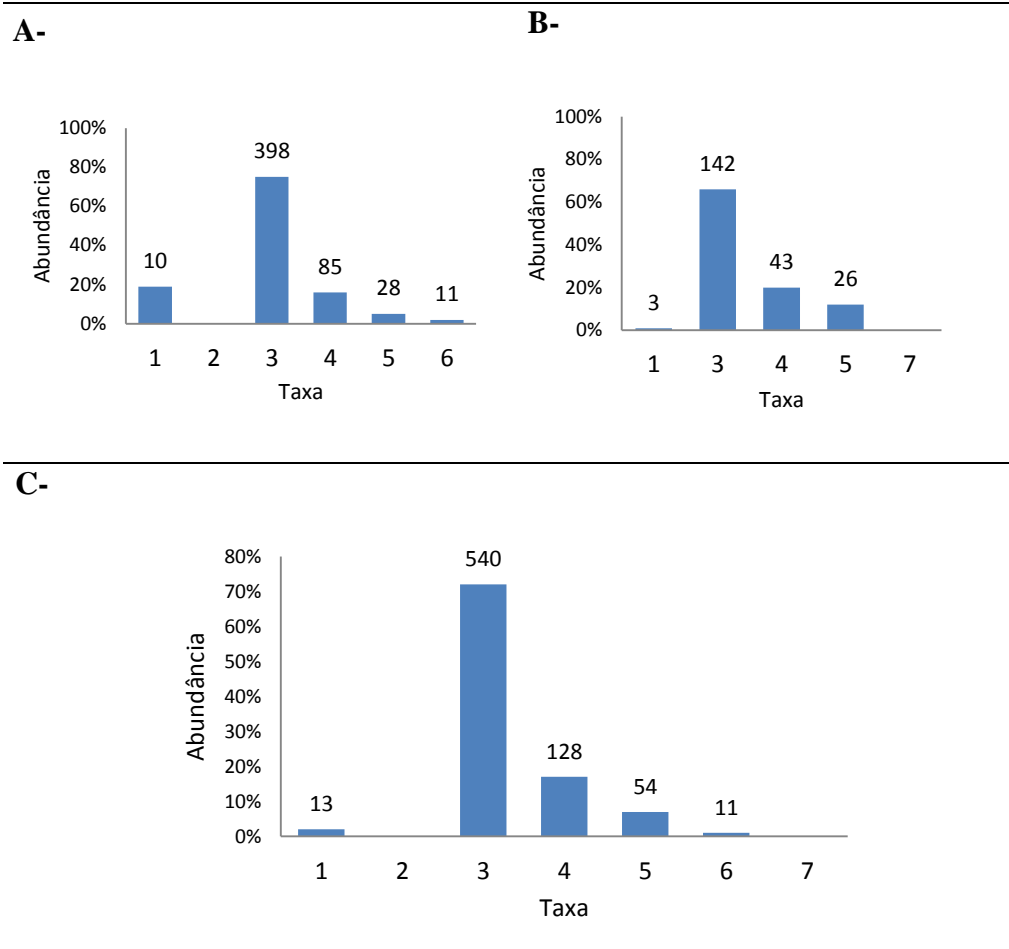
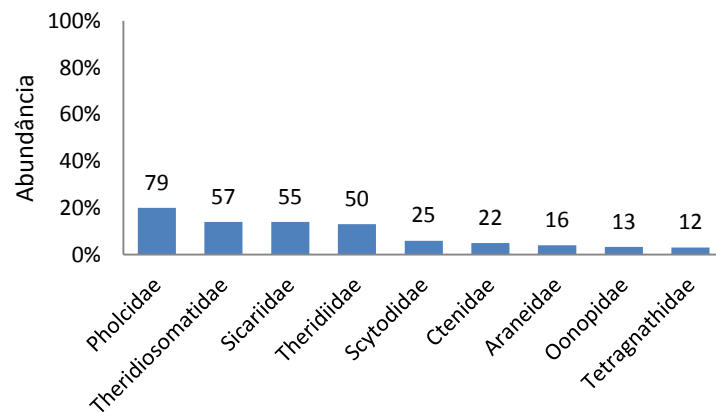
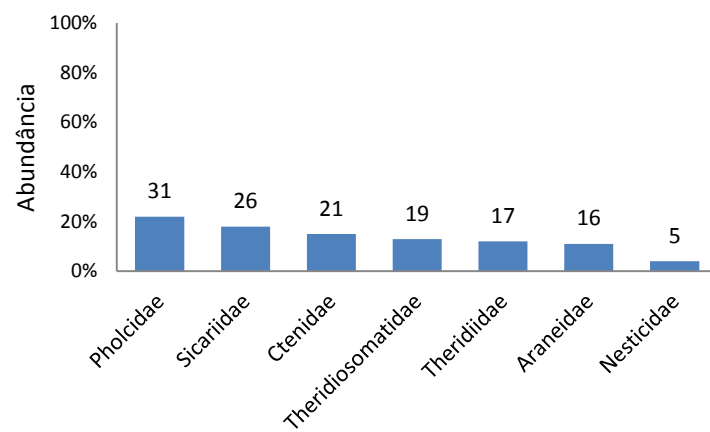


Figura 3. Abundância dos principais táxons de aracnídeos registrados nas regiões de São Domingos (**A**) e Posse (**B**) e na área cárstica como um todo (**C**), representados pelos números no eixo horizontal, em que **1**=Acari; **2**=Amblypygi; **3**=Araneae; **4**=Opiliones; **5**=Pseudoscorpiones; **6**=Schizomida; **7**=Scorpiones. Números acima das barras representam abundância, ausente em táxons representados por apenas um espécime; abundâncias relativas podem ser verificadas no eixo y.

A-



B-



C-

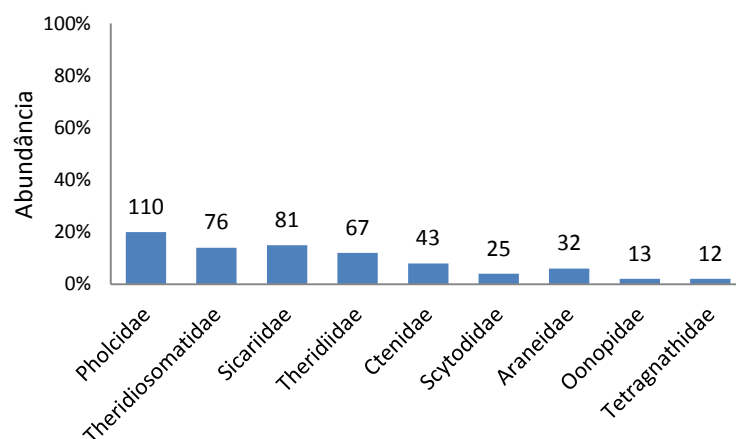
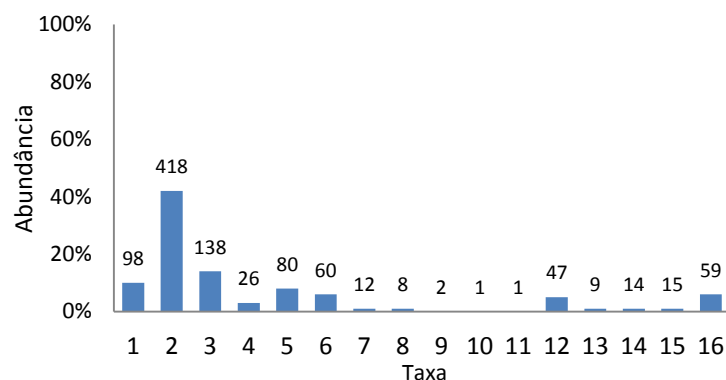
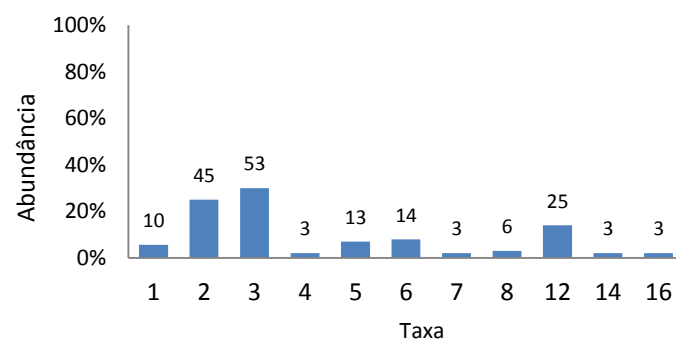


Figura 4. Abundância das principais famílias de aranhas registradas nas regiões de São Domingos (**A**) e Posse (**B**) e na área cárstica como um todo (**C**). No eixo y, observamos as abundâncias relativas de cada família nas amostras.

A-



B-



C-

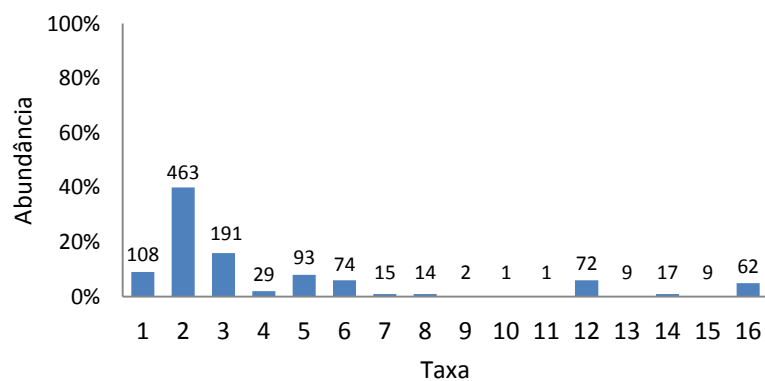


Figura 5. Abundância dos principais táxons de insetos registrados nas regiões de São Domingos (A) e Posse (B) e na área cárstica como um todo (C), representados pelos números no eixo horizontal, onde 1=Blattaria; 2=Coleoptera; 3=Diptera; 4=Ephemeroptera; 5=Hemiptera; 6=Hymenoptera; 7=Isoptera; 8=Lepidoptera; 9=Megaloptera; 10=Neuroptera; 11=Odonata; 12=Orthoptera; 13=Plecoptera; 14=Psocoptera; 15=Thysanoptera; 16=Trichoptera. Abundância relativa pode ser verificada no eixo y.

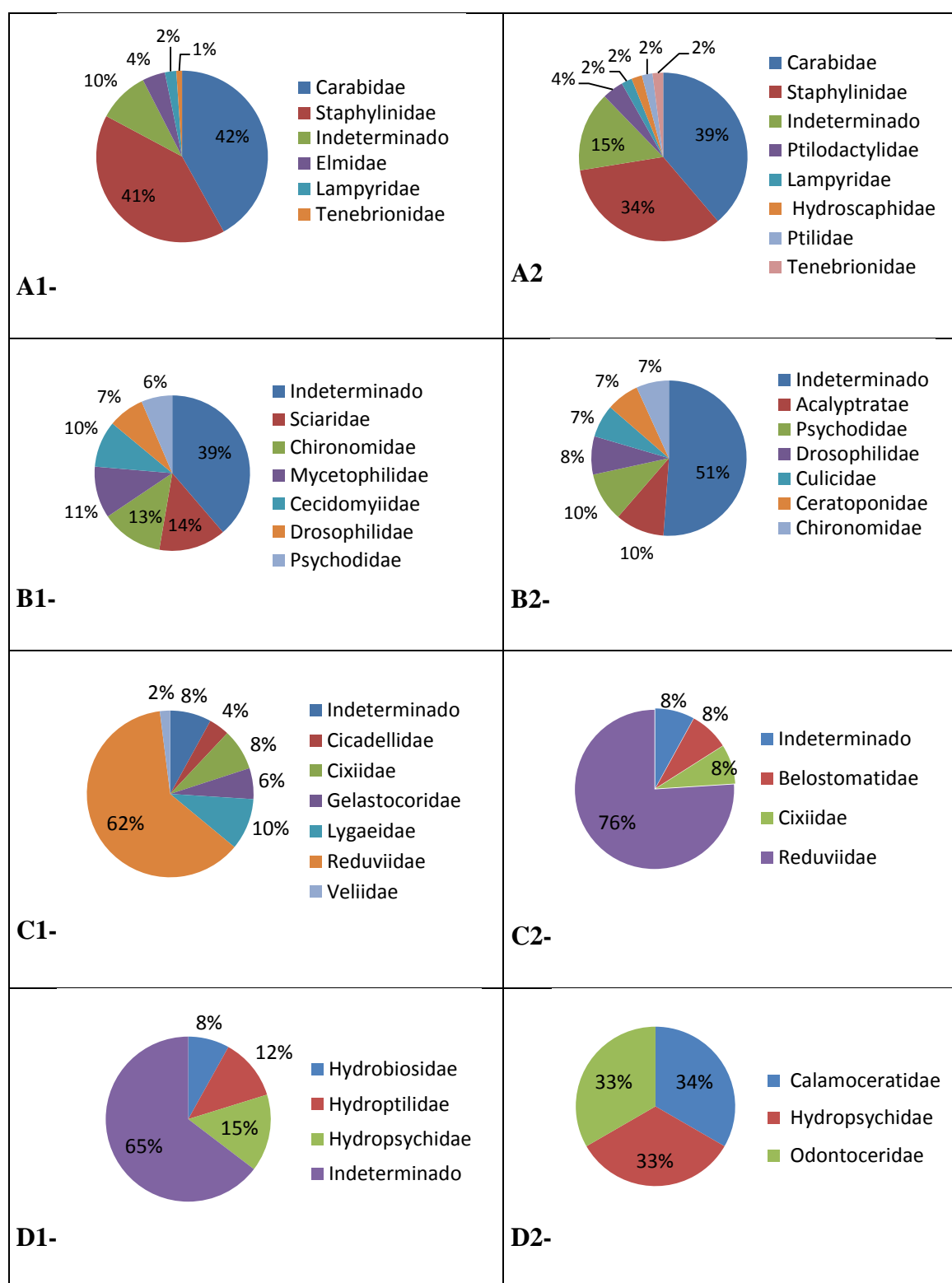


Figura 6. Abundância relativa das principais famílias das ordens Coleoptera, Diptera, Hemiptera e Trichoptera registradas em cavernas das regiões de São Domingos (A1 à D1) e Posse (A2 à D2).

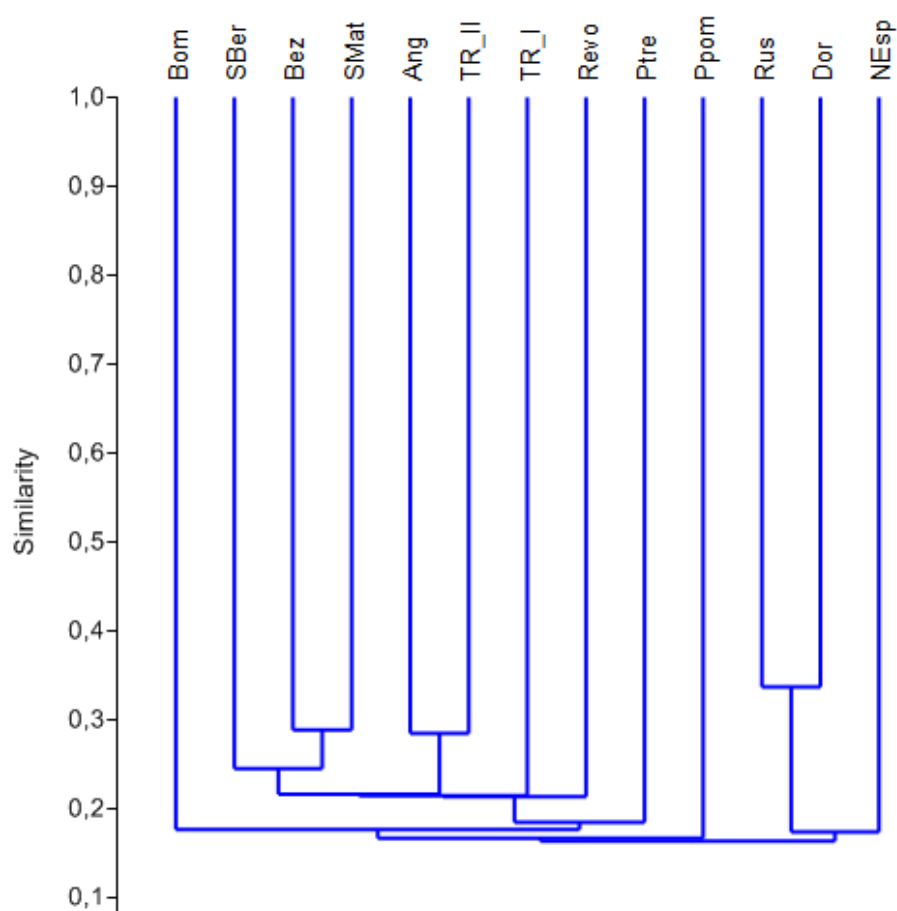


Figura 7. Análise de similaridade faunística por índice de *Sorensen* (*single linkage*) entre as cavernas pertencentes a duas regiões da área cárstica a nordeste de Goiás. Região de São Domingos: **Ang**= Angélica, **Bez**= Bezerra, **PPom**= Pau Pombo, **PTre**= Passa Três, **SBer**= São Bernardo, **SMat**= São Mateus, **TR_I**= Terra Ronca I, **TR_II**= Terra Ronca II; região de Posse: **Bom**= Bombas, **Dor**= Doralino I e II, **NEsp**= Nova Esperança, **Rev**= Revolucionários, **Rus**= Russão.

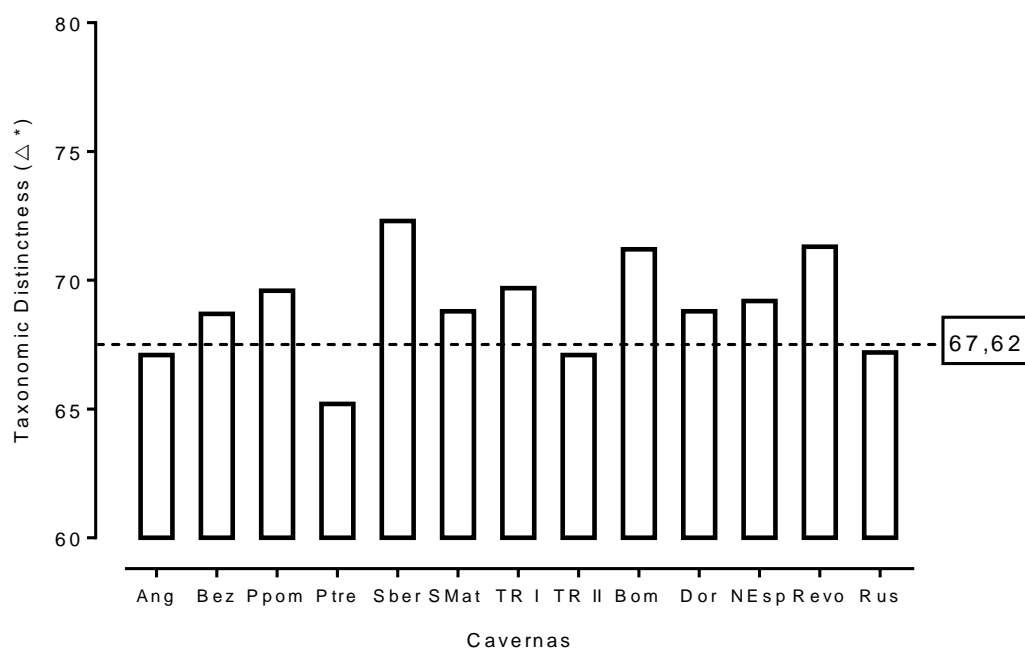


Figura 8. Valores de distinção taxonômica (Δ^* =*Taxonomic Distinctness*) para cada caverna amostrada em duas regiões da área cárstica a nordeste de Goiás. Linha tracejada representa o valor de distinção taxonômica média estimada para a área. Região de São Domingos: **Ang**= Angélica, **Bez**= Bezerra, **PPom**= Pau Pombo, **PTre**= Passa Três, **SBer**= São Bernardo, **SMat**= São Mateus, **TR I**= Terra Ronca I, **TR II**= Terra Ronca II; região de Posse: **Bom**= Bombas, **Dor**= Doralino I e II, **NEsp**= Nova Esperança, **Revo**= Revolucionários, **Rus**= Russão.

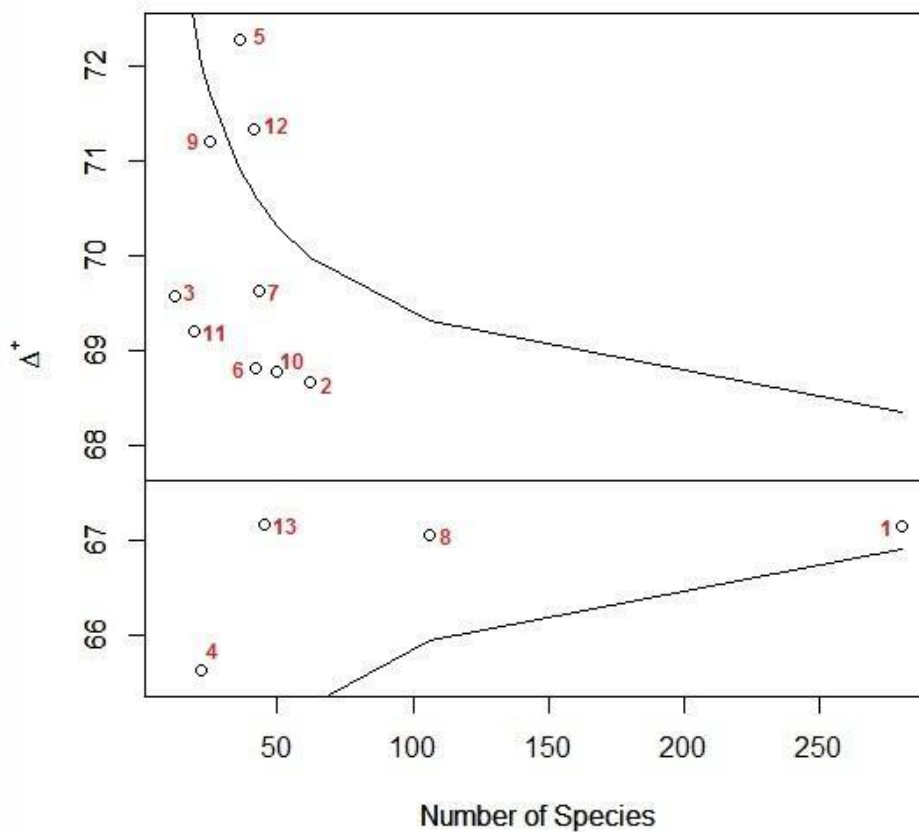


Figura 9. Gráfico de distinção taxonômica média em relação ao número de espécies registradas. As cavernas situadas dentro do funil estão dentro dos valores médios esperados. Região de São Domingos: 1= Angélica, 2= Bezerra, 3= Pau Pombo, 4= Passa Três, 5= São Bernardo, 6= São Mateus, 7= Terra Ronca I, 8= Terra Ronca II; região de Posse: 9= Bombas, 10= Doralino I e II, 11= Nova Esperança, 12= Revolucionários, 13= Russão.

8. Lista de Tabelas

Tabela 1. Coordenadas geográficas e datas de coleta, agrupadas em estação chuvosa ou seca para as cavernas e localidades epígeas amostradas nas regiões de São Domingos e Posse, área cárstica a nordeste de Goiás. Dados coletados ao longo dos anos de 2010, 2011 e 2012. **Desen**= Desenvolvimento em metros. Todas as cavernas amostradas na região de Posse ainda não estão mapeadas, exceto o Sistema Russão.

Região/ Localidade	Coordenadas	Desen (m)	Ocasão de coleta					
			Chuvosa			Seca		
			abr/10	abr/11	fev/12	out/11	jun/12	out/12
<i>Cavernas</i>								
<i>São Domingos</i>								
Angélica	13°31'29.1"S 46° 23' 07.3" O	13800	X	X	X	X	X	X
Bezerra	13° 32' 50.6" S 46° 22' 34.7" O	8100			X		X	
Pau Pombo	13° 41' 16.4" S 46° 21' 47.2" O	900				X		
Passa Três	13° 36' 27.5" S 46° 21' 39.3" O	2500	X					
São Bernardo	13° 48' 44.9" S 46° 20' 59.4" O	5100			X		X	
São Mateus	13° 40' 00.7" S 46° 22' 47.4" O	16235	X		X			
Terra Ronca I	13° 44' 04.3" S 46° 21' 28.4" O	750	X					X
Terra Ronca II	13° 43' 55.7" S 46° 22' 24.7" O	7500				X		X
<i>Cavernas Posse</i>								
Bombas	14° 12' 12.6"S 46° 20' 07.6" O	-		X				
Doralino I e II	14° 11' 28.6" S 46° 21' 28.2" O	-		X				
Nova Esperança	14° 25' 54.1" S 46° 09' 16.4" O	-		X				
Sistema Russão*	14° 05' 00.0" S 46° 21' 32.1" O	3000		X				
Revolucionários	14° 14' 03.0" S 46° 20' 41.8" O	-					X	
<i>Entorno das cavernas (epígeo)</i>								
Angélica	13° 31' 29.1" S 46° 23' 07.3" O	-					X	X
Bezerra	13° 32' 50.6" S 46° 22' 34.7" O	-					X	
Grotão da Onça	13° 49' 19.4" S 46° 21' 23.6" O	-		X				
Terra Ronca I	13° 44' 04.3" S 46° 21' 28.4" O	-				X		X
Terra Ronca II	13° 43' 55.7" S 46° 22' 24.7" O	-						X
Sistema Russão	14° 04' 59.7" S 46° 23' 12.2" O	-		X				

Tabela 2. Valores de riquezas de espécies observadas (**Riqueza obs**) e estimadas pelos métodos de *Jackknife 1* e *2*, *Chao 2* e *Bootstrap* para as cavernas da região de São Domingos e Posse, e para a área cárstica total a nordeste de Goiás. Números entre parênteses indicam a porcentagem de espécies estimadas a mais do que as observadas, desconsiderando-se o desvio médio.

	São Domingos	Posse	Área total
Riqueza obs	391	146	451
Jackknife 1	609±161 (155)	239±46 (163)	700±42 (155)
Jackknife 2	735 (188)	302 (207)	846 (187)
Chao 2	733±58 (187)	431±83 (295)	795±57 (176)
Bootstrap	487±90 (124)	186±20 (127)	560±81 (124)

Tabela 3. Valores de riqueza e abundância de táxons coletados, índices de Equitabilidade (J), diversidade de *Shannon-Wiener* (H') e *Simpson* (1-D) para cada caverna e região (São Domingos e Posse), área cárstica a nordeste de Goiás. Os menores e os maiores valores para as localidades de cada região aparecem destacados na tabela. A Caverna Angélica não foi considerada nesta análise devido ao seu elevado esforço amostral comparado às demais.

Localidades	Riqueza	Abundância	Equitabilidade (J)	Shannon (H')	Simpson (1-D)
<i>São Domingos</i>	391	1801	0,8915	5,310	0,9914
Bezerra	61	172	0,8862	3,643	0,9571
Pau Pombo	12	23	0,9282	2,306	0,8847
Passa Três	22	54	0,8715	2,694	0,9067
São Bernardo	36	82	0,9089	3,257	0,9465
São Mateus	42	73	0,9373	3,503	0,9615
Terra Ronca I	43	77	0,9224	3,469	0,9556
Terra Ronca II	106	298	0,8867	4,135	0,9738
<i>Posse</i>	146	440	0,9001	4,441	0,9811
Bombas	25	62	0,9070	2,920	0,9256
Doralino I e II	50	133	0,8709	3,407	0,9440
Nova Esperança	19	45	0,9050	2,665	0,9116
Revolucionários	41	103	0,9030	3,353	0,9520
Russão	45	97	0,9117	3,470	0,9512
<i>Área cárstica nordeste de Goiás</i>	451	2241	0,8838	5,385	0,9919

APÊNDICE

Apêndice 1. Lista de abundância de espécies de invertebrados registrados em seis ocasiões de coletas ao longo dos anos de 2010, 2011 e 2012 em cavernas da área cársticaa nordeste de Goiás. Região de São Domingos: cavernas Angélica (**Ang**), Bezerra (**Bez**), Pau Pombo (**PPom**), Passa Três (**PTre**), São Bernardo (**SBer**), São Mateus (**SMat**), Terra Ronca I e II (**TRI** e **TRII**) e região de Posse: cavernas Bombas (**Bom**), Doralino I e II (**Dor**), Nova Esperança (**NEsp**), Revolucionários (**Rev**) e Russão (**Rus**). Classificação de espécies: **TF**=troglófilo, **TF***=potencialmente troglófilo, **TX**= troglóxeno, **TB**=troglóbio, **TB***=potencialmente troglóbio, **AC**=acidental, **R**=ocorrência rara, **N**=espécie nova e **N***= possível espécie nova.

Táxons	Espécie/morfotipo	São Domingos							Posse					
		PTre	SBer	Ang	Bez	SMat	TR_I	TR_II	Rus	Bom	Dor	NEsp	PPom	Rev
C. Arachnida														
O. Mesostigmata	sp. 1								1					
	sp. 2 (TF)			1										
	sp. 3										1			
	sp. 5 (TF)			1										
F. Laelapidae	sp. 1										1			
	sp. 2			1		1								
F. Tetranychidae	sp. 1 (TF)			3										
O. Ixodida														
F. Argasidae	sp. 1	1												
F. Ixodidae	<i>Amblyomma</i> sp. (AC)			1										
O. Oribatida	sp. 1			1										
F. Galumnidae														
O. Amblypygi	<i>Heterophrynus longicornus</i>			1										
F. Phryniidae														
O. Araneae														
So. Araneomorphae	jovem indet			1		1								
	sp. 1									1				

Táxons	Espécie/morfortipo	São Domingos							Posse					
		PTre	SBer	Ang	Bez	SMat	TR_I	TR_II	Rus	Bom	Dor	NEsp	PPom	Rev
	sp. 2					1			1					
	sp. 3			1										
	sp. 5			2										
	sp. 6			6										
	sp. 10						1							
F. Anapidae	Indet						2							
F. Araneidae	Indet			2							1			
	sp. 1 (TF)											1		
	sp. 3 (TF)			3										
	sp. 6 (TF)					1		1						
	<i>Alpaida</i> sp. 1 (TF)			4					2		7			1
	<i>Crysometa</i> sp.										1			
	<i>Eustala</i> sp.										1			
	<i>Micrathena</i> sp. 1									2				
	<i>Ocrepeira</i> sp.			1										
	<i>Pronous</i> sp.			4										
F. Caponiidae	<i>Nops</i> sp.(TF)			2			1							
F. Coriniidae	jovem indet			1	4									
	sp. 1			1										
F. Ctenidae	adulto indet (TF)							2						
	jovem indet (TF)			2	1	1	1							
	sp. 1 (TF)									1	3			
	sp. 2 (TF)								2			1	2	
	sp. 3 (TF)			1										
	sp. 4 (TF)					1		1				1		

Táxons	Espécie/morfotipo	São Domingos							Posse					
		PTre	SBer	Ang	Bez	SMat	TR_I	TR_II	Rus	Bom	Dor	NEsp	PPom	Rev
	sp. 5 (TF)							2						
	sp. 6 (TF)							6						
	<i>Enoploctenus</i> sp. (TX)			1										
	<i>Isoctenus</i> sp (TF).			1	2									4
	<i>Isoctenus</i> sp. 1 (*N, *TF)													1
	<i>Isoctenus</i> sp. 2 (*N, *TF)													6
F. Filistatidae	sp. 1			1										
F. Linyphiidae	jovem indet (*TF)			2										1
	<i>Meioneta</i> indet(TF)			3	1									
	<i>Meioneta</i> sp. 1(TF)			3		1								
F. Lycosidae	indet(AC)			1	1									
	sp. 1 (AC)				1									
	sp. 2 (AC)					1		1						
	<i>Allocosa</i> sp.(AC)			1										
F. Mysmenidae	Indet			2										
	sp. 1			1										
	<i>Mysmena</i> sp.		2											
F. Nesticidae	<i>Nesticus</i> sp. 1 (TF)								4		1			
F. Oonopidae	sp.			4				1						
	sp. 1			1										
	sp. 2			3										
	sp. 3							1						
	<i>Triaeris stenaspis</i>			2				1						
F. Palpimanidae	<i>Fernandezina</i> sp.							1						

Táxons	Espécie/morfortipo	São Domingos							Posse					
		PTre	SBer	Ang	Bez	SMat	TR_I	TR_II	Rus	Bom	Dor	NEsp	PPom	Rev
F. Pisauridae	sp. 1										1			
F. Pholcidae	sp. (TF)		2	2										
	sp. 1 (TF)			1										
	sp. 2 (TF)			1										
	<i>Ibotyporanga</i> sp. (R,TF)							1						
	<i>Leptopholcus</i> sp. 1 (R,TF)										1			
	<i>Mesabolivar</i> sp. n. 1 (N,*TF)		5											
	<i>Mesobalivar</i> sp. 2 (TF)	2		6	27	1	1	7	4	5	13	8		
Sf. Ninetinae	sp. 1 (TF)		1	22										
F. Salticidae	indet (AC)				2									
	sp.1 (AC)			1	1									
	sp. 3 (AC)							1						
	sp. 4 (AC)					1								
F. Scytodidae	<i>Scytodes</i> sp. 1 (TF)			16	1		2	3						
	<i>Scytodes</i> sp. 2 (TF)			1										
	<i>Scytodes eleonora</i> (R, TF)			2	1									
F. Segestriidae	sp. 1 (TF)			1										
F. Selenopidae	jovem indet				1									
F. Sicariidae	sp. (TF)			1										
	sp. 1 (TF)			3										
	<i>Loxosceles</i> sp. n. 1 (N)			3										
	<i>Loxosceles</i> sp. 2 (TF)			22	3	1	4	5						13
	<i>Loxosceles</i> sp. 3 (TF)			1									4	
	<i>Loxosceles</i> sp. n. 11 (N)			11						3		6		

Táxons	Espécie/morfortipo	São Domingos							Posse					
		PTre	SBer	Ang	Bez	SMat	TR_I	TR_II	Rus	Bom	Dor	NEsp	PPom	Rev
	<i>Sicarius</i> sp. (TF)						1							
F. Symphytognathidae	<i>Anapistula</i> sp.(TF)			1										
F. Tetragnathidae	Indet		1	1										
	sp. 1												1	
	<i>Glenognatha</i> sp.						5							
	<i>Leucage</i> sp. 1 (TF)			1			3							
	<i>Leucage</i> sp. 2 (TF)							1						
F. Theridiidae	jovem indet			1	3		1							
	sp. 1(TF)			2		5								
	sp. 2(TF)		1	1										
	sp. 5(TF)			1	1									
	sp. 6(TF)			1										
	sp. 8(TF)			1										
	sp. 9(TF)							6						
	<i>Achaeearanea</i> sp.1		2		3									
	<i>Chrysso</i> sp.			1										
	<i>Nesticode rufipes</i> (TF)	5		6						5				
	<i>Theridion</i> indet (TF)			2				2	3					
	<i>Theridion</i> sp. 1(TF)			3	1						6	3		
F. Theridiosomatidae	sp.			2										
	jovem indet		1	3										1
	sp. 2			4										
	sp. 5			1										
	sp. 7			1										
	sp. 8							2						

Táxons	Espécie/morfotipo	São Domingos							Posse					
		PTre	SBer	Ang	Bez	SMat	TR_I	TR_II	Rus	Bom	Dor	NEsp	PPom	Rev
	sp. 9							4						
	<i>Plato</i> indet (TF)		2	18	7									1
	<i>Plato</i> sp. 1 (*N, *TF)			1				1				5	3	
	<i>Plato</i> sp. 2 (*N, *TF)			9					2		6			
	<i>Plato</i> sp. 3 (TF)										1			
	<i>Steatoda</i> sp.						1							
F. Thomisiidae	sp. 1			1										
F. Trechaleidae	sp. 1(TF)				1	1								
F. Uloboridae	sp. (*TF)						1							
F. Zodariidae	sp.			2										
	sp. 1			1				1						
So. Mygalomorphae	Indet			1										
F. Dipluridae	sp. 1													2
	<i>Ischnothele annulata</i> (AC)				1									
F. Idiopidae	sp. 1			1										
F. Theraphosidae	sp. 1 (AC)	1		1										
O. Opiliones	jovem indet			1	2									
O. Opiliones/ Eupnoi	sp. 1 (TF)			1	1		2	1						
O. Opiliones/ Laniatores	sp. 1			3				1						
F. Phalangodidae	indet (TF)					1								
F. Cosmetidae	<i>Paecilema</i> indet										4			
	<i>Paecilema</i> sp. n. (N; TF)		1	11	12	1	2	4		3			1	
	sp. 2			1										
F. Gonyleptidae	sp.			5							1			
Sf. Pachlinae	sp. 1					1								

Táxons	Espécie/morfotipo	São Domingos							Posse					
		PTre	SBer	Ang	Bez	SMat	TR_I	TR_II	Rus	Bom	Dor	NEsp	PPom	Rev
	sp. 2													5
	<i>Eusarcus</i> sp. (TB)	8		2	6	4	1	2	4		4			7
Sf. Trichomatinae	sp. 2			1										
F. Stygnidae	sp. 1			1										
F. Sclerosomatidae	sp. 1			7					1		2		1	6
	sp. 2								3		1			
Sf. Gagrelinae	sp. 1 (TF)			2										
O. Pseudoscorpiones														
F. Atemnidae	sp. 1 (TF)				1									
	sp. 2			6										
F. Cheiridiidae	sp. 1 (*N)			1										
F. Cheliferidae	Indet								1					
	sp. 1							1						
	sp. 2			1		3								
	sp. 5										1			
F. Chernetidae	<i>Spelaeochnes eleonora</i> (TB)					1	1							
	<i>Spelaeochnes pedroi</i> (TB)													4
	<i>Spelaeochnes</i> sp. (TB)										3			
	sp. 1													
F. Chthoniidae	sp. 1		1		2									1
	sp. 5 (*TB)			1										
F. Olpiidae	<i>Progarypus</i> sp. (*TB)			4										
	sp. 2 (TF)						1							
	sp. 3								16					

[illegible]

Táxons	Espécie/morfortipo	São Domingos							Posse					
		PTre	SBer	Ang	Bez	SMat	TR_I	TR_II	Rus	Bom	Dor	NEsp	PPom	Rev
O. Diplura	Indet			3		1								
O. Collembola	sp. 1			2										
	sp. 2			8					1		3			
	sp. 3				3				1					1
	sp. 4		1		1						1			4
F. Cyphoderidae	sp. 1(TB*)			19										
F. Entomobryiidae	sp. 1			1		2		1						
	sp. 2(TB*)		1	9	6	1	1	4						
	sp. 3				3									
	sp. 5			1				2						
F. Paronellidae	<i>Trogolaphysa</i> sp (TB)									4				
	sp. 1			1		6								
	sp. 4			1										
C. Insecta														
O. Blattaria	ninfas indet (*TF)	3		18			2	2			2	1		
	sp. 1 (TF)			18		4		1	1	3	1			
	sp. 2(TF)		7	5	2	3			1					
	sp. 3(TF)			3										
	sp. 5			2										
F. Blableridae	sp. 1			3										
F. Blattellidae	sp. 1(TF)		1	12	3			1						1
	sp. 2			2										
	sp. 3			3										
F. Polyphagidae	sp. 1			3										
O. Coleoptera	larvas indet	2		6			1	3	2		2			

[illegible]

[illegible]

Táxons	Espécie/morfortipo	São Domingos							Posse					
		PTre	SBer	Ang	Bez	SMat	TR_I	TR_II	Rus	Bom	Dor	NEsp	PPom	Rev
	<i>Macrelmis</i> sp. 2			1										
	<i>Hexacylloepus</i> sp.			1										
F. Geotrupidae	sp. (AC)	1												
F. Hydroscaphidae	sp. 1								1					
F. Lampyridae	larva indet(AC)			2	4	2					1			
F. Ptilidae	<i>Micridium</i> sp. 1(TF)								1					
F. Ptilodactylidae	sp. 1										1			
	sp. 2			2	1			1						
	sp. 3													1
F. Scarabaeidae	sp.(AC)							3						
	sp. 2 (AC)			1										
F. Scydmaenidae	sp. 1 (AC)							1						
F. Staphylinidae	larva indet			12		1	3						1	1
	indet	9		6				12						
	sp. 4			13				8			2			
	sp. 8					1		5						
	sp. 13			1	1	1		3						
	sp. 14					1								
	sp. 15			1										
	sp. 16			1										
	sp. 18			2				7						
	sp. 19							2						
	sp. 20						1	4						
	sp. 21							1						
Sf. Aleocharinae	sp.			2				1						

[illegible]

Táxons	Espécie/morfortipo	São Domingos							Posse					
		PTre	SBer	Ang	Bez	SMat	TR_I	TR_II	Rus	Bom	Dor	NEsp	PPom	Rev
	sp. 3		1	3										
	sp. 4				7									
	sp. 5				1									
	sp. 6			4	6									
	sp. 7			3										
	sp. 9			1										
F. Acalyptratae	sp. 1										2			
	sp. 2										2			
	sp. 3			1							1			
F. Cecidomyiidae	sp. 1		2	2		1								
	sp. 2		1			3		2						
	sp. 3			1										
F. Ceratoponidae	sp. 1			2			1			3				
	sp. 2			1										
F. Chironomidae	sp. 1 (TF)			3								2		
	sp. 2 (TF)			3							1			
	sp. 3 (TF)			3				1						
	sp. 4 (TF)			3										
	sp. 5(TF)			3										
F. Culicidae	sp. 1									1				
	sp. 2							1			2			
F. Drosophilidae	<i>Drosophila</i> indet(TF)	1	6					1						1
	<i>Drosophila</i> sp. 1(TF)										2			
	<i>Drosophila</i> sp. 2(TF)			2										
	<i>Drosophila</i> sp. 3(TF)									1				

Táxons	Espécie/morfortipo	São Domingos							Posse					
		PTre	SBer	Ang	Bez	SMat	TR_I	TR_II	Rus	Bom	Dor	NEsp	PPom	Rev
F. Limoniidae	sp. 1											1		
	sp. 2											1		
	sp. 3			1										
F. Mycetophilidae	sp. 1(TF)		1											
	sp. 2(TF)			9										
	sp. 3(TF)			3										
F. Muscidae	sp. 1(TF)			2										
F. Phoridae	sp. 1						1				1			
	sp. 2							1						
	sp. 4			1										
F. Psychodidae	sp. 2			1										
Sf. Phlebotominae	sp. 1 (TF)			7					4		1			
F. Sciaridae	sp. 1			6										
	sp. 2			2						1				
	sp. 3			1				1						
	sp. 4			8										
F. Simuliidae	sp. 1								1					
F. Tipulidae	sp. 1(AC)											1		
O. Ephemeroptera														
F. Baetidae	<i>Cloeodes</i> sp.								1					
F. Leptophlebiidae	sp.			12			8		1					
	sp. 1		2											
	<i>Miroculis</i> sp.			3								1		
O. Ephemeroptera	Indet	1												
O. Hemiptera	sp. 1								1					

[illegible]

[illegible]

Táxons	Espécie/morfortipo	São Domingos							Posse					
		PTre	SBer	Ang	Bez	SMat	TR_I	TR_II	Rus	Bom	Dor	NEsp	PPom	Rev
O. Isoptera														
F. Termitidae/ Sf. Nasutitermitinae	sp. 1 (AC)			11				1			1			2
O. Lepidoptera	larva indet(*TF)			5										
F. Noctuidae	sp. 1(TF)			3					1		4			
	sp. 2(TF)										1			
F. Tineidae	casulos(TF)		2	7				2					4	
	sp. 1									1				
O. Megaloptera	larva indet(AC)				2									
O. Neuroptera/ F. Myrmeleontidae	sp. 1 (AC)			1										
O. Odonata	jovem indet (AC)							1						
O. Orthoptera	jovem indet			2			1							
	sp. 1			1										
So. Ensifera	sp.													1
F. Phalangopsidae	ninfas indet(TF)			2		2								
	sp. 1(TF)			1	3	2								
	sp. 2(TF)			1		2								
	<i>Endecous</i> indet(TF)		1		5			3						7
	<i>Endecous</i> sp. 1 (TF)	1		1										
	<i>Endecous</i> sp. n. 1 (N, *TF)			15					3		1		3	
	<i>Endecous</i> sp. n. 2 (N, *TF)									2				
	<i>Eidmanacris</i> sp. (TF)			3					1		1	3		3
F. Trigonidiidae	<i>Cyrtoxipha</i> sp.				1									
O. Plecoptera														
F. Perlidae	sp. 1(AC)				1		1							

[illegible]

Táxons	Espécie/morfortipo	São Domingos							Posse					
		PTre	SBer	Ang	Bez	SMat	TR_I	TR_II	Rus	Bom	Dor	NEsp	PPom	Rev
	sp. 2 (TF)						9	3						4
F. Platyarthridae	<i>Trichorhina</i> sp. 1 (TF)													5
	<i>Trichorhina</i> sp. 2 (TF)							1						
F. Styloniscidae	sp. 1 (N*; TB)		1	2										
C. Clitellata														
O. Haplotaxida/ F. Lumbricidae	indet (TF*)	1		13	1		1	1		3				
Sc. Hirudinea/ F. Acanthobdellidae	indet (AC)							2						

Apêndice 2. Lista deriqueza e abundância de espécies de invertebrados registrados no meio epígeo do entorno de cavernas inseridas em duas regiões da área cárstica a nordeste de Goiás. Região de São Domingos: entorno das cavernas Angélica (**Ang**), Bezerra (**Bez**) Terra Ronca I e II (**TRI** e **TRII**) e região de Posse: entorno da Caverna Russão (**Rus**) e Grotão da Onça (**GrOn**). Entre parênteses, número de amostragem por localidade, distribuídas em quatro ocasiões: abril e outubro de 2011 e junho e outubro de 2012. N= registro novo, (*)= táxon registrado apenas em meio epígeo.

Táxon	Espécie	São Domingos				Posse	
		Ang (2)	Bez (1)	TR_I (2)	TR_II (1)	GrOn (1)	Rus (1)
C. Arachnida							
O. Mesostigmata	sp. 2						1
	sp. 4 (*)			1			1
	sp. 5			1			
F. Tetranychidae	sp. 1						3
O. Araneae							
So. Araneomorphae	jovem indet						1
	sp. 1					1	
F. Araneidae	indet		1				
	sp. 1			3			
	sp. 2 (*)			1			
	sp. 3			1			
	sp. 4 (*)			2			
	<i>Alpaida</i> sp. 1	1					
	<i>Cyclosa</i> sp.(*)					1	
	<i>Mangorasp.</i> (*)						1
	<i>Micrathena</i> sp. 1					3	
F. Coriniidae	sp. 1					1	
F. Ctenidae	Indet	1				1	

Táxon	Espécie	São Domingos				Posse	
		Ang (2)	Bez (1)	TR_I (2)	TR_II (1)	GrOn (1)	Rus (1)
	sp. 3			1			
	<i>Enoploctenus</i> sp.			2			
	<i>Isoctenus</i> sp.	1					
F. Gnaphosidae	sp. 1 (*)			1			
F. Linyphiidae	jovem indet		6				
	<i>Meioneta</i> indet		3				
	<i>Meioneta</i> sp. 1					1	
F. Lycosidae	sp. 1	1					
	sp. 3 (*)	3					
	<i>Arctosa</i> sp.(*)	1					
F. Oonopidae	<i>Neotrops</i> indet (*)	1					
F. Pholcidae	<i>Mesobolivar</i> indet			2			1
	<i>Mesobolivar</i> sp. 2	1		3		3	
Sf. Ninetinae	sp. 1						1
F. Prodidomidae	sp. 1 (*)						1
F. Salticidae	sp.2(*)						1
	<i>Noegus</i> sp.1(*)						1
F. Sicariidae	<i>Loxosceles</i> sp. 2	1					
	<i>Loxosceles</i> sp. 3			1			
F. Tetragnathidae	<i>Leucage</i> indet	1				4	
F. Theridiidae	sp. 2					1	
	sp. 4(*)					1	
	<i>Dipoena</i> sp.(*)		1				
	<i>Episinus</i> sp.(*)					2	
	<i>Latrodectus</i>		1				

Táxon	Espécie	São Domingos				Posse	
		Ang (2)	Bez (1)	TR_I (2)	TR_II (1)	GrOn (1)	Rus (1)
	<i>geometricus</i> (*)						
	<i>Theridion</i> sp. 1					4	
F. Thomisiidae	indet(*)		1				
F. Trechaleidae	sp. 1			1			
F. Uloboridae	sp. 1(*)	1					
F. Zodariidae	<i>Tenedos</i> indet(*)	1		2			
So. Mygalomorphae/ F. Nemesiidae	sp. 1(*)			1			
O. Opiliones/ Eupnoi	Indet						4
F. Cosmetidae	<i>Paecilema</i> indet	1	1				
	<i>Paecilema</i> sp. n. (N)	2		7			
	sp. 3 (*)	2					
F. Gonyleptidae	indet(*)	1					
Sf. Pachlinae	sp. 3(*)	1		3			
	<i>Eusarcus</i> sp.			1			
Sf. Trichomatinae	sp. 1(*)					3	
F. Sclerosomatidae	sp. 1			3			
	sp. 2						1
O. Pseudoscorpiones							
F. Atemnidae	sp. 1		3				
F. Chthoniidae	sp. 5			1			
F. Olpiidae	indet (*)			1			
	sp. 2	29				14	
C. Chilopoda							
O. Geophilomorpha	indet (*)					2	1
F. Linotaeniidae	sp. 2 (*)			1			

Táxon	Espécie	São Domingos				Posse	
		Ang (2)	Bez (1)	TR_I (2)	TR_II (1)	GrOn (1)	Rus (1)
O. Lithobiomorpha	indet (*)						1
O. Scolopendromorpha							
F. Scolopendridae/Sf. Cryptopinae	sp. 2 (*)						3
C. Diplopoda							
O. Spirostreptida							
F. Pseudonannolenidae	indet			1			
	<i>Pseudonannolene imbirenses</i>	3		5		3	
	sp. 2	1		2			
C. Entognatha							
O. Diplura	indet			4			
O. Collembola	sp. 1			1			
	sp. 2			1			
F. Entomobryiidae	sp. 1						1
F. Paronellidae	sp. 2 (*)	1					
C. Insecta							
O. Blattaria	ninfas indet					4	
	sp. 2	1					
	sp. 3	4					1
F. Blattellidae	sp. 1			1			
O. Coleoptera	larvas indet			1		1	
	adulto indet	1					
	sp. 1	2					
	sp. 2	1					
	sp. 3	1					1

Táxon	Espécie	São Domingos				Posse	
		Ang (2)	Bez (1)	TR_I (2)	TR_II (1)	GrOn (1)	Rus (1)
	sp. 7		3				
	sp. 19 (*)			1			
F. Cantharidae	sp. 3		1				
F. Carabidae	indet					2	
	larvas indet			1			
Sf. Harpalinae	<i>Nemotarsus</i> sp. 1 (*)	1					
Sf. Harpalinae/ Pterostichini	sp. 1 (*)		1				
Sf. Harpalinae/ Pterostichini/ Agonina	sp. 1	3				7	
Sf. Trechini	<i>Paratachys</i> sp. 1	18					
F. Chrysomelidae	sp. 1						1
	sp. 2 (*)					1	
F. Curculionidae	sp. 2	1					
F. Hysteridae	sp. 1 (*)					1	
	sp. 2 (*)			1			
F. Ptilodactylidae	sp. 1			1			
F. Staphylinidae	larva indet					1	
	indet		7	1			
	sp. 2 (*)	2					
	sp. 4			2			
	sp. 8	1		2			
Sf. Oxytelinae	sp. 1	2					
Sf. Paederinae	sp. 4	1		1		1	
	sp. 5	1					
Sf. Staphylininae	<i>Staphylinini</i> sp. 1	1					

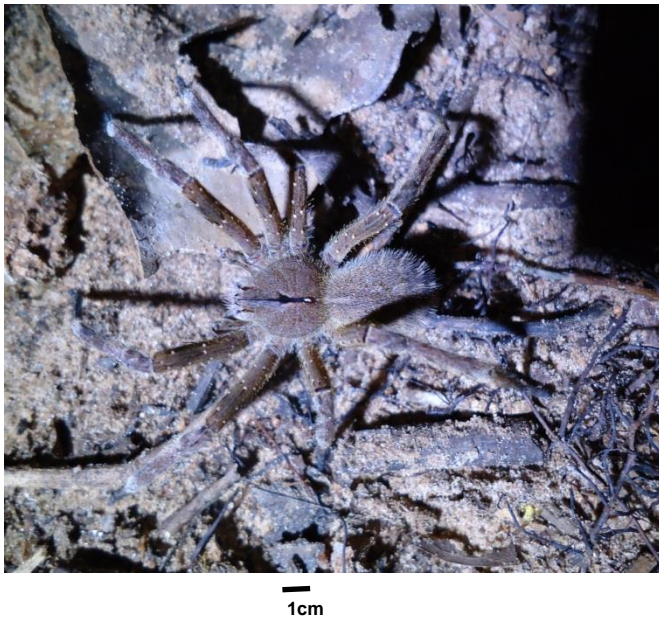
Táxon	Espécie	São Domingos				Posse	
		Ang (2)	Bez (1)	TR_I (2)	TR_II (1)	GrOn (1)	Rus (1)
Sf. Steninae	<i>Stenus</i> sp. 1			1			
Sf. Tachyporinae	sp. 2	5	1	1			
	sp. 3	1					
F. Tenebrionidae	sp. 1			1		1	
	sp. 3 (*)		1	1			
O. Dermaptera/ F. Forficulidae	sp. 1 (*)		2				
O. Diptera	adulto indet			1			
	sp. 1	1					
	sp. 4		2				
	sp. 5		1				
F. Acalyptratae	sp. 3	1					
F. Cecidomyiidae	sp. 1			1			
F. Ceratoponidae	sp. 1			19			
F. Muscidae	sp. 2 (*)			1			
F. Sciaridae	sp. 1					3	
F. Simuliidae	sp. 1			1			
O. Ephemeroptera/ Leptophlebiae	indet	1		1			
O. Hemiptera							
F. Cicadellidae	sp. 3	3		1			
F. Pyrrhocoridae	sp. 1 (*)	2					
F. Reduviidae	sp. 3 (*)		5				
	sp. 4	1					
Sf. Emesinae	sp.3			1			
	<i>Emesa mourei</i> (*)					1	
	<i>Jadera</i> sp. 1 (*)	6					

Táxon	Espécie	São Domingos				Posse	
		Ang (2)	Bez (1)	TR_I (2)	TR_II (1)	GrOn (1)	Rus (1)
O. Hymenoptera	sp. 7		1				
F. Formicidae	sp. 2	48		1		36	
	sp. 5		1				
	sp. 7 (*)			1			
	sp. 8			1			
	sp. 12 (*)	1					
F. Vespidae	sp. 1 (*)	1					
O. Isoptera F. Termitidae/ Sf. Nasutitermitinae	sp. 1	1	1			6	
O. Lepidoptera	larva indet			1			
O. Mantodea/ F. Mantidae	indet (*)	1		1			
O. Orthoptera	sp. 1	1					
	sp. 2	1					
F. Ommexechidae	indet (*)					1	
F. Phalangopsidae	ninfas indet					1	
	gen. n. (N) (*)			1			
F. Trydactilidae	indet (*)			1			
O. Phasmatodea	Indet (*)	1					
O. Plecoptera							
F. Perlidae	sp. 1						2
	sp. 2						1
O. Psocoptera	sp. 1	1	2	1			
	sp. 2		2				
	sp. 3		2				
O. Trichoptera	sp. 1			5			
F. Hydroptilidae	sp. 1 larva					1	

Táxon	Espécie	São Domingos				Posse	
		Ang (2)	Bez (1)	TR_I (2)	TR_II (1)	GrOn (1)	Rus (1)
C. Gastropoda/ O. Pulmonata	conchas	2					
C. Malacostraca/ O. Isopoda							
F. Armadillidae	<i>Venezillo</i> sp.	1					
F. Dubioniscidae	sp. 2	1					1
F. Platyarthridae	<i>Trichorhina</i> sp. 2	1					
C. Clitellata							
O. Haplotaxida/ F. Lumbricidae	indet					3	
Sc. Hirudinea/ F. Acanthobdellidae	indet						1
Filo Platyhelminthes	indet (*)					2	
Filo Onychophora/ Peripatidae(*)	<i>Epiperipatus</i> sp. n. (N)	1					

Apêndice 3. Exemplos da fauna subterrânea presente na área cárstica a nordeste de Goiás. **A**=aranha Ctenidae; **B**=aranha Theridiidae, *Nesticodes rufipes*; **C**=aranha Pholcidae, *Mesobolivar* sp.; **D**=opiliões Cosmetidae, *Paecillema* sp. n.; **E**=amblipígeo *Heterophrynus longicornis* predando um grilo Phalangopsidae, *Endecous* sp.; **F**=miriápode Scolopendromorpha, Scolopendra; **G**=pseudoescorpião Chernetidae; **H**=pseudoescorpião Olpiidae, *Progarypus* sp.; **I**= escorpiões Buthidae, *Tytius* sp.n; fêmea com seu filhote; **J**= escorpião Buthidae, *Tytius* sp.n; **L**=coleóptero Staphylinidae, Pselaphinae troglóbio; **M**=Schizomida, cf. Hubbardiidae, sp. n.; **N**=colêmbolo Paronellidae, *Trogolaphysa* sp., troglóbio; **O**=ácaro Mesostigmata; **P**=isópode, Armadillidae; **Q**=isópode, Dubioniscidae.

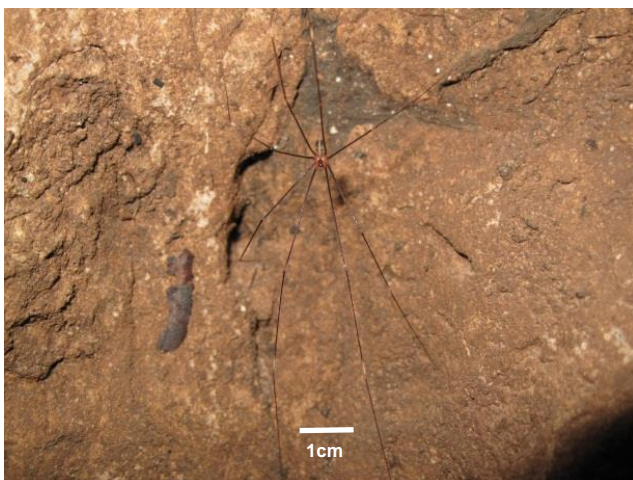
A-



B-



C-



D-



E-



F-



G-



H-



I-



J-



L-



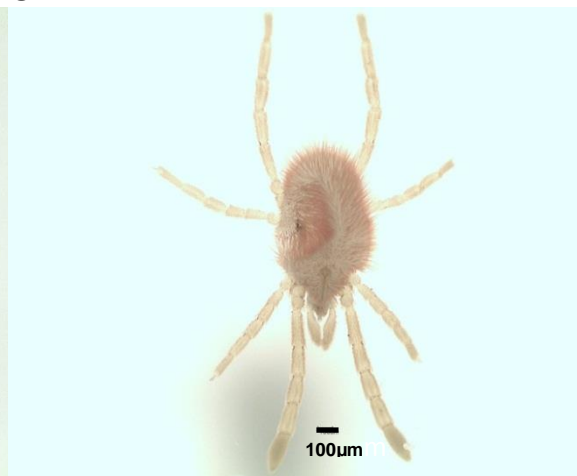
M-



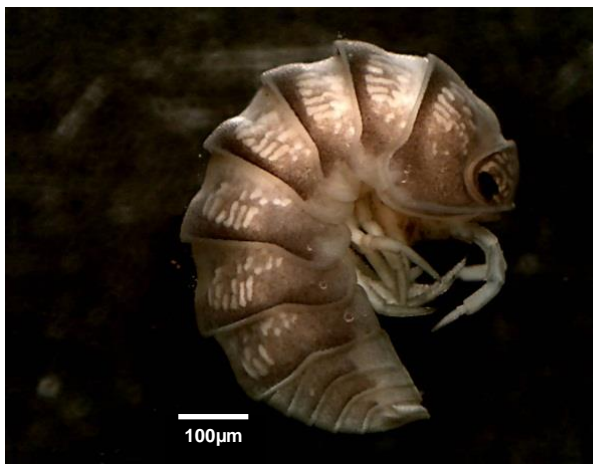
N-



O-



P-



Q-



Capítulo II

Influência da sazonalidade, substrato e zonação na fauna de invertebrados terrestres de uma caverna neotropical, Brasil central

Luiza Bertelli Simões, Diego Monteiro Neto, Jonas Eduardo Gallão & Maria Elina Bichuette^(*)

Laboratório de Estudos Subterrâneos, Departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva (DEBE), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Via Washington Luís, km 235, 13565-905, Caixa Postal 676, São Carlos, SP, Brasil. Telefone: (16) 3351-8798.

*Autor correspondente. E-mail: bichette@uol.com

Resumo

A distribuição da fauna subterrânea ao longo das cavernas pode ser determinada por inúmeras variáveis como o distanciamento das zonas de entrada, o tipo e grau de interações entre as espécies e, principalmente, o número e qualidade de depósitos de matéria orgânica disponíveis nas cavidades. Há diminuição gradativa da luminosidade e de flutuações de temperatura desde o meio superficial até as zonas profundas. Os organismos cavernícolas tendem a apresentar alta riqueza de espécies próximo da região da entrada, diminuindo à medida que se afasta desta. Há muitos elementos capazes de regular as distribuições de espécies, o que dificulta a mensuração de suas respectivas influências na estruturação destas comunidades. No presente estudo, investigamos alguns destes fatores, analisando as distribuições faunísticas em função de diferentes estações do ano, disponibilidade e complexidade de substratos e zonação luminosa em um trecho da caverna Angélica, região de São Domingos, nordeste de Goiás. Verificamos que todos estes fatores influenciaram a composição faunística. A disponibilidade e complexidade de substratos foi o fator mais marcante nas oscilações de riqueza e densidade de espécies. As estações secas apresentaram maior diversidade que as chuvosas. A zona de entrada possui a maior riqueza e diversidade, comparada aos demais setores da caverna. A presença de matéria orgânica e umidade, além de maior complexidade física dos substratos determinaram maior diversidade de espécies. Os substratos secos e impactados por turismo foram os menos diversos. Há relação de preferência de alguns táxons por substratos específicos, como o caso de coleópteros por folhoso. A amostragem pela combinação dos métodos dos quadrados e busca ativa foi eficiente na captura de organismos pouco visíveis. Mesmo com seis ocasiões de coleta não acessamos a riqueza total estimada, o que salienta a importância de réplicas amostrais. Elevada riqueza de espécies não pode ser diretamente associada à boa qualidade ambiental, como foi verificado para a Caverna Angélica, a qual se encontra extremamente vulnerável e ameaçada pelas atividades turísticas na região.

Palavras-chave: caverna Neotropical, fauna subterrânea, invertebrados terrestres, substratos, zonação.

1. Introdução

O meio subterrâneo, ou hipógeo, compreende o conjunto de espaços interconectados do subsolo preenchidos por ar e/ou água, de dimensões que variam desde fraturas milimétricas a grandes cavidades acessíveis aos seres humanos, as cavernas (Howarth 1983). São formados em rocha maciça, especialmente aquelas solúveis como os calcários (onde se desenvolve a maioria das cavernas), ou em depósitos relativamente profundos de sedimentos clásticos, o meio intersticial (Juberthie 2000).

Há relativa estabilidade ambiental nestas cavidades, graças ao efeito de tamponamento da rocha, que promove pequena oscilação de temperatura em torno da média anual da região onde se insere, além de elevada umidade relativa do ar (Culver 1982). A principal peculiaridade deste ambiente é a ausência permanente de luz e, conseqüentemente, exclusão de organismos fotossintetizantes. Assim, há grande dependência do meio superficial para o aporte de recursos alimentares, o que faz com que ambientes subterrâneos geralmente sejam limitados por energia (Poulson & Lavoie 2000).

Existe uma zonação do ambiente cavernícola determinada pela sua distância em relação ao contato direto com o meio epígeo. São reconhecidas três zonas principais, que apresentam distintas características físicas e químicas entre si: zona de entrada, penumbra e afótica (Mohr & Poulson 1966). Há diminuição gradativa da luminosidade e de flutuações de temperatura desde o meio superficial até as zonas mais profundas, além de distribuição diferenciada dos seres vivos (Barr 1968, Poulson & White 1969). Geralmente, as comunidades cavernícolas tendem a apresentar alta riqueza de espécies próximo à região da entrada, diminuindo à medida que se afasta desta (Poulson & Culver 1969, Gomes et. al 2000; Culver & Pipan 2009). Ainda, segundo Novak e colaboradores (2012), há também uma zonação faunística vertical, com maior diversidade de espécies concentrada em zonas de até 10 metros de profundidade, habitantes do meio subterrâneo superficial (MSS).

Apesar destas características limitantes a muitos táxons epígeos, o ambiente subterrâneo apresenta uma grande diversidade de espécies adaptadas a estas condições (Pinto-da-Rocha 1995; Trajano & Bichuette 2010). De acordo com Schiner-Racovitza (1907), os habitantes deste meio podem ser classificados em três categorias ecológico-evolutivas, levando-se em conta sua especialização e dependência do meio subterrâneo.

Os troglóxenos são encontrados regularmente no meio hipógeo, mas precisam retornar ao meio epígeo para completar o seu ciclo de vida (e.g. morcegos). Estes organismos constituem importantes fontes de matéria orgânica, pois depositam regularmente suas fezes no interior das cavernas. Os troglófilos são capazes de completar o seu ciclo de vida tanto dentro como fora do ambiente subterrâneo, constituindo uma fonte de futuros troglóbios, ou seja, apresentam grande potencial para se tornarem restritos ao meio hipógeo. Por fim, os troglóbios são exclusivamente subterrâneos, podendo apresentar diferentes níveis de adaptações morfológicas, fisiológicas e comportamentais relacionadas à sobrevivência no ambiente afótico, os chamados troglomorfismos (*sensu* Holsinger & Culver 1988). A redução ou perda de pigmentação melânica corporal e/ou órgãos visuais, além de alongamento de apêndices sensoriais estão entre os principais exemplos de caracteres troglomórficos.

De maneira geral, a distribuição da fauna subterrânea pode ser determinada por inúmeras variáveis, destacando-se a disponibilidade de recursos alimentares (Poulson & Culver 1969). Dentre estes principais fatores, podemos mencionar o distanciamento das zonas de entrada e captação de rios (vias de contato com o meio epígeo), o número e qualidade de depósitos de matéria orgânica ao longo das cavidades (e.g. guano) e o tipo e grau de interações entre as espécies (e.g. predação e competição) (Hamilton-Smith & Ebehard 2000; Bellati et al. 2003; Culver & Pipan 2009). Há ainda, táxons que só conseguem sobreviver em uma pequena área de condições favoráveis, como por exemplo, depósitos de guano submerso.

Ferreira e colaboradores (2000) sugerem que grandes depósitos de guano podem funcionar como fontes de colonização para manchas de guano menores em condutos subterrâneos. Com o decorrer do tempo, estas manchas perdem qualidade e há decréscimo de táxons na comunidade, que gradativamente saem em busca de novos recursos (Gnaspini & Trajano 2000). O mesmo deve ocorrer para outros tipos de depósitos de matéria orgânica em condutos subterrâneos, como acúmulos de folhiço e troncos trazidos do meio epígeo. Assim, com a exaustão de determinados recursos, podem ocorrer extinções ou fragmentação de populações locais, quando parte dos organismos consegue atingir e colonizar outros ambientes (Poulson & Culver 1969; Decu 1986).

Nestes ambientes, há tanto espécies com distribuições restritas e hábitos alimentares específicos quanto táxons que podem ser encontrados em praticamente toda a extensão das cavidades, de hábitos mais generalistas (e.g. grilos *Endecous* sp., aranhas

Loxosceles sp, hemípteros *Zelus* sp.). A ocorrência de espécies varia principalmente de acordo com as características e disponibilidade dos substratos, bem como a zona da caverna onde estes se encontram. Além disso, seus padrões de abundância também podem se modificar com o tempo. Uma espécie pode ocorrer em um dado local quando nele existam condições e recursos apropriados e quando competidores, predadores e parasitas não a excluam (Begon et al. 1990). No entanto, há também a capacidade de adaptação, de modo que alguns organismos se comportam diferentemente conforme as variações periódicas do meio, o que potencializa suas chances sobrevivência.

A escala temporal e a sazonalidade devem ser igualmente consideradas quando se pretende investigar dinâmicas de comunidades cavernícolas. Em períodos chuvosos, matéria orgânica alóctone é carregada em maior quantidade ao interior das cavidades (Huppopp 2000). Em contrapartida, em épocas secas, a entrada de recursos tanto por infiltração como por carreamento tende a ser limitada. Ainda, com o passar do tempo, manchas de recurso alóctones, carbono orgânico dissolvido e/ou particulado e depósitos de guano perdem qualidade e modificam-se por processos físicos e químicos, provocando alterações na estrutura da comunidade (Gnaspini & Trajano 2000; Simon & Benfield 2001; Simon et al. 2007; Bahia & Ferreira 2009).

De fato, há muitos elementos capazes de influenciar as distribuições faunísticas em ambientes subterrâneos. Em função disso, existe dificuldade em determinar os seus respectivos graus de importância na estruturação de comunidades específicas. No presente estudo, investigamos alguns destes fatores, analisando as distribuições faunísticas em função das diferentes estações do ano (chuvosa ou seca), disponibilidade de substratos e zonação luminosa em um trecho da caverna Angélica, região de São Domingos, nordeste de Goiás. Procurou-se determinar se o grau de complexidade dos substratos é capaz de regular a diversidade e densidade de organismos e ainda, se existe relação de preferência espécie por substrato. Para testar a influência da zonação na distribuição da comunidade, verificamos as ocorrências de espécies em cada setor da caverna, estabelecidos em gradiente de profundidade desde a zona de entrada até os condutos afóticos. Abordamos a importância do número de réplicas e do uso combinado de técnicas de amostragem para o acesso eficiente da fauna. Utilizando os métodos de coleta por busca ativa e por demarcação de quadrados, contemplamos desde os organismos mais ativos e visíveis até os membros inconspícuos.

2. Métodos

2.1. Área de Estudo

A área cárstica de São Domingos, nordeste de Goiás, representa uma das expressões regionais da unidade geomorfológica Bambuí, que constitui o maior conjunto de ocorrências calcárias favoráveis à presença de cavernas no Brasil, com área de aproximadamente 105.200 km². A região abriga grandes sistemas de cavernas, com até 23 km de desenvolvimento e extensas áreas de drenagens subterrâneas e horizontes epicársticos. Rios superficiais pertencentes à Bacia do Paranã (Alto Tocantins) penetram nos calcários após drenar uma extensa região arenítica, formando grandes sistemas de cavernas (Karmann & Setúbal 1984; Auler & Farrant 1996). Em parte destas, há também afluentes superiores na zona vadosa, alimentados por águas de infiltração do epicarste.

A área está inserida em uma Unidade de Conservação, o Parque Estadual de Terra Ronca (PETER), criado há 17 anos, mas ainda com diversos problemas fundiários e de fiscalização, ocorrendo retirada de madeira e pisoteamento por gado próximo às nascentes dos rios. Um agravante é o fato de que as nascentes dos principais rios que atravessam os sistemas de cavernas se encontram fora do limite do Parque (Gallão & Bichuette 2012). (Figura 1A).

A região pertence ao Domínio morfoclimático dos Cerrados (Ab'Saber 1977), com estação seca entre maio e setembro, às vezes se estendendo até outubro (Nimer 1979). O regime de chuvas é caracterizado por enxurradas nos períodos mais chuvosos (outubro a março), que transportam grande quantidade de matéria orgânica para o interior das cavernas.

2.2. A Caverna Angélica

No conjunto de cavernas do PETER, a Caverna Angélica é uma das mais extensas, com cerca de 13,8 km de extensão (fotos no Apêndice 3). É formada por condutos horizontais com variações de profundidade e amplo sistema de drenagem, composto por um rio de porções epígeas e subterrâneas, além de cursos d'água de origem epicárstica.

Ao longo do desenvolvimento, há grande quantidade de salões, com variedade e beleza de espeleotemas, o que atrai o interesse de atividades turísticas. O aumento da

visitação acarreta impactos imensuráveis à fauna, pois o pisoteamento e alteração da estrutura local, além de poluição sonora, são inevitáveis.

Devido à grande extensão da cavidade, apenas um trecho de cerca de 300 metros foi percorrido e amostrado neste estudo, dentro do qual contemplamos diferentes tipos de substratos desde a zona de entrada até condutos afóticos (Figura 1B).

Figura 1.

2.3. Estratificação e zonação da Caverna Angélica

Por meio da observação dos principais itens presentes nos trechos amostrados definimos oito categorias de substratos, que variaram de acordo com a proporção de seus componentes. Consideramos por exemplo, a presença ou ausência de areia, folhiço ou cascalho; solo mais ou menos compactado; predomínio de rochas, entre outras características. Além disso, a presença de umidade local também foi considerada para a categorização (Tabela 1).

Tabela 1.

Durante as amostragens, estabelecemos cinco bases de monitoramento ao longo do trecho em estudo, cada qual apresentando suas características quanto à ocorrência de substratos e intensidade luminosa (Tabela 2). Assim, pudemos garantir que os locais de coleta seriam sempre os mesmos em todas as ocasiões.

Tabela 2.

Para as análises de zonação da fauna, classificamos estas cinco bases em três grupos, de acordo com seu grau de isolamento do meio externo: zona de entrada (Ang01 e 02), penumbra (Ang03) e afótica (Ang04 e 05).

Ao final do estudo, determinamos as áreas totais amostradas para cada tipo de substrato por meio da somatória das áreas de quadrados amostrados, que variaram em cada ocasião de coleta. A variação se deve à disponibilidade destes estratos em diferentes estações do ano e zonas da caverna. Dependendo do período amostrado, os mesmos locais se encontravam mais secos ou úmidos, e mais ou menos acessíveis.

No decorrer do trabalho, utilizaremos as seguintes abreviações para tratar de cada categoria de substrato: RM= rocha mãe; ArgU= argiloso úmida; AU= arenoso úmido; AS= arenoso seco; FO= folhiço; Mix1= misto 1 ; Mix2= misto 2; Mix3= misto 3 (Tabela 1).

2.4. Amostragem da fauna de invertebrados terrestres

Amostramos a fauna de invertebrados terrestres em seis ocasiões: abril de 2010; abril e outubro de 2011; fevereiro, junho e outubro 2012. Contemplamos os diferentes substratos utilizando tanto o método dos quadrados, de áreas de 0,25 m² cada, quanto o método de busca ativa (com exceção de abril de 2010, onde utilizamos exclusivamente a busca ativa). Investigamos todos os micro-habitats potenciais, como acúmulos de folhiço, troncos, depósitos de guano, espaços sob rochas, entre outros, onde os indivíduos eram coletados com auxílio de pinças e pincéis e imediatamente fixados em álcool 70%. Para as bases próximas à zona de entrada, os quadrados foram arremessados, de maneira aleatória, ao longo de uma linha imaginária que percorreu parte do diâmetro da boca da caverna (cerca de 20m), incluindo as margens do rio Angélica. No caso das demais bases, os quadrados foram arremessados, também de modo aleatório, em uma área equivalente ao raio do salão onde esta estava inserida. Para padronizar o esforço de coleta, estabelecemos um tempo de busca de 10 a 15 minutos em cada quadrado, variando de acordo o grau de complexidade do substrato.

Além disso, em duas destas ocasiões (junho e outubro de 2012) amostramos também o entorno epígeo da cavidade. Neste, vasculhamos áreas como acúmulos folhiço, troncos de árvores, troncos caídos e retiramos porções do solo e serapilheira para análise mais acurada em laboratório. A demonstração do uso do método dos quadrados em alguns destes substratos pode ser verificada pelas ilustrações contidas no Apêndice 3.

Posteriormente, morfotipamos os organismos capturados no Laboratório de Estudos Subterrâneos (LES) da UFSCar. Os menores níveis taxômicos possíveis para as identificações foram obtidos por utilização de literatura específica (Borror & DeLong 1969; Brescovit et al. 2002; Zeppelini & Bellini 2004; Rafael et al. 2012). Além disso, parte do material foi enviada aos especialistas de diversos grupos para a confirmação e identificação: Araneae – Dr. Antonio Brescovit (Instituto Butantan); Acari – Dr. Jeferson L. C. Mineiro (Intituto Biológico – Campinas); Coleoptera Carabidae – Dra. Regina Bessi (USP/São Paulo); Coleoptera Staphylinidae – Dr. Edilson Caron (UFPR); Diptera – *Rafaela* Lopes Falaschi(USP/Ribeirão Preto); Hemiptera – Dr. Felipe Moreira (UFRJ, Fio Cruz) e Dr. Helcio Gil-Santana, especialista em Reduviidae; Orthoptera – Dr. Márcio Bolfarini (Laboratório de Entomologia – Unesp/Botucatu); Collembola – Dr. Douglas Zeppelini (UEPB).

Quando a identificação não atingiu o nível de espécie, utilizamos hierarquias superiores e os classificamos em seus morfotipos, constituindo, portanto, categorias taxonômicas confiáveis. Indivíduos imaturos que não puderam ser claramente identificados com base nos exemplares adultos foram excluídos das análises.

Como descrito acima, as ocasiões de coleta contemplaram meses de estações secas e chuvosas. De modo a verificar oscilações na diversidade da fauna local em função da sazonalidade, agrupamos as amostras em categorias menores dentro de cada estação: meio da chuvosa (abril de 2010 e 2011) e final da chuvosa (fevereiro de 2012); meio da seca (junho de 2012) e final da seca (outubro de 2011 e 2012). É importante ressaltar que, para esta abordagem, utilizamos os registros de táxons obtidos tanto pelo método dos quadrados quanto por busca ativa. Em contrapartida, para as análises de zonação e estratificação da fauna, utilizamos apenas os registros obtidos pelo método dos quadrados, já que havia necessidade de mensuração da área amostrada e anotação cautelosa da zona onde cada indivíduo era coletado.

2.5. Análises dos dados

Por meio da construção de uma curva de rarefação de amostragens, verificamos a adição de espécies no trecho amostrado da Caverna Angélica em função do aumento do número de amostragens. Em seguida, calculamos os valores de riqueza e abundância de táxons coletados, índices de Equitabilidade (J), diversidade de *Shannon-Wiener* (H') e *Simpson* (1-D) para cada uma das ocasiões de coleta.

Listamos o total de táxons registrados, enfatizando os registros novos, raros e/ou troglomórficos e, para as espécies amostradas pelo método dos quadrados, definimos também o substrato de suas ocorrências (Apêndice 1). Além disso, quando possível, definimos as categorias ecológico-evolutivas destes táxons. Do mesmo modo, a listagem da fauna epígea do entorno da cavidade é apresentada no Apêndice 2.

Verificamos as riquezas e abundâncias relativas dos principais táxons registrados pela amostragem combinada (métodos de busca visual e quadrados) e, separadamente, para os registros obtidos apenas pelo método dos quadrados. Utilizamos os estimadores de riqueza *Jackknife 1* e 2, *Chao 2* e *Bootstrap* para comparar as riquezas total observada e estimada na Caverna Angélica.

Obtivemos os valores de riqueza e abundância de táxons coletados, índices de Equitabilidade (J), diversidade de *Shannon-Wiener* (H') e *Simpson* (1-D) para as

diferentes estações de coleta (meio e final da chuvosa; meio e final da seca). A seguir, foi gerado um dendrograma de similaridade faunística entre os referidos períodos (*Jaccard, single linkage*).

Para elucidar a composição faunística em cada tipo de substrato, foram gerados gráficos contendo as riquezas e abundâncias relativas dos principais táxons registrados. Além disso, calculamos a densidade de indivíduos por metro quadrado, índices de Equitabilidade (J), diversidade de *Shannon-Wiener* (H') e *Simpson* (1-D) em cada um deles e, a seguir, verificamos a similaridade faunística entre eles (*Euclidean, single linkage*). Utilizando o coeficiente de correlação de *Spearman*, verificamos se houve relação entre a área amostrada e as riquezas e abundâncias obtidas em cada substrato.

Do mesmo modo, para cada tipo de zona, calculamos os valores de riqueza e abundância de táxons, índices de Equitabilidade (J), diversidade de *Shannon-Wiener* (H') e *Simpson* (1-D) e, a seguir, verificamos as similaridades faunísticas entre elas (*Jaccard, single linkage*).

A análise de homogeneidade das amostras mostrou que nossos dados não apresentam distribuição normal. Assim, para comparar as abundâncias médias de espécies entre as diferentes estações, zonas e substratos amostrados, utilizamos o teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis* e, posteriormente, o teste de *Mann-Whitney*, para detectar onde estas diferenças ocorreram.

Todas as análises foram obtidas por meio do Programa PAST versão 2.13 (Hammer et al., 2001), exceto os testes de significância (*Kruskal-Wallis* e *Mann-Whitney*), analisados por meio do programa SPSS (versão 17.0) e as estimativas de riqueza, efetuadas por meio do programa R (versão 2.15.1).

3. Resultados

A curva de rarefação de amostragens (Figura 2) mostrou que, mesmo com um esforço de seis ocasiões de coleta em uma mesma localidade, a assíntota não foi atingida.

Figura 2.

Dentre todas as ocasiões de amostragem, a coleta de junho de 2012 mostrou maiores riqueza, abundância e índices de *Shannon* (H') e *Simpson* (1-D). Na coleta de abril de 2010 registramos menor riqueza, abundância e índices de *Shannon* (H') e

Simpson (1-D). Por fim, verificamos a menor e a maior Equitabilidade (J) nas coletas de outubro de 2011 e fevereiro de 2012, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3.

Ao final de todas as coletas, realizadas pelos métodos combinados (busca ativa e método dos quadrados), registramos 1.041 espécimes pertencentes a 278 táxons, 80 famílias, 31 ordens e nove classes (Apêndice 1). A classe com o maior riqueza de táxons foi Insecta (164; 58%), seguida por Arachnida (96; 34%), Entognatha (9; 3%), Diplopoda (5; 2%), Chilopoda (2; 0,7%), Malacostraca (2; 0,7%), Gastropoda (1; 0,4%), Symphyla (1; 0,4%) e Clitellata (1; 0,4%) (Figura 3A).

Considerando apenas as coletas realizadas pelo método dos quadrados, registramos 524 espécimes, pertencentes a 189 táxons, distribuídas ao longo de todos os oito tipos de substratos pré-definidos. A classe com o maior riqueza de táxons foi Insecta (114; 61%), seguida por Arachnida (60; 32%), Entognatha (6; 3%), Diplopoda (2; 1%), Malacostraca (2; 1%), Gastropoda (2; 1%), Chilopoda (1; 0,5%), Symphyla (1; 0,5%) e Clitellata (1; 0,5%). (Figura 3B).

Figura 3.

Os valores de riqueza e abundância de espécies, índices de Equitabilidade (J), diversidades de *Shannon-Wiener* (H') e *Simpson* (1-D) obtidos tanto nas amostragens combinadas (método dos quadrados + busca ativa) como para o método dos quadrados são descritos na Tabela 4.

Tabela 4.

Observamos que as coletas utilizando unicamente o método de quadrados contribuíram com quase 70% da riqueza e metade da abundância total registradas na caverna. Para ambos os tipos de amostragem, as ordens Araneae, Coleoptera, Diptera, Blattaria foram as mais abundantes. A partir daí, dando continuidade à sequência decrescente de abundâncias, há variação nos grupos obtidos por cada método (Figura 4).

Figura 4.

Dentre as aranhas, registramos duas espécies novas para o gênero *Loxosceles*, família Sicariidae. Ainda, vale ressaltar o registro de um indivíduo epígeo raro da classe Onychophora, provável espécie nova do gênero *Epiperipatus* (C. Sampaio, com. pess.), coletado no entorno da caverna.

Os valores de riquezas estimadas para a Caverna Angélica pelos métodos de *Jackknife 1* e 2, *Chao 2* e *Bootstrap* podem ser visualizados na Tabela 5. Para todos os estimadores, a riqueza observada foi menor que a estimada.

Tabela 5.

Com relação à sazonalidade, o final do período chuvoso foi o que apresentou a menor riqueza, abundância, índice de *Shannon* (H') e *Simpson* (1-D) e maior Equitabilidade (J). O meio da estação seca apresentou os maiores índices de *Shannon* (H') e *Simpson* (1-D) e o final da estação seca as maiores riqueza e abundância e menor Equitabilidade (J) de espécies. De modo geral, obtivemos índices de diversidade semelhantes e elevados para todas as estações (Tabela 6).

Tabela 6.

Observamos que na Caverna Angélica, a sazonalidade é marcante e influencia a composição faunística. Nota-se que os períodos de seca apresentaram as maiores riquezas e abundâncias de espécies. A análise não-paramétrica de *Kruskal-Wallis* mostrou que há diferença significativa entre as abundâncias médias de espécies em cada estação e, posteriormente, o teste de *Mann-Whitney* detectou que esta distinção ocorreu entre o final da chuvosa e todos os outros períodos (Figura 5).

Figura 5.

Ainda, de acordo com a análise de agrupamento (*Jaccard, single linkage*), há elevada dissimilaridade faunística entre os quatro períodos amostrados ($DS_j=0,82$). O meio e o final da estação chuvosa apresentam maior similaridade entre si, comparados aos demais. Porém, durante uma mesma estação a composição de espécies também pode variar, como foi observado para o meio e final da estação seca que aparecem mais dissimilares no dendrograma. (Figura 6)

Figura 6.

Com relação à estratificação da caverna, as áreas amostradas em cada tipo de substrato, tanto por ocasião de coleta quanto para o total de amostras, foram determinadas pela soma das áreas de quadrados amostrados (área de cada quadrado=0,25m²), especificadas na Tabela 7.

Tabela 7.

Utilizando o coeficiente de correlação de *Spearman*, verificamos que não houve relação entre a área amostrada e as riquezas e abundâncias de espécies registradas em cada substrato ($p=0,102$ e $0,183$, respectivamente).

O substrato folhiço apresentou a maior riqueza, abundância, densidade de indivíduos, índice de *Shannon* (H') e *Simpson* (1-D). A areia seca foi o estrato com a menor riqueza, abundância, índice de *Shannon* (H') e *Simpson* (1-D) e maior

Equitabilidade (J). Para a argila úmida verificamos a menor densidade de indivíduos e Equitabilidade (J) (Tabela 8).

Tabela 8.

Para melhor visualização dos resultados, os valores de riqueza, abundância e densidade de táxons obtida para cada tipo de substrato também foram plotados no gráfico de barras (Figura 7A). Observamos que os substratos FO e Mix1 tiveram riquezas e abundâncias muito maiores que os demais. Ainda, FO apresentou densidade de indivíduos por metro quadrado extremamente elevada. O teste de *Kruskal-Wallis* ($H=45,69$) mostrou que há diferença significativa entre as abundâncias médias de espécies em cada substrato e, posteriormente, o teste de *Mann-Whitney* detectou onde estas diferenças ocorreram (Figura 7B). De acordo com observado, o FO e Mix1 são os substratos mais distintos com relação as abundâncias médias de espécies.

Figura 7.

Evidenciamos as riquezas relativas das principais classes presentes em cada tipo de substrato e, dentre estas, as abundâncias relativas dos principais táxons registrados (Figura 8).

As aranhas foram as mais abundantes em todos os substratos, com exceção do FO, onde houve predominância de coleópteros. Registramos a ordem Diptera em todos os tipos de substratos e, em metade deles, esta ocupou a posição de segundo grupo mais abundantes. A ordem Coleoptera também apresentou ampla ocorrência, ausente apenas em RM, e com a segunda maior abundância na outra metade dos substratos. A ordem Blattaria esteve presente na maioria dos substratos, porém apresentou abundância relativamente reduzida em todos. Os colêmbolos foram registrados em todos os substratos. De modo geral, os organismos menos abundantes foram os ácaros, himenópteros, efemerópteros e sínfilos, com ocorrência em apenas quatro tipos de substratos; psocópteros, ortópteros e tisanópteros, presente em apenas três; isópodes, apenas em RM e Mix2; quilópodes, apenas em FO e Mix2; diplópodes e diplurídeos apenas em AU, entre outros táxons destacados nos gráficos a seguir (Figura 8).

Figura 8.

Ainda, de acordo com a análise de agrupamento (*Euclidean, single linkage*), há elevadadissimilaridade entre a composição faunísticadestes substratos ($D=0,98$). Os substratos FO e Mix1 foram os mais singulares no dendrograma (Figura 9).

Figura 9.

Com relação às análises de zonação, comparando-se as três diferentes zonas da caverna e o meio epígeo do entorno, verificamos as maiores riqueza, abundância, índice de *Shannon* (H') e *Simpson* (1-D) na zona de entrada. O meio epígeo apresentou a menor riqueza, Equitabilidade (J) e índices de *Shannon* (H') e *Simpson* (1-D). A menor abundância de táxons e a maior Equitabilidade (J) foram registradas na zona afótica (Tabela 9).

Tabela 9.

Observamos valores muito elevados de riqueza e abundância na zona de entrada, comparados aos demais setores da caverna e ao ambiente epígeo. A riqueza nesta zona foi cerca de duas vezes maior que a penumbra e três vezes maior que a afótica, e a abundância duas e quatro vezes maior que as mesmas. O teste de *Kruskal-Wallis* ($H=8,2$) mostrou que há diferença significativa entre as abundâncias médias de espécies em cada zona e, posteriormente, o teste de *Mann-Whitney* detectou onde estas diferenças ocorreram (Figura 10). As diferenças significativas ocorreram entre a zona de entrada e todos os outros setores amostrados, incluindo o meio epígeo.

Figura 10.

Ainda, de acordo com a análise de agrupamento (*Jaccard, single linkage*), há elevadíssima dissimilaridade faunística entre as três zonas da caverna e o meio epígeo do entorno ($S_j=0,85$). O entorno epígeo representou o meio mais singular, aparecendo isolado no dendrograma (Figura 11).

Figura 11.

4. Discussão

4.1. Riqueza de espécies e o esforço de coleta

A curva de rarefação de amostragem evidenciou que a assíntota está longe de ser alcançada. Em outras palavras, a riqueza de espécies registrada para a Caverna Angélica ainda irá aumentar com a realização de novas coletas. O mesmo foi indicado pelos estimadores de riqueza, que variaram quanto ao número de espécies estimadas e foram sempre maiores pelos métodos *Chao 2* e *Jackknife 2*. Em todos os casos, a riqueza observada foi muito menor que a estimada, o que corrobora o verificado nas curvas de rarefação. Os estimadores *Chao 2*, *Jackknife 2* e *1*, nesta sequência, são os menos enviesados e com a melhor performance em comunidades compostas

predominantemente por espécies com baixas abundâncias (Colwell & Coddington 1994), que é o caso de nossas amostras.

Amostramos apenas uma pequena extensão da caverna, considerando sua grande dimensão e complexidade de substratos. A Caverna Angélica possui cerca de 13 km de extensão (entre galerias, salões, zona epicárstica e condutos), além de complexo sistema de drenagens que inclui não só rios subterrâneos de origem superficial (sumidouros), como rios formados unicamente por água de infiltração epicárstica. Assim, certamente ainda existe uma fauna extremamente rica e escondida, o que evidencia a necessidade de estudos que contemplem a biodiversidade como um todo, por meio do acesso a todos estes habitats potenciais.

O esforço amostral deve ser elevado para que haja acurácia nas estimativas de riqueza, minimizando a produção de inventários com dados enviesados (Hammond 1994; Krow & Culver 2001). Além disso, a combinação de diferentes métodos de coleta é essencial para potencializar o acesso à riqueza de uma comunidade (Culver 1982; Culver & Pipan 2009). Neste sentido, a utilização do método dos quadrados mostrou-se extremamente eficiente, pois este foi o responsável pela maior parte da riqueza e abundância de espécies coletadas. Ademais, o seu uso garante a exploração de inúmeros micro-habitats normalmente negligenciados, potencializando a captura de organismos pouco visíveis, seja pelo seu tamanho corporal diminuto ou por seus hábitos mais inativos e crípticos. De fato, observamos que a maior diversidade de ácaros, colêmbolos e sínfilos foi registrada nas áreas amostradas por quadrados.

Devemos ressaltar que o método permite a mensuração do esforço amostral despendido, o que facilitou a comparação entre a fauna amostrada em cada substrato da caverna. Alguns trabalhos também propõem a utilização de armadilhas de queda (pitfall), porém este método é considerado pouco apropriado, pois pode causar distúrbios às comunidades cavernícolas (Weinstein & Slaney 1995; Sharratt et al. 2000). Além disso, assim como ocorre em coletas por busca ativa, muitas espécies diminutas e/o com baixa capacidade de locomoção não são eficientemente capturadas desta maneira.

4.2. Sazonalidade

Frequentemente, a sazonalidade exerce influência tanto na diversidade como na composição de espécies em uma comunidade (Moreno & Halffter 2000; Trajano &

Bichuette 2006). Contudo, estudos considerando sua influência na composição faunística de ambientes subterrâneos são escassos para as cavernas tropicais, concentrando-se em regiões temperadas (Romero2009). Na região de São Domingos, variações climáticas como temperatura, umidade relativa e regime pluviométrico são evidentes em diferentes estações do ano. Há períodos de seca muito prolongada e também épocas de chuvas torrenciais que podem inundar algumas cavernas devido ao rápido aumento do volume dos rios, como é o caso do sistema Angélica (M.E. Bichuette, com. pess.). Assim, a sistematização de nossas coletas ao longo de três anos de estudo permitiu verificar a ocorrência de espécies igualmente em períodos chuvosos e secos.

De fato, observamos que na Caverna Angélica, a sazonalidade é marcante e influencia a composição faunística. De modo geral, verificamos riquezas e índices de diversidades elevados e semelhantes para todos os períodos amostrados, com exceção do final da chuvosa. A baixa riqueza e diversidade observadas neste período podem estar relacionadas a eventos de enxurradas. A força das águas pode acarretar o arrasto de animais e fazer com que estes busquem refúgio, permanecendo mais entocados que em outros períodos, o que reduz sua ocorrência e visibilidade. Além disso, também acarreta a diminuição de habitats potenciais, na medida em que torna os substratos mais homogêneos.

Os períodos de seca apresentaram maiores riqueza e abundância de espécie, porém, menoresequitabilidades comparados as demais estações. A biologia dos diferentes grupos que compõem uma comunidade é um dos fatores determinantes de suas distribuições ao longo de estações do ano (Begon et al. 1996). Em épocas secas, há o predomínio de espécies capazes de tolerar condições de escassez de recursos e/ou aquelas em que os picos reprodutivos coincidem com este período. Pelegatti-Franco (2004), estudando a biologia de aranhas *Ctenus fasciatus* e *Enoploctenus cyclothorax* em cavernas do Alto do Ribeira, São Paulo, verificou diferenças entre seus períodos reprodutivos, potencializado em meses de inverno seco no caso de *E. cyclothorax*.

Em nossas amostras, registramos maior ocorrência de espécies de aranhas, dípteros e pseudoscorpíões nas estações secas. Dentre elas, podemos destacar as aranhas *Loxosceles* sp. e *Plato* sp., a maioria dos dípteros (principalmente as famílias Chironomidae e Mycetophylidae) e praticamente todos os pseudoscorpíões registrados. A maior ocorrência destas aranhas deve estar relacionada à maximização de seu sucesso reprodutivo, devido à maior chance de preservação de suas ootecas durante a seca. Em

períodos chuvosos, a água de enxurradas pode ocasionar a destruição de suas teias e estruturas reprodutivas, além de afetar populações de organismos pequenos e com mobilidade restrita, como os pseudoscorpídeos.

As variações climáticas são responsáveis pelo início do período reprodutivo e oscilações na diversidade de muitos insetos em ambientes tropicais (Wolda 1978, Chapmann 1998). Muitas espécies de dípteros possuem dois picos reprodutivos anuais e um deles geralmente coincide com as estações mais secas de inverno (Mendes & Linhares 2002), nas quais verificamos ampla ocorrência do grupo. Ainda, deve-se considerar que nestes períodos alguns organismos troglófilos adentram as cavernas, concentrando-se principalmente nas zonas de entradas, em busca de condições ambientais mais amenas que as verificadas no meio epígeo, o que explicaria o aumento da riqueza e abundância de espécies (Kjærandsen 1993). Outros fatores como interações entre espécies e partilha de recursos devem interferir na riqueza e abundância observada em diferentes estações (Poulson 1992).

O elevado coeficiente de Dissimilaridade de *Jaccard* obtido comparando-se a fauna de cada estação reforça a singularidade entre elas. Com relação à composição de espécies, o meio e o final da estação seca apresentam maior similaridade entre si quando comparados às demais. Porém, durante uma mesma estação a composição de espécies pode variar, como foi observado para o meio e final da estação chuvosa, que aparecem mais dissimilares no dendrograma. Estes resultados ressaltam a importância em se amostrar uma mesma localidade em várias ocasiões, contemplando diferentes épocas do ano. É comum que ocorram distúrbios naturais inesperados, como enxurradas ou períodos de seca prolongada. Assim, estudos baseados em baixo número de amostragens (*e.g.* Bernardi et al. 2011; Souza-Silva 2008; 2011) são incapazes de detectar mudanças significativas na composição faunística em função da sazonalidade.

4.3. Substratos

De maneira geral, a distribuição da fauna subterrânea pode ser determinada por inúmeras variáveis, destacando-se a disponibilidade de recursos alimentares (Poulson & Culver 1969; Poulson & White 1969; Culver 1982). A classificação dos substratos como ricos ou pobres em recursos é uma tarefa complexa, pois deve ser inferida considerando-se as espécies presentes, bem como as relações existentes entre elas e o ambiente. Contudo, frequentemente esta classificação é realizada apenas com base na

percepção do coletor. Vale lembrar que não só a quantidade de matéria orgânica depositada, como a idade e propriedades nutricionais destes depósitos, são características que influenciam a distribuição e composição faunística (Decu 1986; Begon et al. 1990; Gnaspini-Netto 1989; Ferreira et al. 2007). Um grande depósito de guano, por exemplo, nem sempre é rico em recursos, pois a porcentagem de matéria orgânica parece reduzir à medida que este envelhece (Bahia & Ferreira 2009). A associação entre fauna e substratos é uma ferramenta útil para o reconhecimento dos setores mais ricos, ou potencialmente ricos, em ambientes heterogêneos, como é o caso de cavernas (Ferreira & Martins 2010). Verificamos grande singularidade faunística entre os substratos amostrados na Caverna Angélica, com as maiores riquezas no FO, Mix1 e Mix2. O FO representa o estrato com maior quantidade de matéria orgânica e, consequentemente, maior probabilidade de conter recursos disponíveis à fauna. Os substratos mistos são dotados de maior complexidade estrutural, o que resulta em uma ampla gama de micro-hábitats potenciais distribuídos de modo heterogêneo. Ainda, a configuração destes substratos oferece maior proteção contra a perda de umidade e exposição a predadores potenciais (Ferreira & Silva 2001).

Alguns táxons diminutos (*e.g.* colêmbolos, ácaros, isópodes e larvas de coleópteros) possuem maior relação área e massa corporal, o que aumenta a necessidade de conservação de água para a manutenção de suas atividades fisiológicas (Cloudsley-Thompson 1980). Os substratos mais ricos em matéria orgânica e com estruturação física complexa são capazes de reter mais umidade, promovendo melhores condições para o estabelecimento de diferentes táxons (Krebs 2008). Tal fato pode ser embasado em trabalhos sobre a fauna subterrânea de outras áreas cársticas, como foi verificado para o sistema Mammoth Cave, Estados Unidos. Neste sistema, Poulson e Culver (1969) registraram maior diversidade de artrópodes terrestres em setores onde havia depósitos de matéria orgânica. Igualmente, Humphreys (1991) observou maior retenção de água em acúmulos de folhido de uma caverna semi-árida do oeste australiano, substrato onde registrou maior riqueza de espécies. Em nossas amostragens, registramos as maiores riqueza e abundância de espécies em substratos que continham maior quantidade de matéria orgânica e/ou complexidade estrutural, corroborando este padrão faunístico.

Por outro lado, observamos as menores riquezas em AS e Mix3, possivelmente devido à falta de umidade no primeiro e ao elevado grau de pisoteamento e interferência antrópica no segundo. Ambos representam hábitats pobres em recursos e de estruturação

física mais homogênea, oferecendo possibilidades restritas de sobrevivência à maioria dos organismos da comunidade. É importante ressaltar que amostramos as menores áreas nestes substratos. Devido às diferentes disponibilidades dos substratos em cada estação e zona da caverna, houve variação em áreas amostradas, na medida em que os locais de coletas e encontravam mais secos ou úmidos e mais ou menos acessíveis. Porém, o esforço amostral não esteve relacionado à riqueza e abundância de espécies em nossas amostras. De fato, um dos três substratos com menores áreas amostradas foi o FO e, no entanto, demonstrou ser o substrato mais rico e abundante. Este dado destaca a importância da matéria orgânica e disponibilidade hídrica na distribuição de organismos subterrâneos (Poulson & Culver 1969; Culver 1982; Howarth 1983; Humphreys 1991).

Nestes ambientes, as associações táxons-substratos podem ser base para a especulação da distribuição de organismos em outras cavidades com características semelhantes (*e.g.* mesma litologia, latitude e história geomorfológica), auxiliando na previsibilidade da diversidade local. Além disso, pode-se também classificar um substrato quanto a sua disponibilidade de recursos com base na biologia das espécies presentes. Quanto mais espécies são associadas conjuntamente a um determinado recurso ou substrato, maiores as chances de averiguarmos a qualidade dos mesmos em ambientes subterrâneos similares (Ferreira & Pompeu 1997). Porém, estas associações devem ser propostas com cautela, pois cada caverna e/ou ambiente subterrâneo frequentemente apresentam características únicas, mesmo que aparentemente existam muitas semelhanças entre eles (Culver & Sket 2000, Trajano et al. 2012). Além disso, é necessária a sistematização de amostragens contemplando diferentes épocas do ano, pois a proposição de padrões de distribuição faunística baseados em uma única ocasião de coleta certamente será enviesada (*e.g.* Ferreira & Martins, 2010).

De acordo com o observado em campo e corroborado por nossos resultados, os coleópteros mostraram clara preferência pelo FO, representando metade do total de táxons registrados neste substrato. Além disso, o grupo também apresentou ampla ocorrência, ausente apenas em RM, e o segundo mais abundante em metade dos substratos. Como mencionado, a Caverna Angélica possui um sistema de drenagem extenso e perene, de modo que os substratos mais próximos à margem dos rios frequentemente são abastecidos por folhiço e matéria orgânica trazidos do meio epígeo. Desta maneira, a ocorrência destes organismos é favorecida por um aporte de recursos

quase contínuo e, em épocas de escassez, estas populações provavelmente exploram os substratos adjacentes.

De modo geral, os táxons que ocorreram em menos substratos são organismos de menores dimensões corporais e capacidade de dispersão limitada (*e.g.* colêmbolos, isópodes e pseudoscorpões). Ao contrário, os grupos mais registrados são indivíduos com maior mobilidade e/ou hábitos alimentares mais generalistas, como é o caso da maioria das aranhas e dípteros. As aranhas foram as mais abundantes em todos os substratos (exceto FO) e os dípteros ocorreram em todos eles, ocupando a posição de segundo grupo mais abundante. A maioria das espécies de aranhas não apresenta dependência de recursos específicos (Cardoso et al. 2011) e exploram recursos em diferentes setores da caverna, o que explica sua ampla ocorrência nos substratos. A elevada capacidade de dispersão e o hábito generalista dos dípteros lhes permitem transitar entre todos os habitats potenciais em busca de condições favoráveis a alimentação e reprodução (Johnson 1969; Kjærandsen 1993). De acordo com Jefferson 1983, estes são o táxon mais abundante nas zonas de entrada de cavernas, onde buscam refúgio e condições climáticas amenas.

A baixa captura de baratas e grilos certamente ocorreu em função do método de coleta, já que estes táxons são comumente encontrados nesta e em outras cavernas da região (Pinto-da-Rocha 1995; Trajano 1987; Trajano & Gnaspini 1991) e, no entanto, estiveram reduzidos em nossas amostras. Estes organismos possuem hábitos alimentares generalistas e são frequentemente muito ativos, o que dificulta a sua coleta em áreas delimitadas por quadrados. De fato, verificamos que a maior parte destes indivíduos foi capturada unicamente por meio de busca ativa.

Apresentamos aqui algumas tendências de distribuição dos principais grupos amostrados. Para o estabelecimento acurado de associações entre espécies e substratos é necessária a realização de estudos populacionais em longo prazo, proporcionando o pleno conhecimento da biologia dos grupos. Porém, estas abordagens demandam um trabalho árduo em grande escala temporal, como demonstrou Bessi (2005), que acompanhou uma população de coleópteros cavernícolas (Carabidae, *Schizogenius ocellatus*) no sistema Areias (SP), durante 23 meses consecutivos.

A dificuldade da observação de preferências também pode ser devida a proximidade física entre os substratos. É comum haver contato direto entre diferentes substratos ao longo dos ambientes subterrâneos, de modo que organismos mais associados a um deles podem ser ocasionalmente registrados em outro.

4.4. Zonação

A proximidade de cada trecho da caverna com o meio epígeo adjacente influencia diretamente na dinâmica de comunidades subterrâneas (Poulson & White 1969). As zonas mais profundas recebem um aporte reduzido de recursos do meio externo, comparadas aos locais onde há algum contato com o meio superficial (*e.g.* entrada de cavernas, zona de captação de rios, clarabóias). De acordo com Novak e colaboradores 2012, há zonação faunística vertical, com maior diversidade de espécies concentrada em zonas de até 10 metros de profundidade, habitantes do meio subterrâneo superficial (MSS) e das zonas de entrada.

Para a Caverna Angélica, registramos valores de riqueza, abundância e diversidade de espécies muito maiores na zona de entrada quando comparados às demais zonas da caverna. O mesmo padrão de riqueza foi observado em outros estudos em diferentes áreas cársticas (Poulson & Culver 1969; Ferreira & Pompeu 1997; Prous et al. 2004; Novak et al. 2012). No entanto, devemos ser cautelosos ao considerarmos padrões propostos por outros autores, pois é necessário que estes se baseiem em elevado esforço amostral, diferentemente de Prous e colaboradores (2004) ao estudarem duas cavernas calcárias do município de Pains, Minas Gerais. Neste estudo, os resultados podem ser enviesados e relacionados à época do ano amostrada (uma única ocasião de coleta), que certamente favoreceu a ocorrência de algumas espécies em detrimento de outras. Nossas amostragens nos permitiram verificar esta tendência ao longo de estações secas e chuvosas, distribuídas em dois anos de estudo, o que reforça o resultado encontrado.

As zonas de entrada representam regiões de transição entre o ambiente epígeo e o hipógeo, podendo ser caracterizadas como ecótonos, onde encontramos tanto elementos dos ambientes adjacentes quanto exclusivos (Culver 2005; Culver & Pipan 2009). Este ambiente pode abrigar grande diversidade de espécies e suas comunidades são capazes de influenciar o funcionamento de todo o ecossistema cavernícola (Gibert 1997; Culver 2005; Prous 2005). Nesta faixa, organismos troglófilos e troglóxenos são predominantes e atuam na dinâmica energética, na medida em que transitam entre superfície e subterrâneo, depositando suas fezes e carcaças após a morte (Peck 1976).

Verificamos alta singularidade faunística da zona de entrada da Caverna Angélica, que apresentou diferenças significantes na abundância média de espécies tanto com relação às zonas de penumbra e afótica quanto ao meio superficial. Nesta faixa,

registramos a maioria das espécies troglófilas que certamente exploram recursos do meio epígeo e se abrigam nas zonas de entrada, elevando sua riqueza e diversidade. Este padrão de utilização de cavernas já foi verificado para algumas espécies de grilos e opiliões em outras áreas cársticas (Gnaspini 1996; Santos & Gnaspini 2002; Taylor et al. 2004).

Ainda há poucos estudos abordando as zona de entrada de cavernas como ecótono e, em grande parte destes, a delimitação de sua faixa de ocorrência é definida de forma subjetiva (Culver & Poulson 1970; Gilbert et. al. 1970; 1997; Prous et al. 2004). A dificuldade de sua definição provém da influência simultânea de inúmeros fatores que, periodicamente, podem retrair ou expandir estes compartimentos, como é o caso de variações sazonais e o trânsito de animais (Culver 2005).

Para o meio epígeo do entorno, obtivemos a menor riqueza e diversidade, provavelmente devido ao baixo número de réplicas amostrais (apenas duas das seis ocasiões de coleta). Assim, espera-se que estes valores aumentem com novas amostragens, pois de acordo com Sket (1999) e Culver & Sket (2000), o ambiente epígeo oferece maior quantidade e complexidade de micro-habitats, capazes de abrigar muito mais espécies que os ambientes hipógeos adjacentes. Neste sentido, podemos ressaltar o registro raro de um indivíduo epígeo da classe Onychophora, gênero *Epiperipatus*, que provavelmente será descrito como espécie nova (C. Sampaio, com. pess.). Para esta área cárstica, os únicos registros anteriores pertencem à espécie *Peripatus evelinae*, com ocorrência descrita para o sistema São Mateus, região de São Domingos (Dessen et al. 1980).

A análise de similaridade faunística também evidenciou elevada distinção entre as três zonas da caverna e o meio epígeo, destacando a fauna epígea como a amostra mais singular. Algumas espécies subterrâneas são capazes de transitar livremente por toda a extensão da cavidade, ocupando uma ou mais zonas simultaneamente. Ao contrário, espécies epígeas têm baixa probabilidade de sobrevivência no meio subterrâneo, de modo que apenas alguns grupos pré-adaptados são capazes de tolerar as condições diferenciais e peculiares a estes sistemas, estabelecendo populações viáveis (Barr 1968; Trajano & Bichuette 2006).

Assim, o meio epígeo certamente possui maior número de espécies exclusivas, comparado as diferentes zonas da caverna (Sket 1999). Devemos destacar a relevância em se preservar o ambiente do entorno das cavidades (o que inclui seu sistema de drenagens), pois além de ser a principal fonte de recursos orgânicos, abriga inúmeras

espécies troglófilas e troglógenas (Culver & White 2005; Sket 2008). Ainda, é importante salientar que as populações troglófilas são a maior fonte de origem de espécies troglóbias, devido a eventos de extinção de suas populações epígeas, que as tornam exclusivas de ambientes subterrâneos (Trajano 1995).

4.5. Influências e ameaças à biodiversidade local

Os resultados do presente estudo mostraram que a sazonalidade, zonação e disponibilidade de substratos ao longo do ambiente influenciam a composição de espécies nesta cavidade. No entanto, estes fatores não devem ser considerados de maneira isolada para a determinação de padrões faunísticos. As comunidades observadas são resultado da interação destas e de outras variáveis, cada qual com seu nível de importância na estruturação, e mudanças em uma delas frequentemente refletem em outra.

Os substratos mistos ocorreram em praticamente toda a extensão do trecho amostrado, assim como os depósitos de matéria orgânica e folhiço. Estes últimos se distribuem principalmente nas zonas de entrada, mas também estão presentes em condutos afóticos, graças ao carregamento constante de material alóctone pelo sistema de drenagem e eventos de enxurradas. No entanto, ainda que situados em zona de penumbra ou afótica, estes substratos apresentaram maiores riqueza e abundância de organismos. Desta maneira, independente da zona amostrada, a complexidade dos substratos mostrou ser mais importante na determinação da ocorrência de espécies na caverna em estudo.

É importante destacar que, desde o ano 2000, não há controle efetivo do número e frequência de grupos de turistas na região (M. E. Bichuette, obs. pess.). A Caverna Angélica é uma das mais visitadas do PETER e, em algumas ocasiões, os grupos chegam a percorrer toda a sua extensão. Em nossas observações em campo, notamos que há apenas esparsas manchas de guano ao longo de seus condutos, reduzidas provavelmente devido ao impacto antrópico (pisoteamento e poluição sonora, afugentando morcegos). De fato, organismos comumente registrados nestes depósitos em diversas cavernas brasileiras, como os ácaros e colêmbolos (Trajano & Gnaspini 1991; Ferreira & Pompeu 1997; Zeppelini-Filho 1994), foram pouco amostrados em nosso trabalho. Certamente, estes impactos antrópicos descontrolados são os principais

responsáveis pela aparente redução destas e de outras populações subterrâneas na região.

Durante nossas amostragens, observamos que alguns trechos da zona afótica, em especial alguns salões próximos ao rio epicárstico, se encontram muito impactados por visitação turística. Nos últimos três anos, houve uma redução significativa de algumas espécies comumente avistadas e/ou coletadas nestes trechos (*e.g.* colêmbolos e coleópteros nas margens do curso d'água; lepidópteros da família Tineidae nas paredes e em rocha mãe). Igualmente, houve diminuição na frequência de avistamentos de amblípigeos *Heterophrynus longicornus* e opiliões *Paecilema* sp.n (espécie nova em fase de descrição; R. Pinto-da-Rocha, com. pess.). Ademais, é visível a alteração da estrutura física nos condutos que recebem fluxos de turistas, onde constatamos elevado grau de compactação e perda da heterogeneidade de substratos, o que certamente promove mudanças em variáveis ambientais locais (Lino 2001; Auler & Zogbi 2005; Donato & Ribeiro 2011).

Ainda que haja perturbações, verificamos elevada riqueza total e táxons muito abundantes, de modo que as comunidades desta cavidade apresentam alta resiliência perante aos distúrbios. No entanto, esta riqueza é representada por pequeno número de hierarquias elevadas (acima do nível de família), provavelmente devido à diminuição da heterogeneidade ambiental e da disponibilidade de nichos. Em outras palavras, elevada riqueza de espécies não pode ser diretamente associada à boa qualidade ambiental. Mais do que o número absoluto de espécies, devemos verificar a composição das comunidades, observando sua diversidade quanto aos grupos taxonômicos presentes. Inúmeros trabalhos revelam o elevado grau de singularidade faunística entre ambientes subterrâneos (Culver & Sket 2000, Ferreira 2005, Ioana et al. 2001; Culver et al. 2006) e, independente de qualquer característica em comum, cada caverna possui atributos distintos e relevantes, não havendo possibilidade de uma equivaler a outra.

Assim, é inadequado considerarmos unicamente a riqueza e diversidade local observada para a atribuição de valores biológicos a uma área, uma vez que este índice isoladamente não é efetivo para a comparação entre diferentes ambientes, regiões ou táxons (Pärtel et al. 2011). No caso dos habitats subterrâneos, valores numéricos de diversidade alfa não refletem as singularidades óbvias desses ambientes, as quais constituem a principal justificativa para sua conservação (Trajano et. al 2012).

O trecho amostrado representa apenas uma pequena fração de toda a caverna que, apesar de muito conhecida, ainda não foi devidamente estudada quanto a sua biologia.

A elevada riqueza registrada revela o enorme potencial para descobertas faunísticas e reforça a importância de planejamentos para o controle efetivo da visitação local, considerando-se a vulnerabilidade do ambiente. Os resultados reforçam a ideia de que o esforço de coleta necessário para se acessar a riqueza total em uma área não pode ser estabelecido com certeza (Dole-Olivier 2009), pois mesmo em seis ocasiões de coleta não nos aproximamos da riqueza estimada.

Em função disso, cabe ao pesquisador demandar o maior esforço possível tanto com relação ao número e frequência de coletas quanto a observações naturalísticas, de modo a evitar a divulgação de dados incompletos ou enviesados. Porém, isto não significa que estudos científicos devam ser efetuados com base em amostragens excessivas (*e.g.* Jordão-Silva 2006, Zampaulo & Ferreira 2009). As comunidades subterrâneas são compostas por espécies mais sensíveis a distúrbios e geralmente necessitam maior tempo para seu restabelecimento (Poulson 1964; Culver 1982). A falta de cautela no dimensionamento das amostragens é uma armadilha ao pesquisador que, ao invés de compilar argumentos em prol da conservação, pode acabar impactando seu próprio objeto de estudo.

5. Conclusões

A combinação de diferentes métodos de coleta é essencial para o acesso da riqueza de uma comunidade. A utilização do método dos quadrados, além do tradicional método de busca ativa, mostrou-se extremamente eficaz na captura de organismos pouco visíveis, seja pelo seu tamanho corporal diminuto ou por seus hábitos mais inativos e crípticos. Além de garantir a exploração de inúmeros micro-habitats potenciais normalmente negligenciados, também permite a mensuração do esforço amostral despendido, facilitando a comparação de dados.

A sazonalidade, zonação e disponibilidade de substratos ao longo do ambiente influenciam a composição de espécies nesta cavidade. No entanto, estes fatores não devem ser considerados de maneira isolada para a determinação de padrões faunísticos. Independentemente da zona amostrada, a complexidade dos substratos mostrou ser mais importante na determinação da ocorrência de espécies na caverna em estudo. A heterogeneidade de possíveis micro-habitats em ambientes subterrâneos promove condições para a formação de comunidades complexas.

Elevada riqueza de espécies não pode ser diretamente associada à boa qualidade ambiental, como foi verificado para a Caverna Angélica, a qual se encontra extremamente vulnerável e ameaçada pelas atividades turísticas na região. Mais do que o número absoluto de espécies, devemos verificar a composição das comunidades, observando sua diversidade quanto aos grupos taxonômicos presentes. É visível a alteração da estrutura física nos condutos que recebem grande fluxo de visitantes, onde constatamos elevado grau de compactação e perda da heterogeneidade de substratos.

Planos de manejo mal elaborados e feitos às pressas para atender uma necessidade burocrática são uma ameaça imensurável aos ambientes naturais. Cabe aos pesquisadores salientar a importância da cautela na tomada de decisões relacionadas ao estabelecimento de áreas prioritárias para conservação.

6. Agradecimentos

Agradecemos aos colegas do Laboratório de Estudos Subterrâneos pelo auxílio na obtenção dos espécimes em campo (C.S. Fernandes; P.P Rizzato; T. Zepon); ao Dr. Gustavo Henrique de Carvalho e à MSc. Denise Rodrigues Bueno, pelo auxílio nas análises estatísticas; ao guia de campo Ramiro Hilário; ao auxílio financeiro FAPESP (processo nº 2010/08459-4) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio de concessão da bolsa de mestrado à primeira autora (#132981/2011-4). Todas as coletas foram feitas respeitando as leis estaduais (autorização para pesquisa científica em unidade de conservação SEMARH nº 063/2012) e federais brasileiras (SISBIO # 28992-1). Agradecemos também ao PPGERN/UFSCar pela infraestrutura para execução do presente.

7. Referências

- Ab'Saber, A. 1977. Os domínios morfoclimáticos da América do Sul. *Geomorfologia*, 52: 1-21.
- Auler A. & Farrant A.R. 1996. A brief introduction to karst and caves in Brazil. **Proceedings of University of Bristol Speleological Society**, 20(3): 187-200.
- Auler A. & Zogbi L. *Espeleologia: noções básicas*. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2005.

- Bahia G.R. & Ferreira R.L. 2009. Influência das características físicoquímicas 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**, 7(1).
- Barr, T.C. 1968. Cave ecology and the evolution of troglobites. **Evolutionary Biology**, 2: 35-102.
- Begon M.; Harper J.L. & Townsend C.R. 1996. Ecology: individuals, populations and communities. **Blackwell Scientific Publications, Oxford**. 945p.
- Bellati, J.; A.D. Austin & N.B. Stevens. 2003. Arthropod diversity of a guano and non-guano cave at the Naracoorte Caves world heritage area, South Australia. **Records of the South Australian Museum Monograph Series**, 7: 257-265.
- Bessi R.P. 2005. Dinâmica populacional do carabídeo cavernícola *Schizogenius ocellatus* Whitehead, 1972 (Coleoptera) e sua recuperação após eventos de enchentes (Sudeste do Estado de São Paulo, Brasil). *Tese de doutorado*, Universidade de São Paulo, SP, Brasil.
- Borror D.J. & D.M. Delong. 1969. **Introdução ao estudo dos insetos**. Agência norte-americana para o desenvolvimento internacional, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 653 p.
- Brescovit A.D. et al. 2002. Araneae. *In*: Joachim Adis (eds.). **Amazonian Arachnida and Myriapoda**. Pensoft Publishers, Sofia-Moscow. p. 303-343.
- Cardoso P. et al. 2011. Global patterns of guild composition and functional diversity of spiders. **PLoS ONE**, 6(6): e21710.
- Chapman R.F. 1998. **The Insects: Structure and Function**. Cambridge: Cambridge University Press.
- Cloudsley-Thompson J.L. 1980. **Microecologia**. São Paulo: E.P.U./EDUSP. 2, 58 p.
- Colwell R.K. & Coddington J.A. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B**, 345:101-118.
- Culver D.C. 1982. **Cave Life - Evolution and Ecology**. Cambridge: Harvard University Press.
- Culver D.C. 2005. Ecotones. *In*: D. C. Culver e W. B. White (eds.). **Encyclopedia of caves**. Elsevier Academic Press, California. p. 206-208.
- Culver D.C. & Poulson T.L. 1970. Community boundaries: faunal diversity around a cave entrance. *In*: **Annales Spéléologie**. 25(4): 853-860.

- Culver D.C. & Sket B. 2000. Hotspots of subterranean biodiversity in caves and wells. **Journal of Cave and Karst Studies**, 62: 11–17.
- Culver D.C. & White W.B. 2005. **Encyclopedia of caves**. Burlington, VT: Elsevier, p. 427-430.
- Culver D.C. et al. 2006. The mid-latitude biodiversity ridge in terrestrial cave fauna. **Ecography**, 29(1): 120-128.
- Culver D.C. & Pipan T. 2009. **Biology of Caves and Other Subterranean Habitats**. Oxford: Oxford University Press, 254 p.
- Decu V. 1986. Some considerations on the bat guano synusia. **Travail du Institut de Spéologie “Emile Racovitza”**, 25(1):41-51.
- Donato C.R. & Ribeiro A.S. 2011. Caracterização dos impactos ambientais de cavernas do município de Laranjeiras, Sergipe. **Caminhos de Geografia**, 12(40).
- Ferreira R.L. & P.S. Pompeu 1997. Fatores que influenciam a riqueza e a diversidade da fauna associada a depósitos de guano na Gruta Taboa, Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil. **O Carste**. 2(9): 30-33.
- Ferreira R. L.; Martins R. P. & Yanega D. 2000. Ecology of bat guano arthropod communities in a brazilian dry cave. **Ecotropica**, 6:105-116
- Ferreira R.L. & Silva M.S. 2001. Biodiversity under rocks: the role of microhabitats in structuring invertebrate communities in Brazilian outcrops. **Biodiversity & Conservation**, 10(7): 1171-1183.
- Ferreira R.L. 2007. Structure of bat guano communities in a dry Brazilian cave. **Tropical Zoology**, 20:55–74
- Ferreira R.L. & Martins R.P. 2010. Mapping subterranean resources: The cave invertebrates distribution as indicator of food availability. **Revista Brasileira de Zoociências**, 11(2).
- Gallão J.E. 2012. Estado de conservação e dados de distribuição da fauna troglóbia brasileira com propostas de áreas prioritárias para proteção. *Tese de Mestrado*, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 93 p.
- Gallão J.E. & Bichuette M.E. 2012. A Lista de Fauna Ameaçada de Extinção e os Entraves para a Inclusão de Espécies—o Exemplo dos Peixes Troglóbios Brasileiros. **Natureza & Conservação**, 10(1): 83-87.
- Gnaspini-Netto P. 1989. Análise comparativa da fauna associada a depósitos de guano de morcegos cavernícolas no Brasil. Primeira aproximação. **Revista Brasileira de Entomologia**, 33(2): 183-192.

- Gnaspini P. & Trajano E. 2000. Guano communities in tropical caves. **Ecosystems of the World**, 251-268.
- Gomes F.T.D.M.C.; Ferreira R.L. & Jacobi C.M. 2000. Comunidade de artrópodes de uma caverna calcária em área de mineração: composição e estrutura. **Revista Brasileira de Zoociências**, 2(2).
- Hamilton-Smith E. & Ebehard S. 2000. Conservation of cave communities in Australia. *In*: H. Wilkens, D.C. Culver and W.F. Humphreys (eds.). **Subterranean ecosystems**, 647-664. Elsevier Press, Amsterdam, The Netherlands.
- Holsinger J.R. & Culver D.C. 1988. The invertebrate cave fauna of Virginia and a part of eastern Tennessee: Zoogeography and ecology. **Brimleyana**, 14:1-162.
- Howarth F.G. 1983. Ecology of cave arthropods. **Annual Review of Entomology**, 28: 365-389.
- Humphreys W.F. 1991. Experimental re-establishment of pulse-driven populations in a terrestrial troglobite community. **Journal of Animal Ecology**, 60: 609-623.
- Huppopp K. 2000. How do cave animals cope with the food scarcity in caves?. **Ecosystems of the world**, 159-188.
- Jefferson G.T. 1983. The threshold fauna. **Studies of Speleology**, 4, 53-59.
- Johnson C.G. 1969. **Migration and dispersal of insects by flight**. Methuen & Co Ltd, London, p. 763.
- Jordão-Silva F. 2006. Invertebrados de cavernas do Distrito Federal: Diversidade, distribuição temporal e espacial. *Tese de mestrado*, Universidade Federal de Brasília, Brasília, distrito Federal, Brasil, 131pp.
- Juberthie C. 2000. The diversity of the karstic and pseudokarstic hypogean habitats in the world. *In*: Wilkens H, Culver DC & Humphreys WF (eds.). **Ecosystems of the World, Vol. 30: Subterranean Ecosystems**. Amsterdam: Elsevier. p. 17-39
- Karmann I. & Setúbal J.C. 1984. Conjunto espeleológico São Mateus-Imbira: principais aspectos físicos e históricos da exploração. **Espeleotema**, 14: 43-53.
- Kjærandsen J. 1993. Diptera in mines and other cave systems in southern Norway. **Entomologica fennica**, 4, 151-160.
- Krebs C.J. 1999. **Ecological methodology**. Benjamin Cummings, Menlo Park.
- Krebs C.J. 2008. **Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance**. San Francisco, Benjamin Cummings, 655 pp.
- Krow S. & Culver D.C. 2001. Gaps in sampling cave fauna: Memoires de Biospeologie. **International Journal of Subterranean Biology**, 28: 129-136.

- Lino C.F. 2001. **Cavernas: o fascinante Brasil subterrâneo**. São Paulo: Gaia.
- Mendes J. & Linhares A. X. 2002. Cattle dung breeding Diptera in pastures in southeastern Brazil: diversity, abundance and seasonality. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, 97(1): 37-41.
- Moreno C.E. & Halffter G. 2000. Assessing the completeness of bat biodiversity inventories using species accumulation curves. **Journal of Applied Ecology**, 37: 149-158.
- Mohr C.E. & Poulson T.L. 1966. **The Life of the Cave: Our Living World of Nature**. McGraw Hill, 232 p.
- Nimer E. 1979. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro.
- Novak T. et al. 2012. Duality of terrestrial subterranean fauna. **International Journal of Speleology**, 41(2): 57-64.
- Peck S.B. 1976. The effect of cave entrances on the distribution of cave inhabiting terrestrial arthropods. **International Journal of Speleology**, 8: 309-321.
- Pinto-da-Rocha R. 1995. Sinopse da fauna cavernícola do Brasil (1907-1994). **Papéis Avulsos de Zoologia**, 39(6): 61-173.
- Poulson T.L. 1964. Animals in aquatic environments: animals in caves. **Handbook of Physiology**, 4, 749-771.
- Poulson T.L. 1992. The Mammoth Cave ecosystem. *In*: Camacho A. (eds.). **The natural history of biospeleology**. Museo Nacional de Ciencias Naturales. Madrid: 569-611.
- Poulson T.L. & Culver D.C. 1969. Diversity in terrestrial cave communities. **Ecology**, 153-158.
- Poulson T.L. & W.B. White. 1969. The cave environment. **Science**, 165 (3897): 971-981.
- Poulson T.L. & Lavoie K.H. 2000. The trophic basis of subsurface ecosystems. **Ecosystems of the World**, 231-250.
- Rafael J.A. et al. 2012. **Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia**. Constantino (eds.). Ribeirão Preto: Holos Editora, 810 p.
- Romero A. 2009. Cave biology: life in darkness. Cambridge: **Cambridge University Press**.
- Sharratt N. J. et al. 2000. The invertebrate fauna of the sandstone caves of the Cape Peninsula (South Africa): patterns of endemism and conservation priorities. **Biodiversity & Conservation**, 9: 107-143.

- Simon K.S & Benfield E.F.2001. Leaf and wood breakdown in cave streams. **Journal of the North American Benthological Society**, 20(4): 550-563.
- Simon K.S.; Pipan T. & Culver D. C. 2007. A conceptual model of the flow and distribution of organic carbon in caves. **Journal of Cave and Karst Studies**, 69(2): 279-284.
- Sket B. 1999. The nature of biodiversity in hypogean waters and how it is endangered. **Biodiversity & Conservation**, 8(10): 1319-1338.
- Sket B. 2008. Can we agree on an ecological classification of subterranean animals? **Journal of Natural History**, 42(21-22):1549-1563.
- Slaney D.P. & Weinstein P. 1997. Conservation of cave fauna: more than just bats. **Memoirs of the Museum of Victoria**, 56(2): 591–596.
- Trajano E. 1987. Fauna cavernícola brasileira: composição e caracterização preliminar. **Revista Brasileira de Zoologia**, São Paulo, 3(8): 533-561.
- Trajano E. 1995. Evolution of tropical troglobites: Applicability of the model of Quaternary climatic fluctuations. **Mémoires de Biospéologie**, 22: 203-209.
- Trajano E. 2000. Cave Faunas in the Atlantic Tropical Rain Forest: Composition, Ecology, and Conservation. **Biotropica**, 32(4b): 882-893.
- Trajano E.; Gnaspini P. 1991 . Composição da fauna cavernícola brasileira, com uma análise preliminar da distribuição dos táxons. **Revista Brasileira de Zoologia**, São Paulo, 7(3): 383-407.
- Trajano E. & Bichuette M.E. 2006. Biologia Subterrânea: Introdução. São Paulo: **Redespeleo Brasil**, 92 p.
- Trajano E. & Bichuette M.E. 2010. Diversity of Brazilian subterranean invertebrates, with a list of troglomorphic taxa. **Subterranean Biology**, 7: 1-16.
- Trajano E.; Bichuette M.E. & Batalha M.A. 2012. Estudos ambientais em cavernas: os problemas da coleta, da identificação, da inclusão e dos índices. **Espeleo-Tema**, (1): 13-22.
- Zeppelini D.F. & Bellini B.C. 2004. **Introdução ao estudo dos Collembola**. João pessoa, paraíba: editora universitária, universidade federal da paraíba. 82 p.
- Weinstein P. & Slaney D. 1995. Invertebrate faunal survey of Rope Ladder Cave, Northern Queensland: a comparative study of sampling methods. **Australian Journal of Entomology**, 34(3): 233-236.
- Wolda H. 1978. Fluctuations in abundance of tropical insects. **American Naturalist**, 112: 1017–1045.

8. Lista de Figuras

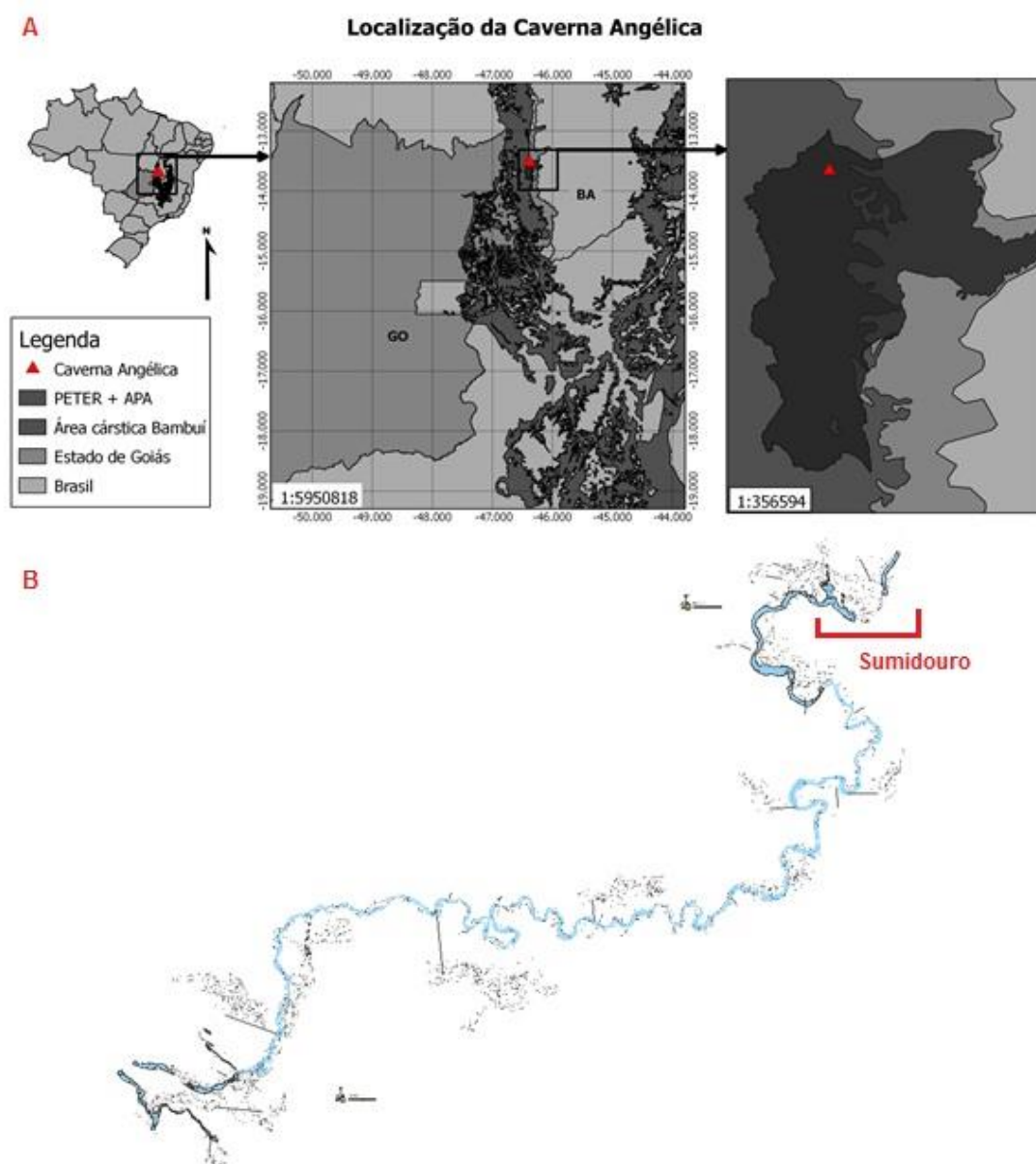


Figura 1. **A-** Mapa destacando a localização da Caverna Angélica na área cárstica de São Domingos, nordeste de Goiás. **B-** Mapa em planta baixa (croqui) da Caverna Angélica. Fonte: Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas. Em vermelho, o trecho percorrido e amostrado no estudo (cerca de 300 m).

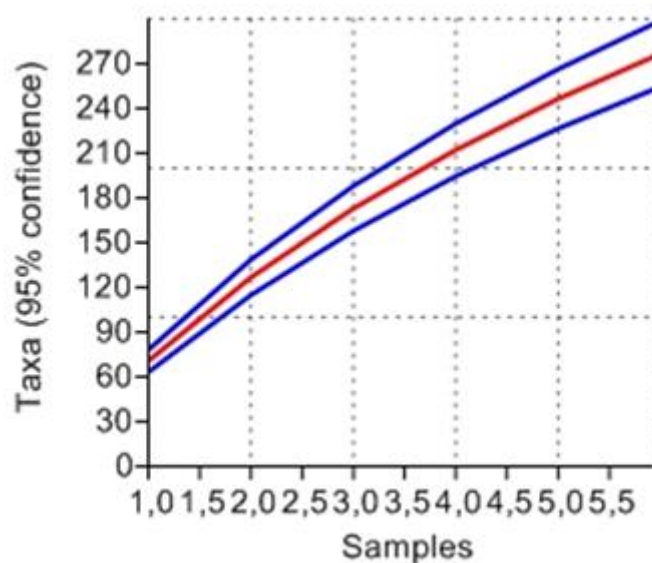


Figura 2. Curva de rarefação de espécies (linha vermelha) amostradas em seis ocasiões ao longo dos anos de 2010, 2011 e 2012 na Caverna Angélica, região de São Domingos, nordeste de Goiás. Linhas azuis representam intervalo de confiança (95%).

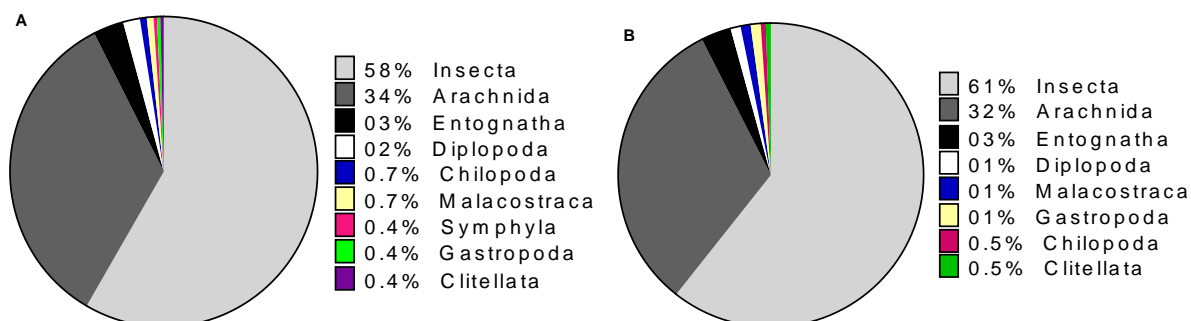


Figura 3. Riqueza relativa de táxons para as nove classes amostradas por meio de busca ativa e método de quadrados (A) e somente pelo método dos quadrados (B) na Caverna Angélica, região de São Domingos, nordeste de Goiás.

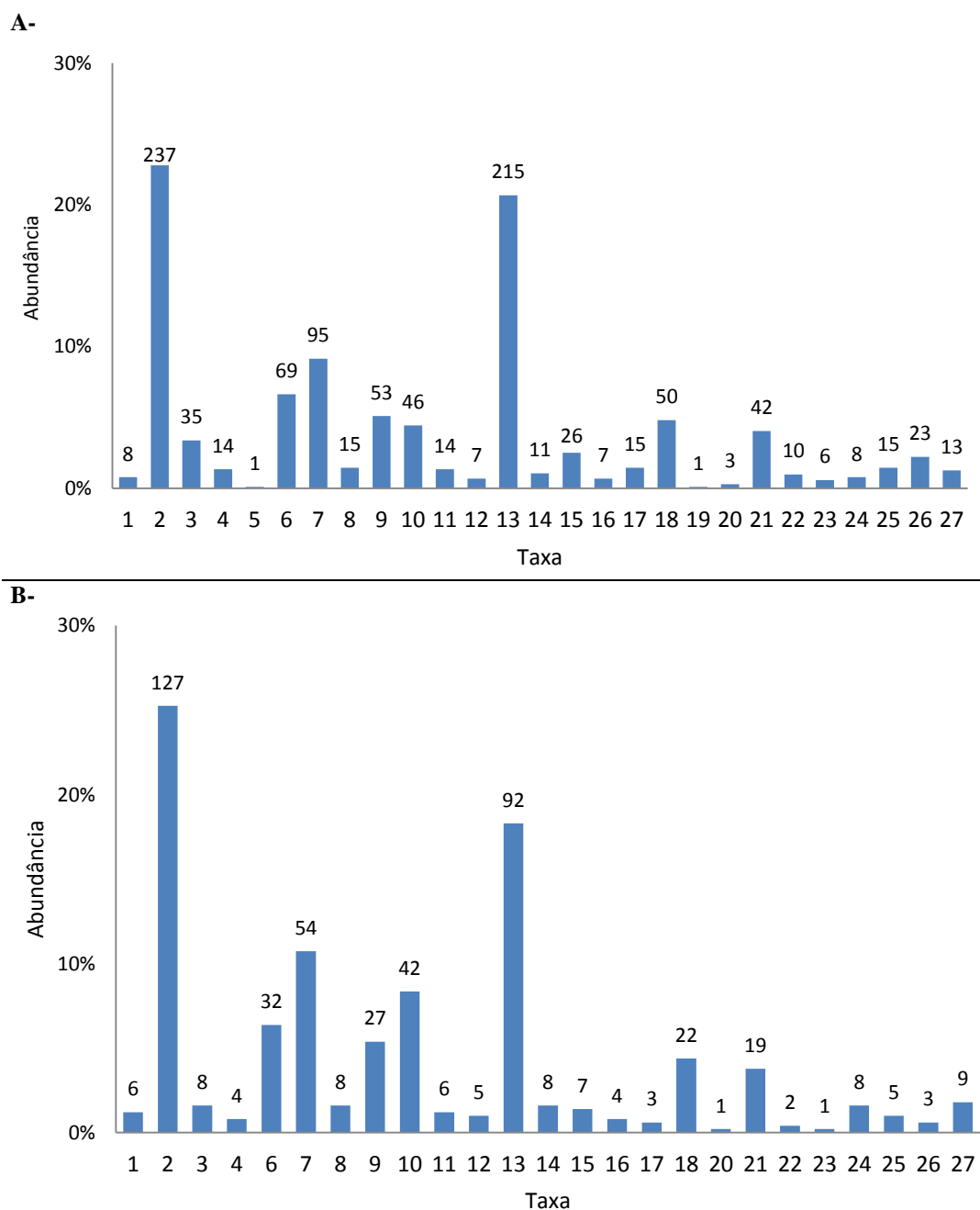


Figura 4. Abundâncias dos principais táxons amostrados por busca ativa e métodos dos quadrados (A) e somente por método dos quadrados (B) na Caverna Angélica, região de São Domingos, nordeste de Goiás. Abundância total: números acima das barras; abundâncias relativas: porcentagens no eixo y. **Arachnida:** 1=Acari, 2=Araneae, 3=Opiliones, 4=Pseudoscorpiones e 5=Amblypygi; **Insecta:** 6=Blattaria, 7=Diptera, 8=Ephemeroptera, 9=Hemiptera, 10=Hymenoptera; 11=Psocoptera, 12=Thysanoptera, 13=Coleoptera, 14=Isoptera, 15=Orthoptera, 16=Plecoptera, 17=Lepidoptera, 18=Trichoptera e 19=Neuroptera; **Entognatha:** 20=Diplurae 21=Collembola; **Diplopoda:** 22=Spirostreptida; 23=Chilopoda; 24=Symphyla; **Malacostraca:** 25=Isopoda; **Pulmonata:** 26=Gastropoda; **Clitellata:** 27=Haplotaxida.

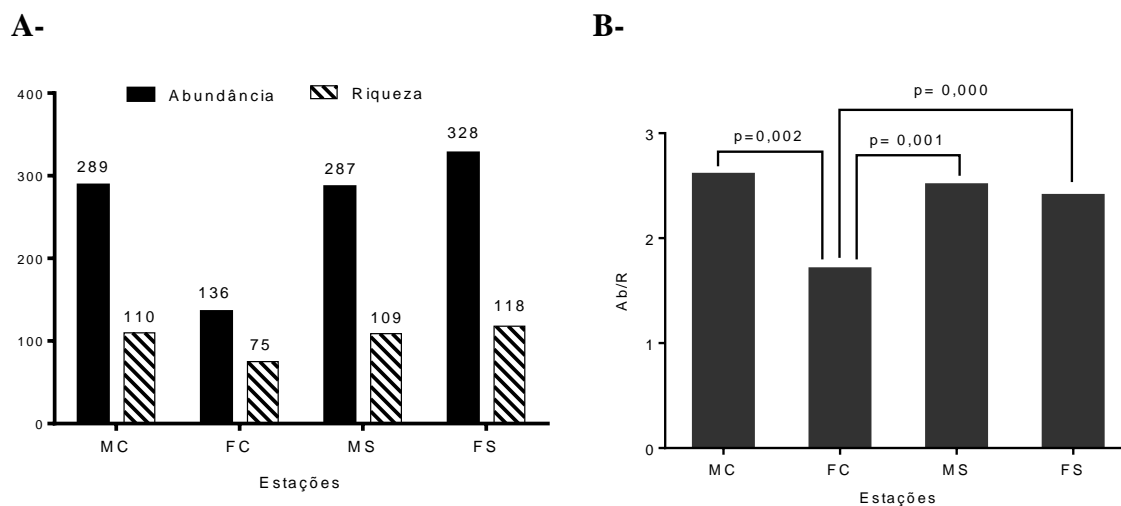


Figura 5. A- Riqueza e abundância de espécies amostradas em cada estação em um trecho da Caverna Angélica, área cárstica de São Domingos, nordeste de Goiás. Estações: **MC**= meio da chuvosa; **FC**= final da chuvosa; **FS**= final da seca; **MS**= meio da seca. **B-** Comparação de abundância média de espécies por estação (Teste de Kruskal-Wallis, Mann-Whitney) em que **Ab/R**=abundância/riqueza. As diferenças com significância estatística $p<0,05$ estão evidenciadas pela conexão entre as barras.

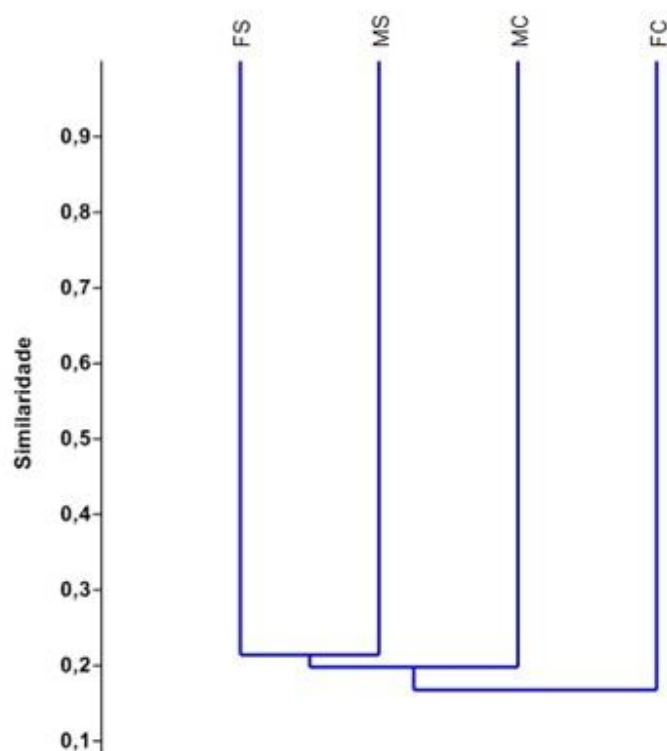


Figura 6. Dendrograma de similaridade faunística entre as diferentes estações amostradas em um trecho da Caverna Angélica, área cárstica de São Domingos, nordeste de Goiás, gerado pela análise de agrupamento (*Jaccard, single linkage*). Estações: **MC**= meio da chuvosa; **FC**= final da chuvosa; **MS**= meio da seca; **FS**= final da seca.

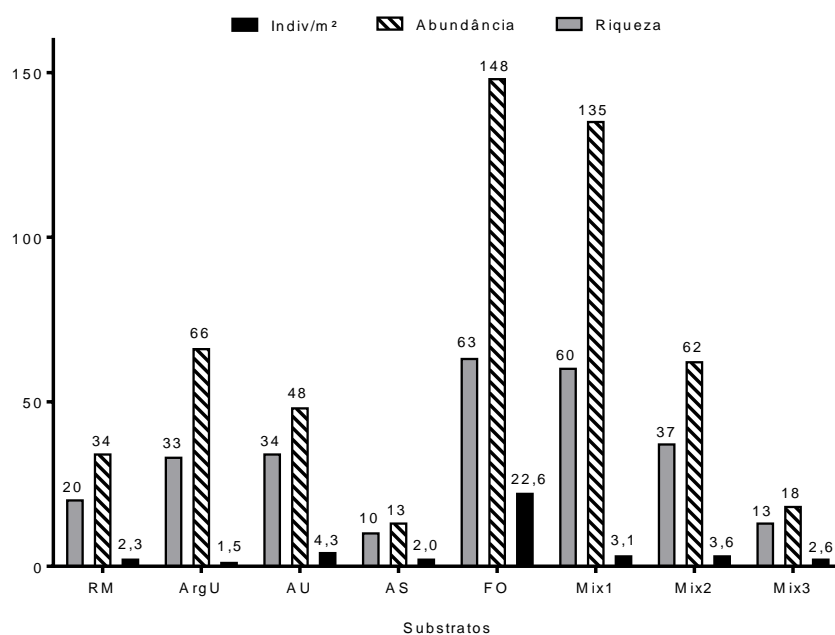
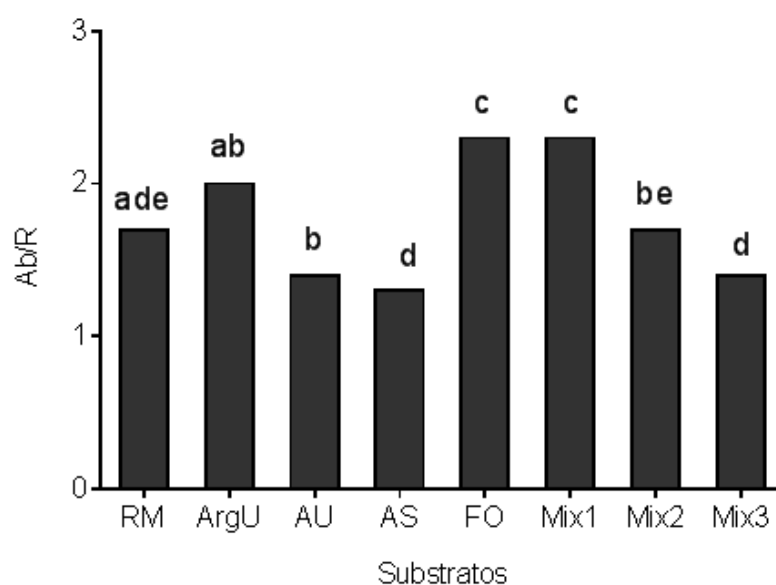
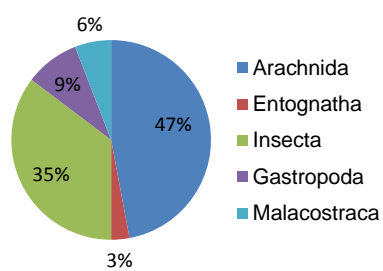
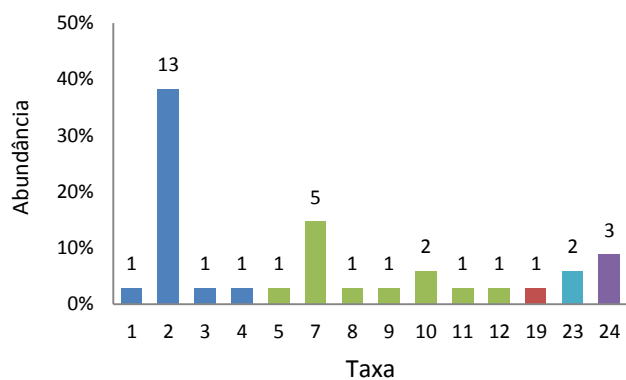
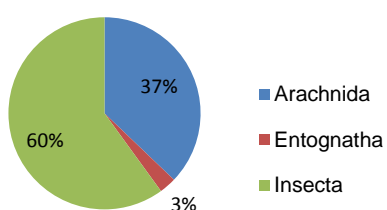
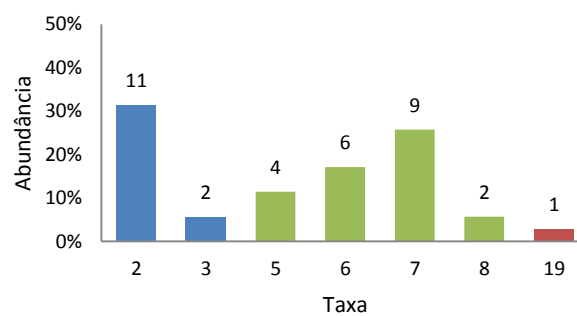
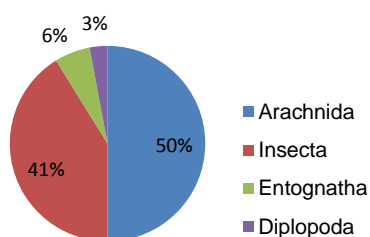
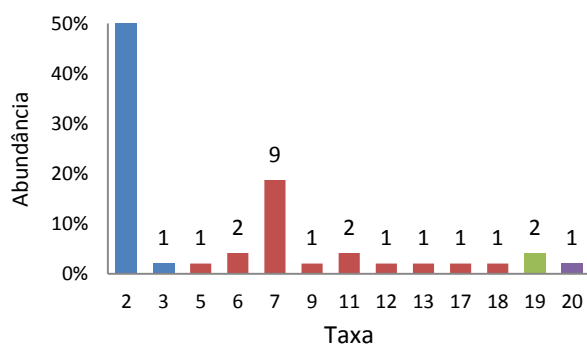
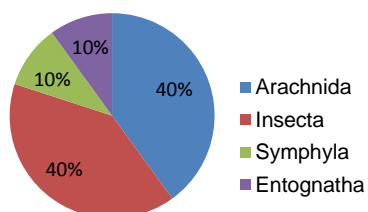
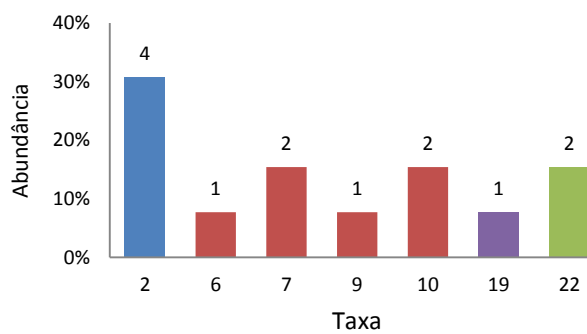
A-**B-**

Figura 7.A- Riqueza, abundância e densidade de táxons por metro quadrado (**Indiv/m²**) para cada tipo de substrato na Caverna Angélica, região de São Domingos, nordeste de Goiás. **B-** Comparação de abundância média de espécies por substrato (Teste de *Kruskal-Wallis*, *Mann-Whitney*) em que **Ab/R**=abundância/riqueza. Letras diferentes simbolizam diferenças com significância estatística $p < 0,05$. Substratos: **RM**= rocha mãe; **ArgU**= argiloso úmida; **AU**= arenoso úmido; **AS**= arenoso seco; **FO**= folhiço; **Mix1**= misto 1 ; **Mix2**= misto 2; **Mix3**= misto 3. Amostragens realizadas unicamente pelo método dos quadrados.

A1-Rocha mãe**A2-****B1-Argila úmida****B2-****C1-Areia úmida****C2-****D1- Areia seca****D2-**

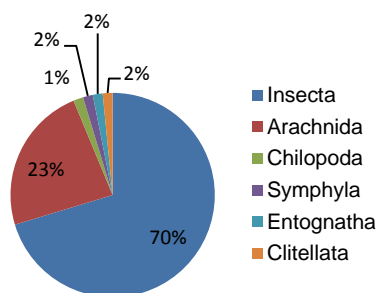
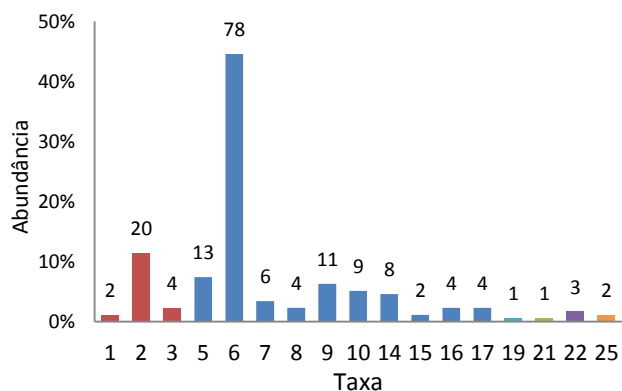
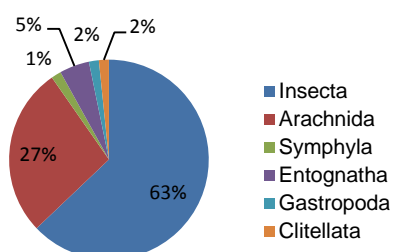
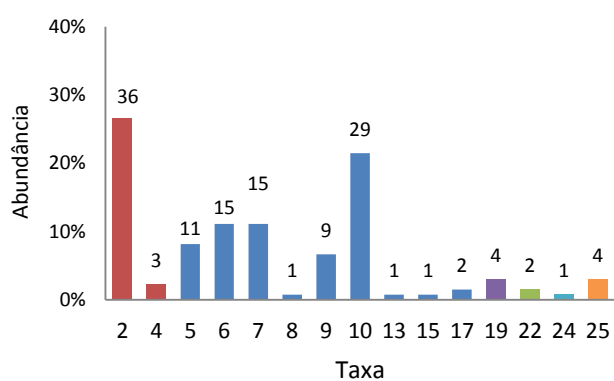
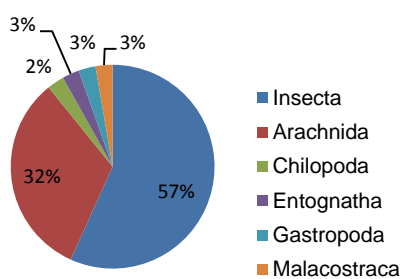
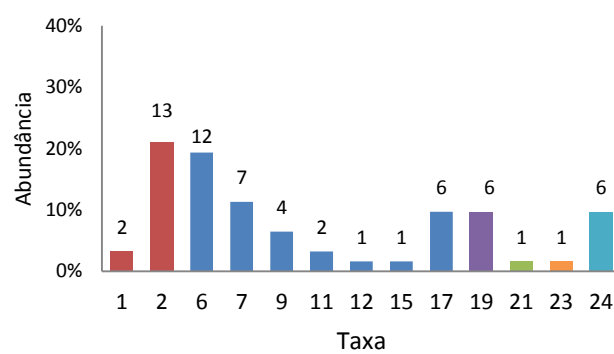
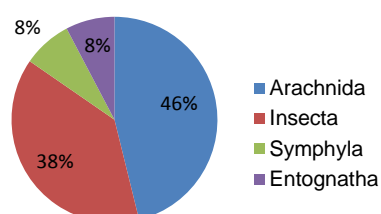
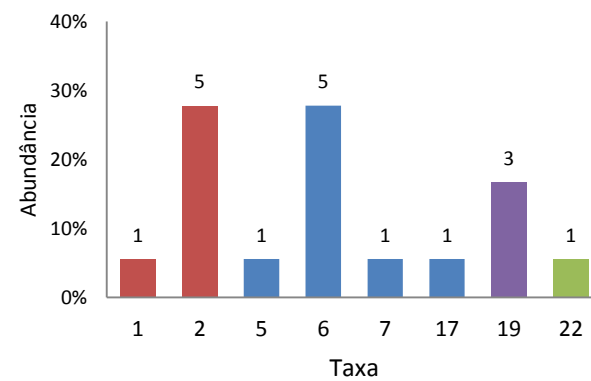
E1-Folhico**E2-****F1-Misto 1****F2-****G1-Misto 2****G2-****H1-Misto 3****H2-**

Figura 8. Coluna da esquerda (**A1** à **H1**): gráficos de riqueza relativa das principais classes registradas em cada tipo de substrato amostrado na Caverna Angélica, região de São Domingos, nordeste de Goiás. Coluna da direita (**A2** à **H2**): gráficos de abundância relativa dos principais táxons registrados nestas classes, representados por números no eixo horizontal, em que **Arachnida**: 1=Acari, 2=Araneae, 3=Opiliones, 4=Pseudoscorpiones; **Insecta**: 5= Blattaria, 6=Coleoptera, 7=Diptera, 8=Ephemeroptera, 9=Hemiptera, 10=Hymenoptera; 11=Psocoptera, 12=Thysanoptera, 13=Lepidoptera, 14=Isoptera, 15=Orthoptera, 16=Plecoptera, 17=Trichoptera; **Entognatha**: 18=Diplura, 19=Collembola; **Diplopoda**: 20=Spirostreptida; 21=Chilopoda; 22=Symphyla; **Malacostraca**: 23=Isopoda; **Pulmonata**: 24=Gastropoda; **Clitellata**: 25=Haplotaxida.

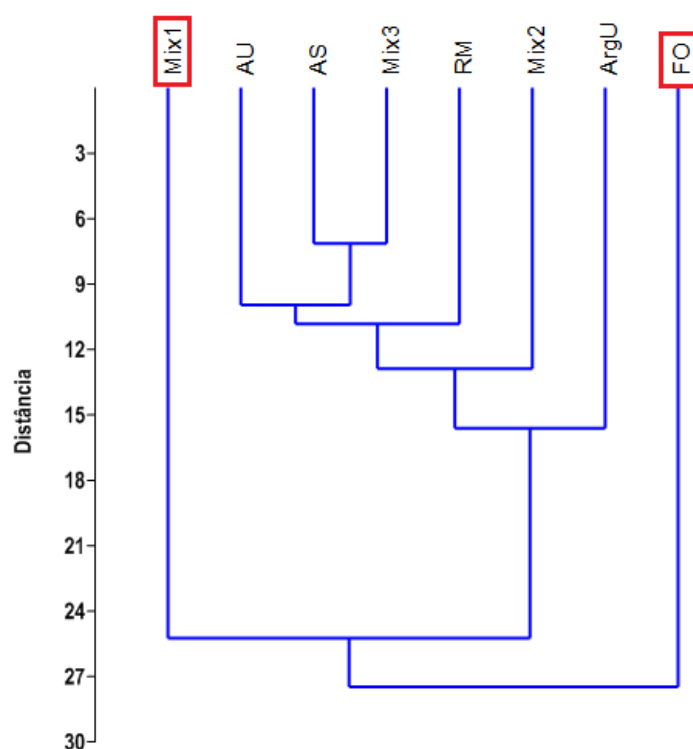


Figura 9. Dendrograma de distâncias Euclidianas comparando a fauna presente em oito tipos de substratos amostrados em um trecho da Caverna Angélica, área cárstica de São Domingos, nordeste de Goiás. **RM**= rocha mãe; **ArgU**= argiloso úmido; **AU**= arenoso úmido; **AS**= arenoso seco; **FO**= folhoso; **Mix1**= misto 1; **Mix2**= misto 2; **Mix3**= misto 3. Destaque para o Mix1 e FO, substratos mais singulares.

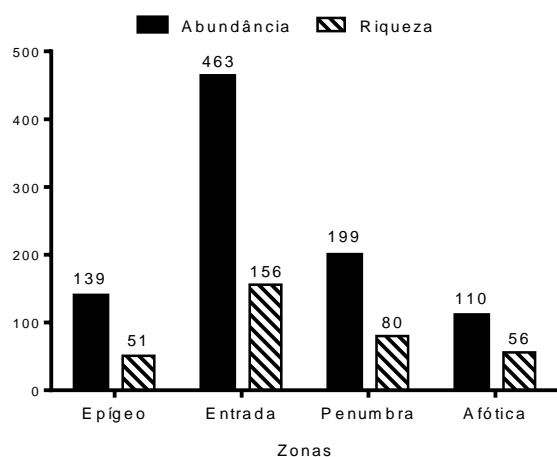
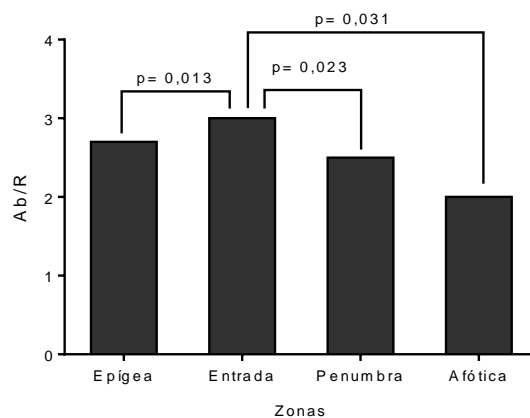
A-**B-**

Figura 10. A- Riqueza e abundância de espécies registradas no meio epígeo do entorno e em três zonas da Caverna Angélica, área cárstica de São Domingos, nordeste de Goiás. **Epígeo**= área de entorno; **Zonas**= zonas de entrada; penumbra e afótica. **B-** Comparação de abundância média de espécies por zona da caverna (Teste de *Kruskal-Wallis*, *Mann-Whitney*) em que **Ab/R**=abundância/riqueza. As diferenças com significância estatística $p < 0,05$ estão evidenciadas pela conexão entre as barras.

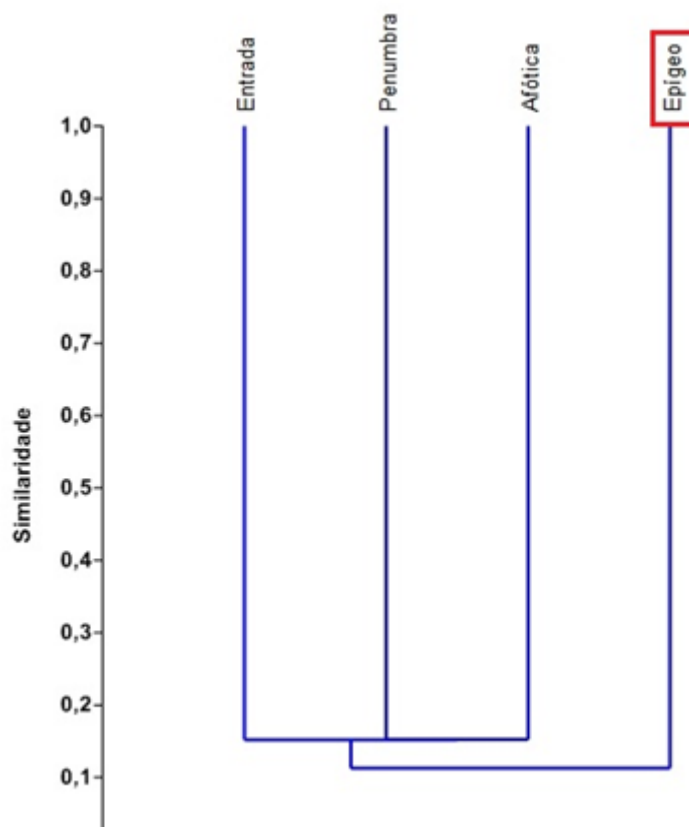


Figura 11. Dendrograma de similaridade faunística entre três zonas da caverna Angélica, área cárstica de São Domingos, nordeste de Goiás, e seu entorno epígeo, gerado por análise de agrupamento (*Jaccard, single linkage*). Destaque para o meio epígeo, a amostra mais singular.

9. Lista de Tabelas

Tabela 1. Diferentes tipos de substratos amostrados em cinco ocasiões de coleta em um trecho da Caverna Angélica, região de São Domingos. Todos os substratos podem conter fragmentos de rochas e matéria orgânica em sua composição.

Substrato	Descrição
Rocha mãe	Predomínio de rocha mãe e lascas de calcário
Arenoso úmido	Composto basicamente por areia úmida
Arenoso seco	Composto basicamente por areia seca
Argiloso úmido	Predomínio de argila úmida
Misto 1	Predomínio de areia e cascalho em proporções similares
Misto 2	Predomínio de areia, cascalho e folhiço em proporções similares
Misto 3	Solo de composição não identificada, compactado por pisoteamento de origem antrópica ou por ação climática
Folhiço	Basicamente matéria orgânica vegetal acumulada

Tabela 2. Descrição das características das cinco bases estabelecidas para coleta ao longo do trecho em estudo na Caverna Angélica, amostradas em cinco ocasiões de coleta nos anos de 2011 e 2012.

Base	Descrição	Zonação
AngEp	Entorno da caverna (meio epígeo), mata ciliar.	Fótica/ epígeo
Ang01	Substratos variando entre areia, cascalho e rocha mãe; acúmulos de folhiço, matéria orgânica. Umidade oscila em diferentes períodos do ano.	Zona de entrada (fótica)
Ang02	Idem a base anterior, mas um pouco mais adentro da cavidade.	Idem
Ang03	Predomínio de substrato rochoso, acúmulo de folhiço e matéria orgânica em períodos de inundação.	Zona de penumbra
Ang04	Substrato compactado (turismo), argila e cascalho próximos ao rio epicárstico; entorno de areia e rocha mãe.	Zona afótica
Ang05	Presença de travertinos intermitentes, substratos variando de rochoso até trechos de argila e areia.	Zona afótica

Tabela 3. Valores de riqueza e abundância de táxons, índices de Equitabilidade (J), diversidade de *Shannon-Wiener* (H') e *Simpson* (1-D) para cada ocasião de coleta na Caverna Angélica, região de São Domingos, nordeste de Goiás. Os menores e os maiores valores para as localidades de cada região aparecem destacados na tabela. Coleta de abril 2010 efetuada somente por busca ativa.

Ocasião de coleta	Riqueza	Abundância	Equitabilidade (J)	<i>Shannon</i> (H')	<i>Simpson</i> (1-D)
abr/10	20	31	0,9204	2,757	0,9157
abr/11	90	258	0,8983	4,042	0,974
out/11	50	122	0,8424	3,295	0,9277
fev/12	75	136	0,9236	3,988	0,9712
jun/12	109	287	0,9129	4,283	0,9794
out/12	82	206	0,9164	4,038	0,9745
Total	278	1040	0,897	5,041	0,9891

Tabela 4. Valores de riqueza e abundância de táxons, índices de equitabilidade (J), diversidade de *Shannon-Wiener* (H') e *Simpson* (1-D) obtidos pela amostragem total e unicamente por método dos quadrados na Caverna Angélica, região de São Domingos, nordeste de Goiás.

Método de amostragem	Riqueza	Abundância	Equitabilidade (J)	Shannon (H')	Simpson (1-D)
Quadrados e busca ativa	278	1041	0,897	5,041	0,9891
Quadrados	189	524	0,908	4,759	0,9863

Tabela 5. Valores de riquezas de espécies observadas e estimadas pelos métodos de *Jackknife 1* e *2*, *Chao 2* e *Bootstrap* obtidos para a Caverna Angélica, região de São Domingos, área cárstica a nordeste de Goiás. Números entre parênteses indicam a porcentagem de espécies estimadas a mais do que as observadas desconsiderando-se o desvio médio. **Riqueza Obs**= Riqueza observada.

Estimador	Amostra total
Jackknife 1	434±76 (156)
Jackknife 2	525 (189)
Chao 2	563±58 (202)
Bootstrap	348±35 (125)
Riqueza Obs	278

Tabela 6. Valores de riqueza e abundância de táxons, índices de equitabilidade (J), diversidade de *Shannon-Wiener* (H') e *Simpson* (1-D) para cada período de amostragem na Caverna Angélica, região de São Domingos, Goiás. Estações: **MC**=meio da chuvosa (abril de 2010 e 2011), **FC** =final da chuvosa (fevereiro de 2012), **MS** =meio da seca (junho de 2012) e **FS**=final da seca (outubro de 2011 e 2012).

Estação	Riqueza	Abundância	Equitabilidade (J)	Shannon (H')	Simpson (1-D)
MC	110	289	0,9027	4,21	0,9778
FC	75	136	0,9236	3,988	0,9712
MS	109	287	0,9129	4,283	0,9794
FS	118	328	0,8917	4,254	0,9756

Tabela 7. Áreas amostradas (m²) nos diferentes substratos, descritas por ocasião e estação de coleta, ao longo dos anos de 2011 e 2012 em um trecho da Caverna Angélica, região de São Domingos, nordeste de Goiás. Substratos: **RM**= rocha mãe; **ArgU**= argiloso úmida; **AU**= arenoso úmido; **AS**= arenoso seco; **FO**= folhoso; **Mix1**= misto 1 ; **Mix2**= misto 2; **Mix3**= misto 3. Amostragens realizadas unicamente pelo método dos quadrados.

Área coletada por ocasião e estação (m²)						
Substrato	Chuvosa		Seca			Área total
	Abr/11	Fev/12	Out/11	Jul/12	Out/12	
RM	0,75	4,50	2,00	4,75	3,00	15,00
ArgU	0,00	5,00	3,00	5,75	9,75	23,50
AU	1,00	4,25	0,00	5,50	0,50	11,25
AS	0,00	1,25	0,00	4,00	1,25	6,50
FO	1,25	1,00	1,75	2,75	1,00	7,75
Mix1	4,25	9,00	12,00	9,50	8,25	43,00
Mix2	2,15	0,50	7,25	2,50	4,75	17,15
Mix3	1,55	2,50	0,00	3,00	0,00	7,05
Área total	10,95	28	26	37,75	28,5	131,2

Tabela 8. Valores de riqueza e abundância de espécies, densidade de indivíduos por metro quadrado (**Indiv/m²**), índices de Equitabilidade (J), diversidade de *Shannon-Wiener* (H') e *Simpson* (1-D) para cada substrato amostrado ao longo de um trecho da caverna Angélica, região de São Domingos, Goiás. **RM**= rocha mãe; **ArgU**= argiloso úmida; **AU**= arenoso úmido; **AS**= arenoso seco; **FO**= folhoso; **Mix1**= misto 1 ; **Mix2**= misto 2; **Mix3**= misto 3; **Total**= Soma de todos os substratos. Amostragens realizadas unicamente pelo método dos quadrados.

Substrato	Riqueza	Abundância	Indiv/m ²	Equitabilidade (J)	Shannon (H')	Simpson (1-D)
RM	20	34	2,26	0,9158	2,743	0,9135
ArgU	33	66	1,49	0,8933	3,123	0,9302
AU	34	48	4,26	0,9622	3,393	0,9601
AS	10	13	2,0	0,975	2,245	0,8876
FO	63	148	22,58	0,911	3,774	0,9657
Mix1	60	135	3,14	0,8999	3,684	0,9608
Mix2	37	62	3,61	0,9343	3,374	0,9553
Mix3	13	18	2,55	0,9354	2,399	0,8889
Total	189	524	2,9	0,9087	4,759	0,9863

Tabela 9. Valores de riqueza e abundância de espécies, índices de equitabilidade (J), diversidade de *Shannon-Wiener* (H') e *Simpson* (1-D) registrados para cada zona (entrada, penumbra e afótica) e para o meio epígeo no entorno da caverna Angélica, região de São Domingos, Goiás. Total de cinco ocasiões de coleta em cada zona, exceto o meio epígeo, amostrado em apenas duas destas.

Zona	Riqueza	Abundância	Equitabilidade (J)	Shannon (H')	Simpson (1-D)
Epígeo	51	139	0,7377	2,9	0,8526
Entrada	156	463	0,8836	4,462	0,9774
Penumbra	80	199	0,8483	3,717	0,9516
Afótica	56	110	0,8942	3,599	0,9504

APÊNDICE

Apêndice 1. Lista de espécies de invertebrados registrados em seis ocasiões de coletas ao longo dos anos de 2010, 2011 e 2012 na Caverna Angélica, região de São Domingos, nordeste de Goiás. Para as espécies amostradas pelo método dos quadrados, definimos o substrato de suas ocorrências. Substratos: **RM**=rocha mãe; **ArgU**=argiloso úmida; **AU**=arenoso úmido; **AS**=arenoso seco; **FO**=folhiço; **Mix1**=misto 1 ; **Mix2**=misto 2; **Mix3**=misto 3. Classificação de espécies: **TF**=troglófilo, **TF***=potencialmente troglófilos, **TX**= troglóxico, **TB**=troglóbio, **TB***=potencialmente troglóbio, **AC**=acidental, **R**=ocorrência rara, **N**=espécie nova e **N***= possível espécie nova

	Espécie	Abundância	Substrato
C. Arachnida			
O. Mesostigmata	sp. 2	1	
	sp. 5	1	Mix2
F. Laelapidae	sp. 2	1	Mix3
F. Tetranychidae	sp. 1(TF)	3	RM;FO; Mix2
O. Ixodida/ F. Ixodidae	<i>Amblyomma</i> sp.	1	
O. Oribatida/ F. Galumnidae	sp. 1	1	FO
O. Amblypygi/ F. Phryniidae	<i>Heterophrynus longicornus</i>	1	
O. Araneae			
So. Araneomorphae	jovem indet	1	
	sp. 3	1	Mix2
	sp. 5	2	AU
	sp. 6	6	
F. Araneidae	indet	2	AU; Mix1
	sp. 3	3	
	<i>Alpaida</i> sp. 1 (TF)	4	FO; Mix1
	<i>Ocrepeira</i> sp.	1	AU
	<i>Pronous</i> sp.	4	AU

	Espécie	Abundância	Substrato
F. Caponiidae	<i>Nops</i> sp.(TF)	2	FO
F. Coriniidae	jovem indet	1	
	sp. 1	1	Mix1
F. Ctenidae	jovem indet(TF)	2	ArgU; AU; FO
	sp. 3(TF)	1	
	<i>Enoploctenus</i> sp.(TX)	1	
	<i>Isoctenus</i> sp.(TF)	1	FO
F. Filistatidae	sp. 1	1	Mix1
F. Linyphiidae	jovem indet(TF*)	2	Mix2; Mix3
	<i>Meioneta</i> indet (TF)	3	AU; FO
	<i>Meioneta</i> sp. 1(TF)	3	
F. Lycosidae	indet (AC)	1	
	<i>Allocosa</i> sp(AC).	1	AU
F. Mysmenidae	Indet	2	Mix2
	sp. 1	1	Mix1
F. Oonopidae	sp.	4	ArgU
	sp. 1	1	ArgU; Mix1
	sp. 2	3	ArgU; AS
	<i>Triaeris stenaspis</i>	2	AU
F. Pholcidae	Indet (TF)	2	RM
	sp. 1(TF)	1	FO
	sp. 2(TF)	1	
	<i>Mesabolivar</i> sp. 2 (TF)	6	Mix1
Sf. Ninetinae	sp. 1(TF)	22	RM; Mix1; Mix3

	Espécie	Abundância	Substrato
F. Salticidae	sp.1(AC)	1	
F. Scytodidae	<i>Scytodes</i> sp. 1(TF)	16	AU; AS;FO; Mix1; Mix2
	<i>Scytodes</i> sp. 2(TF)	1	
	<i>Scytone aeleonora</i> 0 (R, TF)	2	
F. Segestriidae	sp. 1(TF)	1	AU
F. Sicariidae	sp.	1	
	sp. 1	3	Mix1
	<i>Loxosceles</i> sp. n. 11 (N, TF)	3	
	<i>Loxosceles</i> sp. 2 (TF)	22	RM; Mix1; Mix2
	<i>Loxosceles</i> sp. 3 (TF)	1	
	<i>Loxosceles</i> sp. n. 11 (N, TF)	11	AU
F. Symphytognathidae	<i>Anapistula</i> sp. (TF)	1	AU
F. Tetragnathidae	sp.1	1	Mix2
	<i>Leucage</i> sp. 1(TF)	1	AU
F. Theridiidae	jovem indet(*TF)	1	FO; Mix1; Mix2; Mix3
	sp. 1(TF)	2	AU
	sp. 2(TF)	1	AS
	sp. 5(TF)	1	
	sp. 6(TF)	1	Mix3
	sp. 8(TF)	1	
	<i>Chrysso</i> sp.	1	ArgU
	<i>Nesticode rufipes</i> (TF)	6	
	<i>Theridion</i> indet (TF)	2	Mix1

	Espécie	Abundância	Substrato
	<i>Theridion</i> sp. 1(TF)	3	FO; Mix3
F. Theridiosomatidae	sp.	2	
	jovem indet	3	Mix2
	sp. 2	4	AU
	sp. 5	1	
	sp. 7	1	AU
	<i>Plato</i> indet (TF)	18	RM; ArgU; AS
	<i>Plato</i> sp. 1 (*N; *TF)	1	
	<i>Plato</i> sp. 2 (*N; *TF)	9	
F. Thomisiidae	sp. 1	1	Mix2
F. Zodariidae	indet	2	
	sp. 1	1	Mix1
So. Mygalomorphae	indet	1	
F. Idiopidae	sp. 1	1	ArgU
F. Theraphosidae	sp. 1 (AC)	1	
O. Opiliones	jovem indet	1	
O. Opiliones/ Eupnoi	sp. 1 (TF)	1	FO
O. Opiliones/ Laniatores	sp.1	3	FO
F. Cosmetidae	<i>Paecilema</i> sp. n. (N; TF)	11	
	sp. 2	1	
F. Gonyleptidae	sp.	5	RM; ArgU; AU

	Espécie	Abundância	Substrato
Sf. Pachlinae	<i>Eusarcus</i> sp. (TB)	2	
Sf. Trichomatinae	sp. 2	1	
F. Stygnidae	sp. 1	1	
F. Sclerosomatidae	sp. 1	7	ArgU; FO
Sf. Gagrelinae	sp. 1 (TF)	2	
O. Pseudoscorpiones			
F. Atemnidae	sp. 2	6	
F. Cheiridiidae	sp. 1	1	Mix1
F. Cheliferidae	sp. 2	1	RM
F. Chthoniidae	sp. 5 (*TB)	1	
F. Olpiidae	<i>Progarypus</i> sp. (*TB)	4	Mix1
	sp. 4	1	
C. Chilopoda			
O. Geophilomorpha/ F. Linotaeniidae	sp. 1(TF)	1	FO
Scolopendra	sp.1 (*TF)	1	
O. Scutigeromorpha	indet	1	
F. Pseliodidae	<i>Pseliodes</i> sp.(TF)	1	
F. Scutigeridae	<i>Scutigera</i> sp. (TF)	2	Mix2
C. Diplopoda/ O. Spirostreptida			
F. Pseudonannolenidae	jovem indet(*TF)	4	
	<i>Pseudonannolene imbienses</i> (TF)	6	AU
C. Symphyla			
F. Scutigereidae	indet	8	AS; FO; Mix1; Mix3
C. Entognatha			

	Espécie	Abundância	Substrato
O.Diplura	indet	3	AU
O. Collembola	sp. 1	2	
	sp. 2	8	RM; ArgU; AU; FO
F. Cyphoderidae	sp. 1 (TB*)	19	
F. Entomobryiidae	sp. 1	1	Mix1
	sp. 2 (TB*)	9	Mix1; Mix2; Mix3
	sp. 5	1	Mix1
F. Paronellidae	sp. 1	1	
	sp. 4	1	AS
O. Blattaria	ninfas indet(*TF)	18	AU; FO; Mix1
	sp. 1(TF)	18	Mix1; Mix3
	sp. 2(TF)	5	RM; ArgU
	sp. 3(TF)	3	ArgU
	sp. 5(TF)	2	
F. Blableridae	sp. 1	3	FO
F. Blattellidae	sp. 1(TF)	12	ArgU; Mix1
	sp. 2	2	
	sp. 3	3	FO; Mix1
F. Polyphagidae	sp. 1	3	FO
O. Coleoptera	larvas indet	6	Mix3
	adulto indet	2	
	sp. 1	2	FO; Mix2
	sp. 2	1	
	sp. 5	1	ArgU; Mix1

	Espécie	Abundância	Substrato
	sp. 6	2	
	sp. 7	1	
	sp. 8	1	
	sp. 10	1	FO
	sp. 11	1	Mix2
	sp. 12	1	ArgU
F. Cantharidae	sp. 1(AC)	2	
	sp. 2(AC)	1	ArgU
	sp. 3(AC)	1	
F. Carabidae	sp. 1	2	
	larvas indet	4	FO
Sf. Harpalinae	<i>Pentagonica</i> sp. 1	3	AS
	<i>Platynus</i> sp. 1	1	
	<i>Loxandrus</i> sp. 1	3	
Sf. Harpalinae/ Pterostichini/ Agonina	sp. 1	29	AU; FO; Mix1; Mix2
	sp. 2	1	Mix1
Sf. Trechini	<i>Paratachys</i> sp. 1(R)	48	FO; Mix1
	<i>Paratachys</i> sp. 2(R)	1	Mix2
	<i>Pericompsus</i> sp. 1	2	Mix1
	<i>Polyderis</i> sp. 1	1	ArgU
	<i>Tachys</i> sp. 1	1	FO
F. Chrysomelidae	sp. 3(AC)	2	
	sp. 4(AC)	1	
F. Curculionidae	sp. 1(AC)	1	Mix1
F. Dytiscidae	sp. 1	1	ArgU

	Espécie	Abundância	Substrato
F. Dryopidae	sp. 1	1	
F. Elmidae	larva indet	5	
	<i>Macrelmis</i> sp. 1	9	FO; Mix2
	<i>Macrelmis</i> sp. 2	1	Mix1
	<i>Hexacylloepus</i> sp.	1	
F. Lampyridae	larva indet(AC)	2	FO
F. Ptilodactylidae	sp. 2	2	
F. Scarabaeidae	sp. 2(AC)	1	
F. Staphylinidae	larva indet	12	FO
	indet	6	FO
	sp. 4	13	ArgU; FO; Mix1; Mix2
	sp. 13	1	
	sp. 15	1	
	sp. 16	1	
	sp. 18	2	Mix2; Mix3
Sf. Aleocharinae	sp.	2	
Sf. Osoriinae	<i>Holotrochus</i> sp. 2	1	
Sf. Oxytelinae	indet	13	FO
	sp. 1	5	Mix1
	sp. 2	2	
Sf. Paederinae	sp. 5	2	Mix1
Sf. Staphylininae	<i>Staphylinini</i> sp. 1	2	FO
	<i>Xantholinini</i> sp. 7	1	
Sf. Steninae	<i>Stenus</i> sp. 1	2	
Sf. Tachyporinae	sp. 2	2	FO

	Espécie	Abundância	Substrato
	sp. 3	1	
O. Diptera	adulto indet	2	
	larva indet	9	AU
	sp. 1	6	RM; AU; FO
	sp. 2	2	FO
	sp. 3	3	
	sp. 5	1	RM
	sp. 6	4	AU; AS
	sp. 7	3	AU
	sp. 9	1	Mix2
F. Acalyptratae	sp. 3	1	
F. Cecidomyiidae	sp. 1	2	Mix1; Mix2
	sp. 3	1	
F. Ceratoponidae	sp. 1	2	Mix2
	sp. 3	1	Mix3
F. Chironomidae	sp. 1(TF)	3	
	sp. 2(TF)	3	Mix2
	sp. 3(TF)	3	ArgU
	sp. 4(TF)	3	ArgU
	sp. 5(TF)	3	ArgU
F. Drosophilidae	<i>Drosophila</i> sp. 2(TF)	2	Mix1
F. Limoniidae	sp. 3	1	AU
F. Mycetophilidae	sp. 2(TF)	9	
	sp. 3(TF)	3	
F. Muscidae	sp. 1(TF)	2	Mix1

	Espécie	Abundância	Substrato
F. Phoridae	sp. 4	1	RM
F. Psychodidae	sp. 2	1	ArgU
Sf. Phlebotominae	sp. 1(TF)	7	
F. Sciaridae	sp. 1	6	RM; Mix1; Mix2
	sp. 2	2	ArgU
	sp. 3	1	FO
	sp. 4	8	Mix1
O. Ephemeroptera			
F. Leptophlebiae	indet	12	RM; ArgU; FO; Mix1
	<i>Miroculis</i> sp.	3	FO
O. Hemiptera	sp. 2	1	
	sp. 3	1	
	sp. 4	1	Mix1
F. Cicadellidae	sp. 1(AC)	2	
	sp. 2(AC)	1	
F. Cixiidae	sp. 1	6	FO; Mix1; Mix2
F. Coriidae	<i>Zicca</i> sp.	1	
F. Gelastocoridae	sp. 1	2	AU
	sp. 2	1	
F. Lygaeidae	sp.	1	
F. Reduviidae	sp. 1(TF)	8	RM; FO
	sp. 2(TF)	1	Mix1
	sp.5(TF)	1	FO
	<i>Zelurus</i> sp. (TF)	13	AS; FO;

	Espécie	Abundância	Substrato
			Mix1; Mix2
Sf. Emesinae	sp. 1(TF)	4	FO; Mix2
	sp.2(TF)	4	FO
	sp.3(TF)	1	
Sf. Harpactocorinae	ninfa indet	1	
Sf. Reduviinae	ninfa indet	1	
F. Veliidae	sp. 1(TF)	2	
O. Hemiptera/ Heteroptera	indet	2	
O. Hymenoptera	sp. 2	1	Mix1
	sp. 3	1	Mix1
	sp. 4	1	Mix1
	sp. 5	1	FO
	sp. 6	1	FO
	sp. 7	1	FO
	sp. 8	3	AS
	sp. 12	1	
F. Formicidae	sp. 4(AC)	1	
	sp. 5(AC)	4	RM; Mix1
	sp. 6(AC)	18	Mix1
	sp. 9(AC)	5	Mix1
	sp. 10(AC)	3	FO
	sp. 11(AC)	3	FO
	sp. 13(AC)	1	FO
O. Hymenoptera/ Ichneumonoidea	sp. 1	1	Mix1
F. Vespidae	sp. 1(AC)	1	Mix1

	Espécie	Abundância	Substrato
O. Isoptera/ F. Termitidae/ Sf. Nasutitermitinae	sp. 1(AC)	11	FO
O. Lepidoptera	larva indet (*TF)	5	Mix1
F. Noctuidae	sp. 1 (TF)	3	FO
F. Tineidae	casulos (TF)	7	AU
O. Neuroptera/ F. Myrmeleontidae	sp. 1(AC)	1	Mix1
O. Orthoptera	jovem indet	2	
	sp. 1	1	Mix1
F. Phalangopsidae	ninfas indet(TF)	2	Mix2
	sp. 1(TF)	1	
	sp. 2(TF)	1	
	<i>Endecous</i> sp. 1(TF)	1	
	<i>Endecous</i> sp. n. 1 (N, *TF)	15	
	<i>Eidmanacris</i> sp. (TF)	3	FO
O. Plecoptera			
F. Perlidae	sp. 2(AC)	4	FO
F. Perlodidae	sp. 1(AC)	3	
O. Psocoptera	indet(*TF)	1	FO
	sp. 1(*TF)	3	AU
	sp. 2(*TF)	8	RM; AU; Mix2
	sp. 3(*TF)	2	Mix2
O. Thysanoptera			
F. Lepismatidae	sp. 1	2	AU
	sp. 2	4	RM; Mix2
	sp. 3	1	

	Espécie	Abundância	Substrato
O. Trichoptera	sp. 1(*TF)	23	Mix2
	sp. 2(*TF)	2	AU; Mix1
	sp. 3(*TF)	4	Mix1; Mix2; Mix3
F. Hydrobiosidae	sp. 1 larva(*TF)	5	FO
F. Hydroptilidae	sp. 1 larva(*TF)	3	
	sp. 2 larva(*TF)	4	FO
F. Hydropsychidae	sp. 1 larva(*TF)	9	
C. Gastropoda			
O. Pulmonata	conchas (AC)	23	RM; Mix1; Mix2
O. Isopoda			
F. Armadillidae	<i>Venezillo</i> sp. (N* ; TF)	13	RM
F. Styloniscidae	sp. 1 (N* ; TB)	2	Mix2
C. Clitellata			
O. Haplotaxida	indet (TF*)	13	FO; Mix1

Apêndice 2. Lista de abundância de espécies de invertebrados registrados no meio epígeo no entorno da Caverna Angélica, área cárstica de São Domingos, nordeste de Goiás. Coletas realizadas em duas ocasiões, junho e outubro de 2012. (*)= táxon registrado apenas em meio epígeo. **N**= espécie nova.

Táxon	Espécie	Abundância
C. Arachnida		
O. Araneae/ So. Araneomorphae		
F. Araneidae	<i>Alpaida</i> sp. 1	1
F. Ctenidae	indet	1
	<i>Isoctenus</i> sp.	1
F. Lycosidae	sp. 1	1
	sp. 3	3
	<i>Arctosa</i> sp.	1
F. Oonopidae	aff. <i>Neotrops</i> (*)	1
F. Pholcidae	<i>Mesobolivar</i> sp. 1	1
F. Sicariidae	<i>Loxosceles</i> sp. 1	1
F. Tetragnathidae	<i>Leucage</i> indet	1
F. Uloboridae	sp. 1	1
F. Zodariidae	<i>Tenedos</i> indet	1
O. Opiliones		
F. Cosmetidae	<i>Paecilema</i> indet	1
	<i>Paecilema</i> sp. n. (N)	2
	sp. 3	2
F. Gonyleptidae	Indet	1
Sf. Pachlinae	sp. 3	1
O. Pseudoscorpiones		
F. Olpiidae	sp. 2 (*)	29

Táxon	Espécie	Abundância
C. Diplopoda/ O. Spirostreptida		
F. Pseudonannolenidae	<i>Pseudonannolene imbirenses</i>	3
	sp. 2	1
C. Entognatha/ O. Collembola		
F. Paronellidae	sp. 2	1
C. Insecta		
O. Blattaria	sp. 2	1
	sp. 3	4
O. Coleoptera	Indet	1
	sp. 1	2
	sp. 2	1
	sp. 3	1
Sf. Harpalinae	<i>Nemotarsus</i> sp. 1 (*)	1
Sf. Harpalinae/ Pterostichini/ Agonina	sp. 1	3
Sf. Trechini	<i>Paratachys</i> sp. 1	18
F. Curculionidae	sp. 2	1
F. Staphylinidae	sp. 3	1
	sp. 2	2
	sp. 8	1
Sf. Oxytelinae	sp. 1	2
Sf. Paederinae	sp. 4	1
	sp. 5	1
Sf. Staphylininae	<i>Staphylinini</i> sp. 1	1
Sf. Tachyporinae	sp. 2	5
O. Diptera		
	sp. 1	1

Táxon	Espécie	Abundância
F. Acalyptratae	sp. 3	1
O. Ephemeroptera/F. Leptophlebiae	Indet	1
O. Hemiptera		
F. Cicadellidae	sp. 3	3
F. Pyrrhocoridae	sp. 1	2
F. Reduviidae	sp. 4	1
Sf. Emesinae	<i>Jadera</i> sp. 1 (*)	6
O. Hymenoptera		
F. Formicidae	sp. 2	48
	sp. 12	1
F. Vespidae	sp. 1 (*)	1
O. Isoptera/ F. Termitidae/ Sf. Nasutitermitinae	sp. 1	1
O. Mantodea/ F. Mantidae	indet (*)	1
O. Orthoptera	sp. 1	1
	sp. 2	1
O. Psocoptera	sp. 1	1
C. Gastropoda		
O. Pulmonata	conchas	2
C. Malacostraca/ O. Isopoda		
F. Armadillidae	sp. 34	1
F. Dubioniscidae	sp. 7	1
F. Platyarthridae	sp. 37	1
F. Onychophora/ F. Peripatidae	<i>Epiperipatus</i> sp. n. (*, N)	1

Apêndice 3. Exemplos de zonas e substratos amostrados ao longo de um trecho da Caverna Angélica, região de São Domingos, nordeste de Goiás. Detalhe para o uso do método dos quadrados. **A e B**=zona de entrada da Caverna Angélica, sumidouro do rio Angélica, detalhe para o pisoteamento por turistas. **Substratos:** **C**=areia úmida;**D**=misto 3; **E**=areia seca;**F**=rocha mãe;**G**=misto 1; **H**=misto 2; **I**=rio de origem epicárstica, zona afótica (foto: Adriano Gambarini).

A-



B-



C-



D-



E-



F-



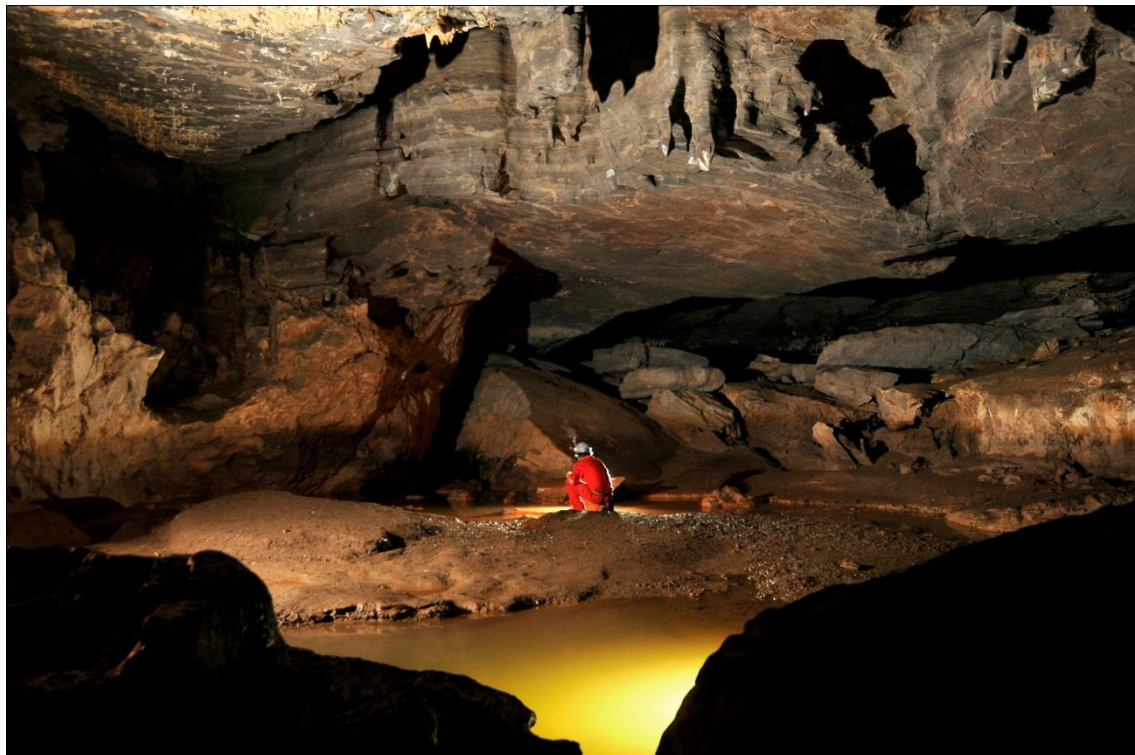
G-



H-



I-



Capitulo III

Aquatic biota of the epikarstic horizon in subterranean systems of Goiás, Central Brazil – a test of visibility versus relevance

Luiza Bertelli Simões⁽¹⁾, Tânia Cristina dos Santos Ferreira⁽²⁾ & Maria Elina Bichuette^(3*)

^(1,3*)Laboratório de Estudos Subterrâneos, Departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva (DEBE), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). *Autor correspondente. Via Washington Luís, km 235, 13565-905, Caixa Postal 676, São Carlos, SP, Brasil. Telefone: (16) 3351-8798. e-mail: bichette@uol.com

⁽²⁾Departamento de Biologia, FFCLRP. Av. Bandeirantes, 14040-90, Caixa Postal 3900. Ribeirão Preto, SP, Brasil.

Artigo submetido à revista Hydrobiologia.

Abstract

There are diverse passages for water infiltration in the subterranean environment, such as the capture of superficial rivers and rainwater. The epikarst is an unsaturated zone of rock with intense circulation of water and organic material through micro-fissures. The percolation of water produces an extensive network of microhabitats, from small conduits filled with air and/or temporary waters through permanent pockets. This hydric flux influences the diversity and distribution of subterranean aquatic biota. The karstic area of São Domingos, central Brazil, holds extensive drainage systems. In order to understand its biodiversity, various volumes of water were filtered in stretches of subterranean and superficial rivers on five different occasions. We sampled drips (152l), travertine pools (368l), epikarstic rivers (6.395l), subterranean base level streams (4.175l), upwelling (158L), and epigeal rivers (101.690l). At some points physical and chemical variables were measured. Canonical Correlation Analysis (CCA) was used to verify relationships between taxa and environment. The degree of similarity of the biota was verified by cluster analysis (*Jaccard, single linkage*). Epikarstic drips were the most unique. There were records of exclusive taxa to the epigeal and the subterranean environment, principally in epikarstic waters. There was a high degree of singularity among these subterranean horizons. This study demonstrated that the tropical subterranean aquatic biota is as rich as in the temperate zones, yet nevertheless it has remarkable differences in taxonomic composition.

Keywords: subterranean environment, epikarst, aquatic biota, stygofauna, conservation, Neotropical region.

Introduction

Subterranean horizons

Most subterranean habitats develop in karstic systems, which are discontinuous geomorphic systems formed in soluble rocks and characterized by the presence of aquifers and conduits, with subterranean drainage (Dreybrodt, 1988). These systems originate most caves that can reach hundreds of kilometers. The caves provide direct human access to the hypogean environment in such a way that a large portion of information on subterranean ecosystems is derived from studies performed in them. In karstic systems the following are distinguished: the inundated zone below the phreatic zone; the unsaturated zone, or vadose zone, above the phreatic zone (where the formation of chemical deposits occurs - speleothems), in which water circulates by gravity; the upper epikarstic horizon; and the oscillation zone of the phreatic zone (Drew, 1995). Superficial tributaries can be fed by epigean drainages and/or water infiltration from the epikarstic zone.

From an ecological point of view, subterranean aquatic habitats are framed in two categories: lotic (streams) and lentic water bodies, including pools and emerging lakes in caves. The first is characterized by rapid flow of water, the presence of high levels of dissolved oxygen, a predominantly rocky bottom, (boulders, shingle and gravel mixed with sand, occasionally exposed parent rock), and stretches of rapids alternating with pools of slow movement. The lentic systems have low or inexistent water flow, high content of reduced dissolved oxygen, and bottom of fine granulometry (silt and/or loam) (Trajano, 2001).

The epikarst

In the superficial layers of karstifiable rocks, a particular trait is formed - the epikarst. This consists of a heterogeneous system of opening in which rainwater and catchment of rivers are retained for variable periods, potentially for years at a time. An aquifer is formed suspended above the vadose zone of caves, where the circulation of water is caused

by gravity (Williams, 1983). It is this aquifer that promotes drip in the ceilings of caves. It is maintained even during the dry period and is responsible for the formation of speleothems and the feeding of many vadose tributaries. (Figure 1)

Figure 1.

Generally, this strip comprises a depth from 10 to 30 meters, varying considerably according to the lithology and geomorphologic history of the region (Klimchouk, 2004). The high capacity for storage and variability of canals through which water circulates distinguishes the rest of the horizons, such as the vadose zone which functions principally as a transmission zone with minimal storage (Bakalowicz, 1995). As such it acts as a transitional zone with diverse ways for organic matter and other resources to input in the subterranean environment.

The waters that refuel the epikarstic aquifers belong to different types of infiltration, which vary in physical and chemical properties (Musgrove & Banner, 2004; Williams, 2008) (Figure 1). Eventually these waters reach the caves, forming rivers that become exclusively subterranean systems or that later resurge as epigeal outcrops.

The faunistic flow can equally be mediated by these tracks that function as environmental filters for determined species at different gradients of depth. Pipan (2005), Pipan & Culver (2007) and Moldovan et al. (2007) verified that in this horizon there exists an exceptionally rich fauna, although little studied. These organisms that live in the non-saturated as well as in the saturated portion of the epikarst are occasionally dragged by trickling water to the interior of caves. Local seasonality influences this process to the extent that the intensity of rainfall alters the volume of infiltration.

Worldwide subterranean aquatic biota

One may foresee the occurrence of some groups according to body size *versus* porosity of the subterranean environment. The microfauna (smaller than 3mm; *e.g.* copepods, cladocerans, ostracods and rotifers) are allocated in interstitial zones; the larger sized organisms being generally found in phreatic environments, rock cracks, and subterranean river basins, among others (Jakobi, 1962).

Slovenia represents one of the most noteworthy countries of the world in terms of number of organisms specialized in subterranean waters, the stygobionts (Sket, 1996). The most commonly encountered taxa in epikarstic waters of temperate zones have been the focus of a great number of studies. Among these, copepods represent the group with the most diversity of species, principally in Europe (Stoch, 1997, 2000; Brancelj, 2002; Pipan & Brancelj 2001, 2004a, b; Pipan, 2005; Sket et al., 2004; Camacho et al., 2006). Nevertheless, studies on stygofauna in tropical regions are scarce, and non-existent in relation to the epikarstic horizons.

As the terrestrial hypogean fauna is more visible, it has been studied in more detail in Brazil (Trajano & Bichuette, 2006, 2010). The aquatic diversity, however, is clearly underestimated, as sampling methods of this biota are not always adequate (Trajano & Bichuette, 2006). For Brazil, the only records of copepods are restricted to six species of two caves in Goiás, aside from the sparse references in general publications, which adds three other species (Pinto-da-Rocha, 1995). Sampling of these organisms require the use of nets with micrometric mesh in special habitats like pools fed by percolating water, aside from sifting of sediment for interstitial species and use of vacuum pumps.

The study of epikarstic biota is a new field of subterranean biology in Brazil. The main goal of this study was to elucidate the richness and distribution of the subterranean aquatic biota in different karstic horizons of the São Domingos region and its surroundings,

northeastern Goiás state, central Brazil. Furthermore, we verified the relationship between this biota and some physical and chemical variables of the different horizon.

This study has considered the question of relevance *versus* visibility of the biota and the respective habitats, considering the problem of negligence in relation to species that are little visible yet important to the functioning of a subterranean system.

Material and Methods

Study Area

The karstic area of São Domingos and its surroundings, represents one of the regional expressions of the Bambuí geomorphologic unit, which constitutes the largest set of limestone occurrences favorable to the presence of caves in Brazil, with an approximate area of 105,200 km². In the region there are five large systems of caves, with up to 23 km of development and extensive epikarstic horizons (Figure 2).

Figure 2.

The area is inserted in a state-level Conservation Unit (Terra Ronca State Park), created seventeen years ago but still with diverse land ownership problems. One aggravating factor is that some springs from the rivers that cross the cave system are located outside of the park. Superficial rivers belonging to the Paranã Basin (High Tocantins) penetrate the limestone layers after draining an extensive arenitic region, forming large cave systems (Karmann & Setúbal, 1984; Auler & Farrant, 1996). As part of these, there are upper tributaries in the vadose zone, fed by infiltrating waters of the epikarst.

The region belongs to the morphoclimatic Dominion of the Cerrados (Ab'Saber, 1977), with the dry season between May and September, sometimes extending through October (Nimer, 1979). Heavy showers characterize the rain regimen during the rainiest periods (October through March), transporting large quantities of organic matter to the interior of caves.

Sampling of aquatic invertebrates

The collection area embodies subterranean systems and epigean rivers, sampled differently regarding frequency and volume, since in some cases the availability of water was restricted. Abbreviations and characteristics of each sampled point are described in Table 1.

The region was sampled on five occasions: April and October of 2011, and February, June and October of 2012. The subterranean stretches included rivers and drips of epikarstic origin, subterranean rivers (base level) and travertines (water pools) (Figure 3). The caves and rivers sampled are: Angélica, Bezerra, Buraco das Araras, São Bernardo, São Mateus and Revolucionários caves; the epigean Palmeiras, Angélica, da Lapa, São Domingos Rivers, and the Resurgence of Terra Ronca (Table 1). Revolucionários cave and the São Domingos River are outside of the park area, but are found inside of the same limestone lens. The Angélica cave is the only locality sampled on every trip, serving as a long-term monitoring base.

Table 1.

At field, different points were chosen to install the plankton net, which remained for periods varying from twenty minutes up to three hours, according to the viability of the location. For the shallow stretches, the flow (used to calculate filtered volume) was estimated from the velocity of the water surface. This velocity was determined by the time it took for a small plastic disc to travel a pre-determined distance. In the case of drip and lentic systems, the volume was directly estimated using a container for which the volume capacity was already known. For the filtering of water, a plankton net was used with mesh of 20µm. The material was subsequently fixed and packed (formaldehyde 4%). Afterwards, the samples were analyzed in the laboratory of Limnology in the Biology Department of FFCLRP/USP (Ribeirão Preto campus), and the organisms were counted and identified to the lowest taxonomic level possible.

Physical and chemical variables

The following measurements of physical and chemical variables of water were realized through the use of Horiba multiprobe(model U50G): temperature (°C), pH, ORP redox potential (mv), conductivity (mS/cm), dissolved oxygen (mg/L), oxygen saturation (%), TDS (g/L), turbidity (NTU), depth (m) and salinity (%).

Data analysis

The relative proportions of the taxa in relation to total richness were recorded. Furthermore, the richness of the taxa in epigean and hypogean environments was taken into account separately for the sake of comparison. Similarity in composition of aquatic invertebrates in the different horizons was analyzed through cluster analysis (*Jaccard, single linkage*).

In order to study the species-environment relationship, Canonical Correspondence Analysis (CCA) was employed, associating the environments variables measured to the matrix of taxa present at eleven points sampled. Subsequently, a dendrogram of faunistic similarity was generated for these eleven segments (*Jaccard, single linkage*).

Finally, by means of simple linear regression, we verified whether there was a relation between sampling effort and richness of taxa, as the volumes sampled in each segment varied.

Analyses of similarity and CCA were realized by means of the programs PAST, (version 2.13) and R language (version 2.15.1), respectively.

Results

Thirty-six taxa were registered in all of the samples, belonging to the groups listed in decreasing order according to richness: Rotifera (23), Insect larvae (4), Copepoda-Cyclopoida, Calanoida and Harpacticoida (3), Cladocera (2), Dinoflagellata (1), Nematoda (1),

Ostracoda (1) and Protozoa (1). Individuals of Copepoda were also verified in larval phases (copepodito and nauplio) (Table 2 and Figure 4).

Figure 4.

In decreasing order, the segments that presented the most richness were: AngEpik (16); ResTR (13); AngGot02 (12); BAraTrav (10); BezSub (9); PalmEp (8); AngGot01, BAraGot and AngEp (7); SBerEpik, BezTrav, SMatTrav and RevSub (5); SDEp and BAraEp (2); BezGot (1). We summed up the richness of the taxa from the samples of epigean and hypogean origin separately, totaling 21 and 30, respectively (Figure 5).

Figure 5.

Still, some taxa were exclusive to one single sampling point: Resurgence of Terra Ronca cave (*Anuraeopsis fissa.*, *Euchlanis* sp.), the epigean Palmeiras (*Bosmina* sp.) and Angélica (*Anuraeopsis* sp.) Rivers, the epikarstic rivers of São Bernardo cave (*Brachionus* sp.) and Angélica cave (Chaoboridae), travertines of the Buracodas Araras cave (Simuliidae) and two drips of Angélica cave (AngGot01: *Arcella costata*; AngGot02: *Brachionus falcatus*, *Conochilus* sp., *Filinia* sp., *Kellicotia bostoniensis*, *Keratella cochlearis tecta*). The group Calanoida was restricted to samples from epigean water, and Harpacticoida was restricted to subterranean waters.

Cluster analysis for the 16 points evidenced low similarity between them ($J=0.58$). It was observed that some subterranean water segments of epikarstic origin, including samples of rivers and inundated travertine, were clustered (Figure 6).

Figure 6.

In the resultant diagram of the Canonical Correspondence Analysis (CCA) (Figure 7), the taxa closest to the various environmental vectors are strongly associated with them. In the same way, taxa with the greatest proximity between them can be associated to similar niches.

The position of each sampling point in relation to the others reflects physical and chemical characteristics that are more or less similar.

For this analysis (CCA), thirty-three taxa were recorded in eleven sampling points. We verified that only six of the ten of the environmental variables that were measured held some importance in the faunistic distributions of the samples: dissolved oxygen (DO), oxygen saturation (%), redox potential (ORP), conductivity, pH and temperature (Table 3). Oxygen saturation (%) and redox potential presented the greatest correlation values with the first ordination axis (0.8119 and 0.7842, respectively). The two first canonical axes had low explicability, with a 40% value of total variation (28% and 21%, respectively).

Table 3.

Figure 7.

For the dendrogram of similarity generated from the cluster of these eleven points, there was greater dissimilarity between them ($DS_j=0.7864$) than when the sixteen points were considered (see Figure 6). In this analysis, we verified that the epigean rivers were the most dissimilar horizons and the epikarstic rivers of Angélica and Bezerra caves were clustered in the same subgroup (Figure 8).

Figure 8.

No relation was found between the volume of water filtered and the richness of taxa recorded at each sampling point, since simple linear regression analysis presented a value of $R=0.10756$.

Discussion

Richness of the karstic waters of Goiás

In this preliminary approach, we verified elevated richness of subterranean invertebrate with the epikarstic fauna being remarkable and responsible for the high number of recorded species. However, for more accurate access to this fauna in particular, it is necessary to constantly monitor these horizons by means of frequent sampling during different periods of the year. As such, not only can richness of species be recorded, but it also can be verified whether there are differences in their distributions and abundances according to seasonality.

The food chains of subterranean environments are fragmented in their beginnings and ends, thanks to the absence of photosynthesizing organisms and scarcity of secondary predators in the environment (Gibert & Deharveng, 2002). Within the possible sources of energetic resources, percolation water is alone in its capacity to supply aquatic as well as terrestrial environments, as it can reach innumerable subterranean horizons (Culver & Pipan, 2009). In the subterranean aquatic environment there is no primary production that aids in organic renovation, but there is intense circulation through epikarstic systems. In this horizon, the energetic availability is restricted to organic material dissolved in percolating waters, inundations, and chemosynthesis of the microorganisms present.

For a long time, the dominance of rotifers was associated to increase in the trophic state of the system due to short life cycles and rapid reproduction, which favors this group in more dynamic, competitive and selective environments. Presently, it is known that rotifers are also dominant in several other aquatic environments, independent of the trophic state (Rocha et al., 1995). For the systems in this study rotifers were the richest group, representing more than half of the total richness recorded, possibly due to the group's dominance over the other organisms. These species have greater tolerances to different environmental conditions, and present short reproductive cycles and high renovation rate, providing an advantage for the formation of well-established populations. The fact that the Copepoda group had been recorded, even in diminutive larval stages, demonstrated that the methodology used was

efficient in capturing the micro crustaceans. As such, its low number of occurrences in the samples must probably be due to environmental factors and/or interspecific relations in these communities.

Diversity in subterranean watercourses is frequently limited by competition, and especially limited by energetic resources and space (Culver, 1994). The subterranean aquatic microfauna certainly configures as an extremely important source in the diets of some larger taxa, principally for fish populations and aquatic invertebrate groups that inhabit the most inaccessible points of the epikarstic zone. Rotifers are considered a source highly rich in energy, as it makes available a large quantity of renewable food through conversion of primary production in tissue that is easily assimilated by consumers (Esteves, 1998). In dry periods when the level of the phreatic zone tends to suffer brisk reductions, some fish become imprisoned in pools and inundated travertines, without record of populations in base-level streams (*e.g.* populations of catfishes *Ituglanis epikarsticus* Bichuette & Trajano, 2004 of São Mateus cave). Therefore, for the horizons studied, it is possible that rotifers act as an essential component of energy flows, offering rapid renovation of nutrients to the other trophic levels.

The dendrograms generated by cluster analysis of all the sampling points revealed that drips are the most singular environments. These habitats constitute transitional systems situated between the epikarst and the vadose zone. They represent the first contact of water that drains from the epikarstic horizon for open subterranean conduits (Culver & Pipan, 2008; Pipan et al. 2010). It is important to highlight that the volume of water filtered through these points was much less compared to the others in this study. However, we encountered elevated richness and occurrence of exclusive taxa. We recorded the greatest richness from the least voluminous samples (drips of Angélica cave and epigean resurgence), while some of the most voluminous samples had inferior richness (São Domingos, Lapa and Angélica epigean rivers).

Therefore, for these points in the study the filtering of the greatest quantity of water was not directly related to the greatest capture of organisms.

Cluster analysis also generated subgroups with segments of water with exclusively epikarstic and subterranean origin. Even though the epikarst and catchment zones of rivers are both superficial/ subterranean interface environments, they differ in their capacities to supply the hypogean medium. The small size of fissures of the epikarstic horizon restricts the transport of particles and microorganisms, as well as represents a much slower flow. However, the total area occupied by the epikarstic system is much more ample and complex, permitting innumerable vertical and lateral connections. These factors interact in a heterogeneous manner in each horizon, generating varied microhabitats and promoting the formation of equally distinct communities.

Generally, the most relevant factors to the composition of aquatic biota consist of the physical and chemical variables of water. Furthermore, the thickness of rocks and the pluviometric regimen directly influence the properties and water volume that penetrate the karstic systems. The environmental variables used in our correlation analysis have little explained the different faunistic distributions. Certainly, there are other more important factors that have not been considered. This increases the necessity for measurements of other variables, and on a larger temporal scale. Until today, there are few studies that have measured the principle entranceways for nutrients in the epikarst, such as levels of carbon, phosphorous and nitrogen in the waters (*e.g.* Pipan et al., 2006). However, it is known that dissolved organic carbon is a more limiting factor than many other nutrients in relation to the energy of systems formed in the channels of the epikarstic horizon (Simon & Benfield, 2002).

For the parameters considered, we have observed that there was a separation between epigean and hypogean samples, in the diagram generated by CCA as well as in the dendrograms of faunistic similarity. Both demonstrated that there were clear differences

between the biota of epigean and subterranean aquatic environments. The distinctions of hypogean segments among themselves are less evident, but it is perceptible that, in general, there is singularity between all of the sampled horizons.

The waters that percolate the subterranean systems are filtered by soils and sediments on the karstic surface and tend to suffer diminution of dissolved oxygen. Oxygen is not alone in suffering reduction along its course. Organic material, carbon, and diverse ions suffer as well, depending on the manner in which they are utilized and transformed in chemical processes by the interstitial and/or epikarstic fauna. We verify that the epigean taxa are situated in greater saturation levels of oxygen compared to those of hypogean sample records. In fact, water circulation in superficial rivers promotes greater oxygenation than in subterranean environment, which generally are formed by smaller and less dynamic or lentic systems.

Redox potential, the second most important variable in the analysis, has variation inversely proportional to concentrations of oxygen in the manner that reductive processes predominate in the absence of oxygen. Low levels of ORP can be associated to environmental pollution and/or high concentrations of ions, as occurs in waters with karstic origins. In the sampling points of subterranean segments, the taxa recorded appeared more associated to alkaline pH and elevated conductivity. These characteristics are even more evident in the case of samples with epikarstic origin.

The epikarstic horizon can act as a thoroughfare for species colonization of the epigean in the direction of subterranean environments. Fong & Culver (1994) verified that for some caves of the United States, first order watercourses fed by epikarstic percolation present greater diversity than others of larger order. Among the indirect access ways, it is hoped to find greater species diversity, as well as more accurate reflection of epikarstic fauna in drip water (Pipan et al., 2010). This water that drains directly from the ceiling can supply a better

approximation of physical and chemical characteristics of the upper horizon, while water pools, that constitute lentic systems, frequently present environmental conditions distant from the epikarstic.

Tropical versus temperate aquatic subterranean biota

Comparing the results obtained with studies realized of the epikarst of temperate zones (Moldovan et al., 2007; Pipan & Culver, 2005), it can be verified that there is elevated potential of epikarstic richness in the region. The tropical aquatic subterranean biota (principally the epikarstic) can present a distinct composition from those already verified in other karstic areas. The richness demonstrated itself to be very high compared to that recorded in more robust approaches, with greater sampling effort (*e.g.* Pipan & Brancelj, 2004; Pipan et al., 2006). Furthermore, Copepoda was not the group with the greatest richness, which is a standard frequently encountered in percolating water of many temperate regions, as verified in countries like Slovenia and Romania (Moldovan et al., 2007). The presence of exclusive taxa in some localities emphasizes the singularity of systems, inserted in the same limestone lens with great geographic proximity.

The structure of the epikarst can vary significantly in different regions according to its lithology, geomorphic history, as well as environmental parameters and seasonal variables (Klimchouk, 2004). As such, it is hoped that the tropical aquatic subterranean biota would be distinct from that observed for temperate karstic zones.

Remarks on conservation

The Brazilian scenario campaigns for an incessant increase in agricultural and mining activities. The latter represents one of the main threats to the conservation of karstic areas and subterranean environments, as it can destroy entire karstic landscapes, depending on the scale

of prospecting. The richness and distribution of aquatic species abundantly vary in function of water quality, so the epikarstic biota represents a good bio indicator as it reflects the impact of polluting actions. The epikarstic zone acts as a reservoir as well as a disperser of toxic substances, considering its ample vertical and horizontal drainage system (Loop & White, 2001). Therefore, it is expected to find variations in these communities according to the grade of pollutants originating from percolating water. The variations encountered in biological communities can be associated to local activities, being a useful tool in controlling aggressive human practices in the environment.

In Brazil, studies on diversity of aquatic biota in subterranean environments are few and data is still sparse (Pinto-da-Rocha, 1995; Bichuette & Santos, 1998; Souza-Silva et al., 2012). None of these works have contemplated the epikarstic horizon. The richness of taxa presently recorded reveals the potential of epikarstic biota for the tropical region, which remain neglected in studies on Brazilian subterranean biodiversity.

Acknowledgements

We are grateful to colleagues at the Laboratório de Estudos Subterrâneos/UFSCar for assisting in the sampling effort (C.S. Fernandes; D.M. Neto; J.E. Gallão; P.P. Rizzato). Statistical analyses were performed with the aid of Gustavo Henrique de Carvalho. Logistics were made possible thanks to the financial support of FAPESP (process nº 2010/08459-4) and Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), through a master's grant awarded to the first author (#132981/2011-4). All of the collecting was done in agreement with Brazilian state (authorization for scientific research in the conservation unit SEMARH nº 063/2012) and federal laws (SISBIO # 28992-1). We also thank PPGERN/UFSCar for the infrastructure needed to implement the present study.

References

- Ab'Saber, A., 1977. Os Domínios morfoclimáticos da América do Sul. Primeira Aproximação. Geomorfologia. 52:1–21.
- Auler, A. & A.R. Farrant, 1996. A brief introduction to karst and caves in Brazil. In: Proceedings of University of Bristol Speleological Society. 20(3):187-200.
- Bichuette, M.E. & F.S. Santos, 1998. Levantamento e dados ecológicos da fauna de invertebrados da Gruta dos Paiva, Iporanga, SP. O Carste. 10: 14-19.
- Brancelj, A., 2002. Microdistribution and high diversity of Copepoda (Crustacea) in a small cave in central Slovenia. Hydrobiologia. 477: 59–72.
- Camacho, A.I. et al., 2006. Habitat constraints in epikarstic water of an Iberian Peninsula cave system. Ann. Limnol. - Int. J. Lim. 42: 127–140.
- Culver, D.C., 1994. Species interactions. In: J. Gilbert, D.L. Danielopol, and J.A. Stanford, (ed), Ground Water. Academic Press, San Diego, CA, pp.271-85.
- Danielopol, D.L., 1981. Distribution of ostracods in the groundwater of the northwestern coast of Euboea (Greece). Int J Speleol. 11:91–104.
- Danielopol, D.L., C. Griebler, A. Gunatilaka, J. Notenboom, 2003. Present state and future prospects for groundwater ecosystems. Environ Conserv. 30: 104–130.
- Dole-Olivier, M.J., F. Castellarini, N. Coineau, D.M.P. Galassi, P. Martin, N. Mori, A. Valdecasas, J. Gibert, 2009. Towards an optimal sampling strategy to assess groundwater biodiversity: comparison across six European regions. Freshwater Biology. 54: 777–796.
- Drew, D.P., J. Orvan, A. Pulido Bosch, I. Salaga, A. Sarin L. Tulipano, 1995. The characteristics of karst groundwater systems. In: Cost action-65 Hydrogeological aspects of groundwater protection in karstic areas, (ed) Final report, European Commission, EUR 16547, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, pp. 349–369.

- Dreybrodt, W., 1988. Processes in karst systems. Series in Physical Environment. Springer, Heidelberg. 4: 288 pp.
- Esteves, F.A., 1998. Fundamentos da Limnologia. Interciência, Rio de Janeiro, Brasil.
- Fong, D.W. & D.C. Culver, 1994. Invertebrate fauna. In: Dasher G.R. & Balfour W.M. (ed), The Caves and Karst of the Buckeye Creek Basin County West Virginia: West Virginia Speleological Survey, Maxwelton, pp. 41–42.
- Gibert, J. & L. Deharveng, 2002. Subterranean ecosystems: a truncated functional biodiversity. *BioScience*. 52: 473–481.
- Jakobi, H., 1962. Harpacticoidea e Syncaridatroglobiontes (Crustacea). *Boletim da Universidade do Paraná, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras* 21. Curitiba, Paraná.
- Karmann, I. & J.C. Setúbal, 1984. Conjunto espeleológico São Mateus-Imbira: principais aspectos físicos e históricos da exploração. *Espeleo-tema*. 14: 43-53.
- Klimchouk, A.B., 2004. Towards defining, delimiting and classifying epikarst: its origin, processes and variants of geomorphic evolution. In: Jones, W.K., Culver, D.C. & Herman, J.S. (ed), *Epikarst*, Special Publication 9, WV: Karst Waters Institute, Charles Town, pp. 23-35.
- Loop, C.M. & W.B. White, 2001. A conceptual model for DNAPL transport in karst groundwater basins. *Ground Water*. 39: 119–127.
- Moldovan, O.T., T. Pipan, S. Iepure, A. Mihevc, J. Mulec, 2007. Biodiversity and Ecology of Fauna in Percolating Water in Selected Slovenian and Romanian Caves. *Acta Carsol*. 36: 493–501.
- Musgrove, M. & J.L. Banner, 2004. Controls on the spatial and temporal variability of vadose dripwater chemistry: Edwards Aquifer, central Texas. *Geochim Cosmochim Acta*. 68: 1007–1020.

- Nimer, E., 1979. Climatologia do Brazil. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Departamento de recursos naturais e estudos ambientais, Rio de Janeiro, pp. 420.
- Pinto-da-Rocha, R., 1995. Sinopse da fauna cavernícola do Brasil (1907-1994). Pap. Avulsos de Zool. 39(6):61-173.
- Pipan, T., 2003. Ecology of copepods (Crustacea: Copepoda) in percolation water of the selected karst caves: Doctoral dissertation, University of Ljubljana, Dept. of Biology, Ljubljana, Slovenia.
- Pipan, T. & A. Brancelj, 2001. Ratio of copepods (Crustacea: Copepoda) in fauna of percolation water in six karst caves in Slovenia. Acta Carsol. 30: 257–265.
- Pipan, T. & A. Brancelj, 2004a. Diversity and peculiarity of epikarst fauna: Case study from six caves in Slovenia (Europe). In: Jones W.K., Culver D.C. and Herman J.S. (ed.), Proceedings of the Symposium on Epikarst, Shepherdstown, West Virginia, 1–4 October 2003, Karst Waters Institute Special Publication 9, Charles Town, WV, pp. 119–126.
- Pipan, T. & A. Brancelj, 2004b. Distribution patterns of copepods (Crustacea: Copepoda) in percolation waters of the Postojnska Jama Cave System (Slovenia). Zool. Stud. 43:206–210.
- Pipan, T., 2005. Epikarst – a promising habitat. Copepod fauna, its diversity and ecology: a case study from Slovenia (Europe). ZRC Publishing, Karst Research Institute at ZRC SAZU. Ljubljana. 1:101.
- Pipan, T. & D.C. Culver, 2005. Estimating biodiversity in the epikarstic zone of a West Virginia cave. Journal of Cave Karst Study. 67:103–109.
- Pipan, T. & D.C. Culver, 2007. Epikarst communities: biodiversity hotspots and potential water tracers. Environ. Geol. 53: 265–269.
- Pipan, T., A. Blejec, A. Brancelj, 2006. Multivariate analysis of copepod assemblages in epikarstic waters of some Slovenian caves. Hydrobiologia. 559:213–223.

- Pipan, T., N. Holt & D.C. Culver, 2010. How to protect a diverse, poorly known, inaccessible fauna: identification and protection of source and sink habitats in the epikarst. *Aquat Conserv.* 20: 748–755.
- Rocha, O., S. Sendacz & T. Matsumura-Tundisi, 1995. Composition, biomass and productivity of zooplankton in natural lakes and reservoirs of Brazil. In: Tundisi, J. G., Bicudo, C. E.M. & Matsumura-Tundisi, T. (ed), *Limnology in Brazil*, Rio de Janeiro, pp. 151-166.
- Sket, B., 1996. Biotic diversity in hypogean habitats in Slovenia and its cultural importance. In: A. Cimerman and N. Gunde-Cimerman (ed), *International Biodiversity Seminar Ecco XIV, Meeting, Gozd Martuljek, Slovenia, Ljubljana*, pp. 59-74.
- Sket, B., P. Trontelj, C. Žagar, 2004. Speleobiological characterization of the epikarst and its hydrological neighborhood: its role in dispersion of biota, its ecology and vulnerability. In: Jones W.K., Culver D.C., Herman J.S. (ed), *Proceedings of the Symposium on Epikarst*, Shepherdstown, West Virginia, 1–4 October 2003, Karst Waters Institute Special Publication 9, Charles Town, pp. 104-113.
- Simon, K.S. & Benfield, E.F., 2002. Ammonium retention and whole stream metabolism in cave streams. *Hydrobiologia*. (482):31–39.
- Smith, M.L., 1995. Community and edaphic analysis of upland northern hardwood communities, central Vermont, USA. *For. Ecol. Manage.* 72: 267-74.
- Souza-Silva, M. et al., 2012. Transitory aquatic taxocenosis in two neotropical limestone caves. *Rev. Bras. Espeleol.* 2: 29-41.
- Stoch, F., 1997. A new genus and two new species of Canthocamptidae (Copepoda, Harpacticoida) from caves in northern Italy. *Hydrobiologia*. 350: 49–61.

- Stoch, F., 2000. New and little known *Parastenocaris* (Copepoda, Harpacticoida, Parastenocarididae) from cave waters in Northeastern Italy. *Bollettino del Museo Civico di Storia Naturale di Verona*. 24: 195–206.
- Trajano, E., 2001. Ecology of subterranean fishes: an overview. *Environ. Biol. Fishes*. 62: 133-160.
- Trajano, E. & Bichuette, M.E., 2006. *Biologia subterrânea: Introdução*. Redespeleo, São Paulo, Brasil.
- Trajano, E. & Bichuette M.E., 2010. Diversity of Brazilian subterranean invertebrates, with a list of troglomorphic taxa. *Subterr. Biol.* 7: 1-16.
- Williams, P.W., 1983. The role of the subcutaneous zone in karst hydrology. *Journal Hydrol.* 61: 45-67.
- Williams, P.W., 2008. The role of the epikarst in karst and cave hydrogeology: a review. *Int. Journal. Speleol.* 37(1): 1–10.

Figures List

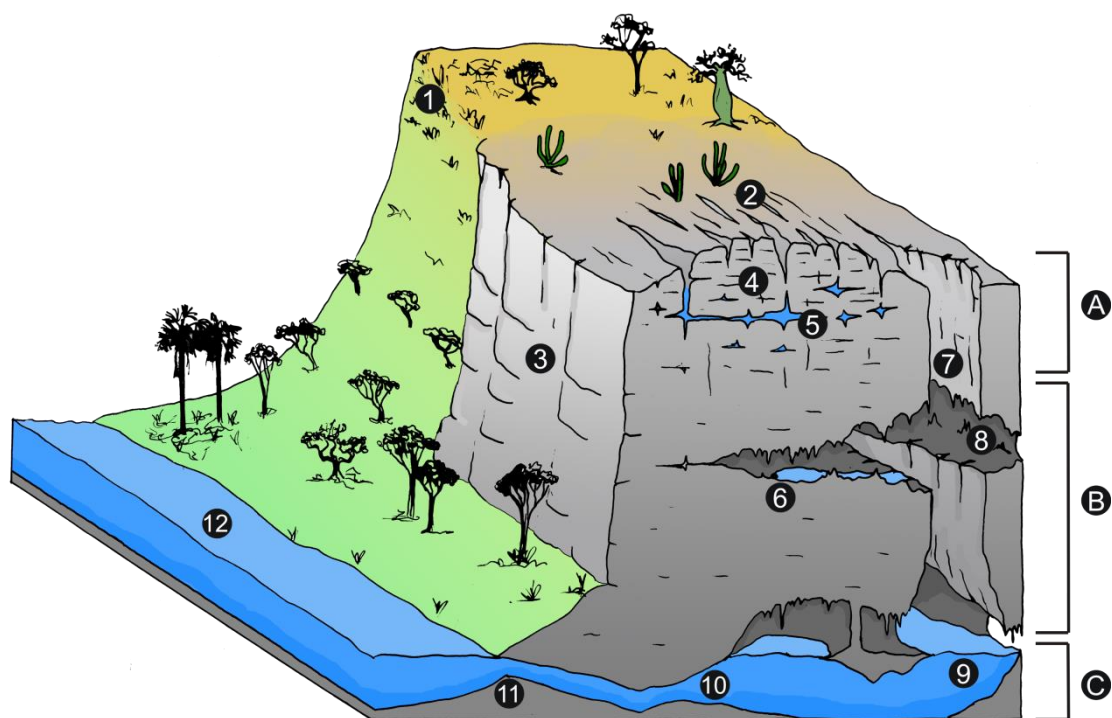


Figure 1. Vertical and horizontal horizons in karstic rocks. 1=soil; 2=karstic terrain; 3=limestone outcrop; 4=epikarst; 5=aquifer at epikarst; 6=drips; 7=doline; 8=cave; 9 and 10=subterranean river at base level; 11=resurgence; 12=epigean river; A=epikarstic zone; B=vadose zone; C=phreatic or saturated zone. (Illustration: Pedro Pereira Rizzato, 2012).

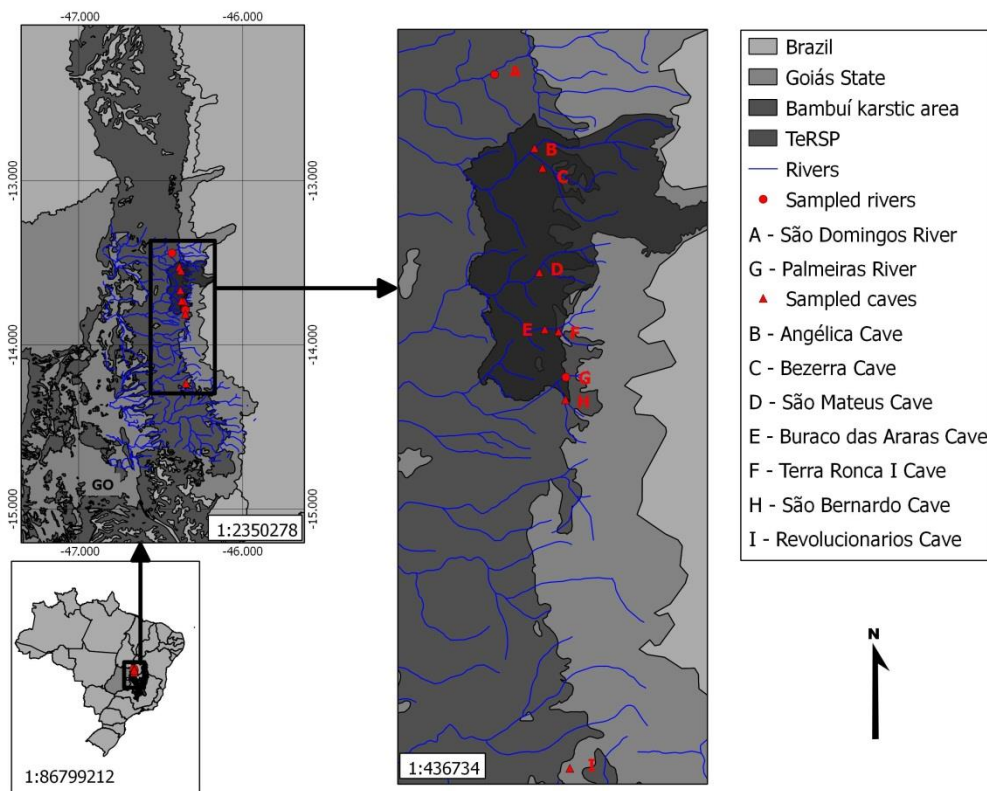


Figure 2. Study area map, with details of subterranean cave systems and epigean rivers at São Domingos karst area and surroundings, Goiás state, central Brazil. In dark gray – limits of Terra Ronca State Park (*TeRSP*). A=São Domingos river; B= Angélica cave; C= Bezerra cave; D= São Mateus cave; E= Buraco das Araras cave; F= Terra Ronca I cave (sinkhole of Lapa river); G= Palmeiras river; H= São Bernardo cave; I= Revolucionários cave (this cave is located outside the limits of Terra Ronca State Park).

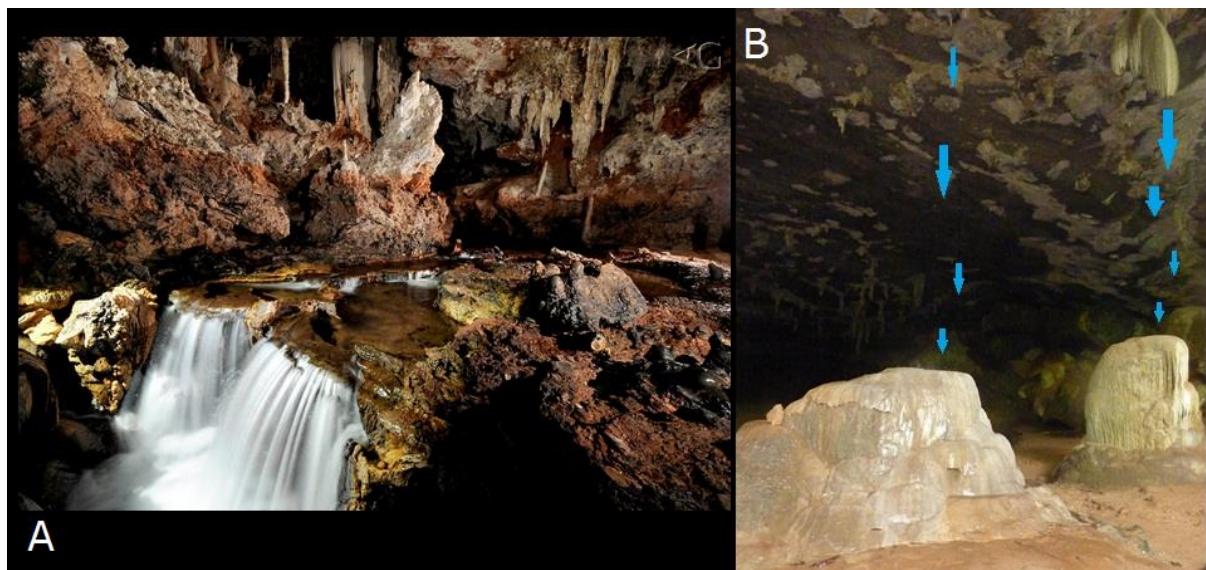


Figure 3. Epikarstic river (A, São Bernardo cave) and drips formed by infiltration water (B, Angélica cave – AngGot01). Photography: A, Adriano Gambarini; B, Maria Elina Bichuette.

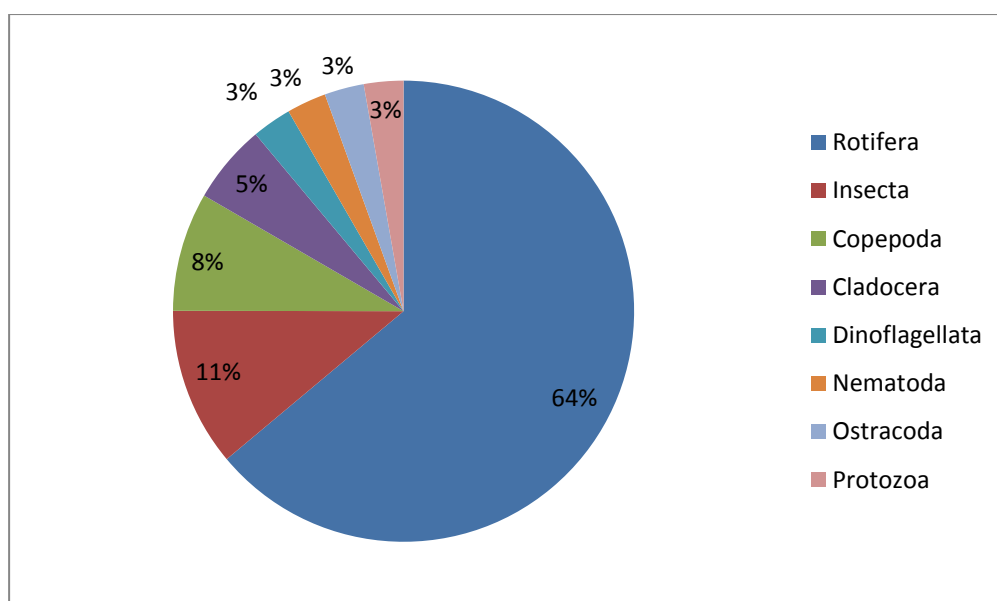


Figure 4. Relative abundance of recorded taxa in 16 sampling sites of subterranean horizons and epigean rivers from São Domingos karst área and surroundings, Goiás state, central Brazil.

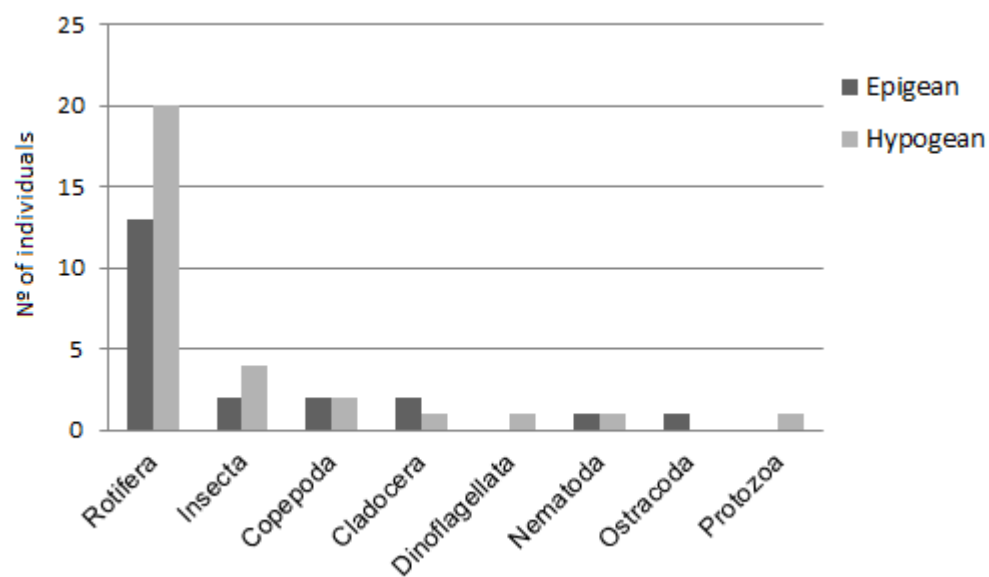


Figure 5. Absolute richness recorded in 16 sampling sites. Total for epigean rivers (21 taxa) and subterranean horizons (30).

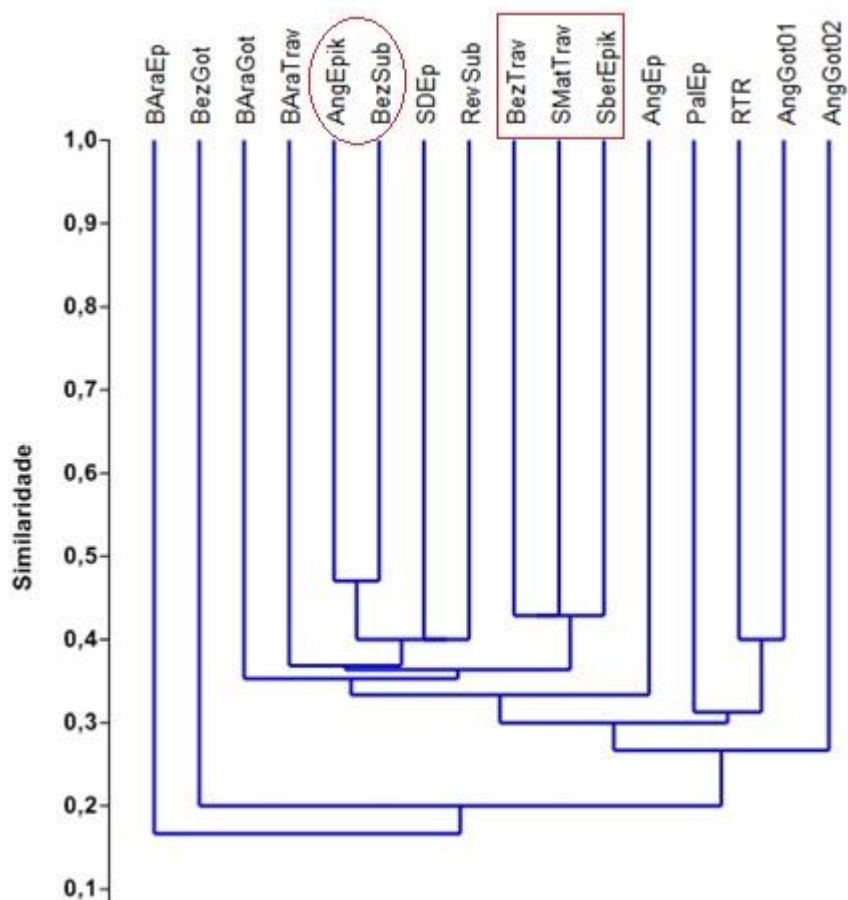


Figure 6. Similarity Cluster Analysis (*Jaccard, single linkage*) for 16 sampling sites from São Domingos karst area and surroundings, Goiás state, central Brazil. Red circles and rectangles group the exclusively subterranean and epikarstic waters, respectively. Abbreviations are described at Table 1.

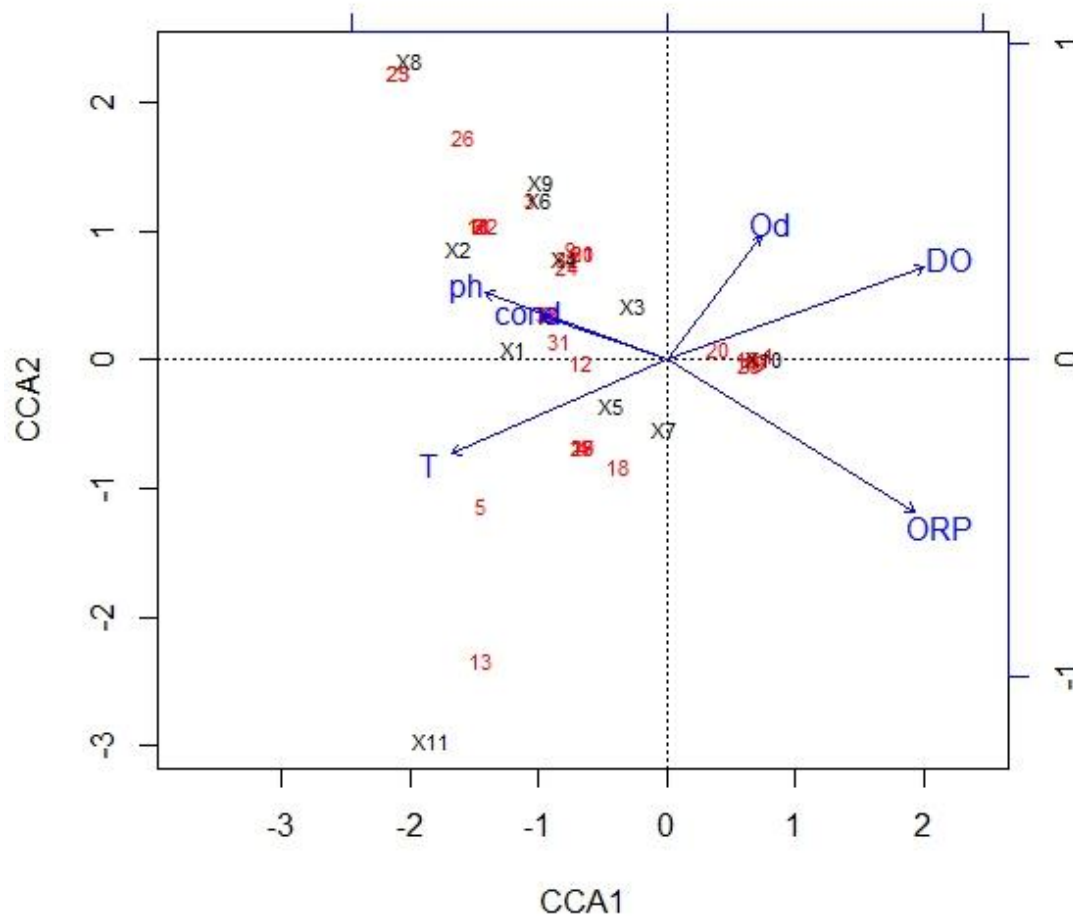


Figure 7. Canonical Correspondence Analysis (CCA) for environmental variables and biotic data of 11 sampling sites from São Domingos karst area and surroundings, central Brazil (*ORP*= redox potential; *ph*=pH; *T*=temperature; *Od*= concentration of O_2 ; *DO*= oxygen saturation and *cond*=conductivity). Red numbers represent the taxa (listed in Table 2); X words represent the sampling sites (abbreviations are described at Table 1): *X1*=AngGot01; *X2*=AngGot02; *X3*=BAraGot; *X4*=BAraTrav; *X5*=AngEpik; *X6*=SBerEpik; *X7*=BezSub; *X8*=PalmEp; *X9*=BAraEp; *X10*=AngEp and *X11*=SDEp.

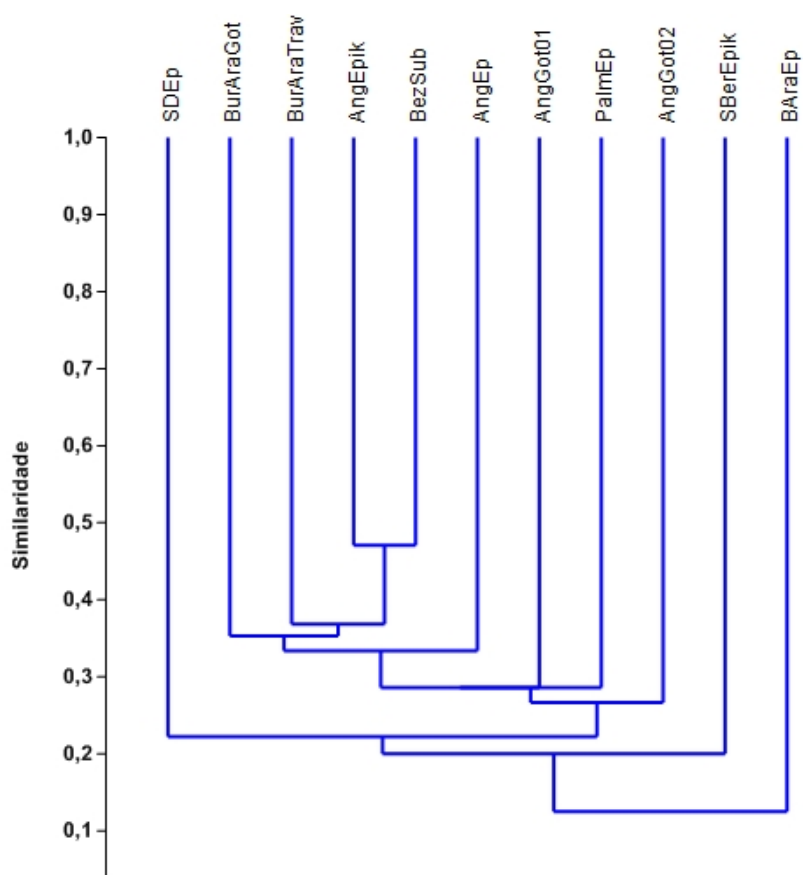


Figure 8. Similarity Cluster Analysis (*Jaccard, single linkage*) for 11 sampling sites where the environmental variables were measured, São Domingos karst area and surroundings, Goiás state, central Brazil. Abbreviations are described at Table 1.

Table List

Table 1. Characteristics, volumes and months in which collection was realized of the sampling sites in the karstic area of São Domingos and surroundings, central Brazil, throughout the years 2011 and 2012. Caves: Angélica (*Ang*), Buraco das Araras (*BAra*), Bezerra (*Bez*), São Bernardo (*SBer*), São Mateus (*SMat*), Revolucionários (*Rev*); epigean rivers: Palmeiras (*Palm*), Angélica (*Ang*), São Domingos (*SD*); resurgence: Terra Ronca (*RTR*). *Got*= drip; *Epik*= epikarstic; *Ep*= epigean; *Trav*= travertine; *Sub*= subterranean. *Locality visited on the five occasions (segment of Angélica cave, monitoring base); samplings were not performed during periods in which drips remained inactive.

<i>Points</i>	<i>Collection Occasions</i>	<i>Vol (l)</i>	<i>Characteristics</i>
<i>AngGot01</i>	Apr/2011; Feb/2012 *	83	Drip in the entrance zone (photic) of Angélica cave. Water drips directly from the ceiling, with flow varying according to season of the year.
<i>AngGot02</i>	Apr/2011*	3	Reduced drip, with flow always remaining low when active. Water drips passing through parent rock and remains dry during periods of the dry season. Penumbra zone.
<i>AngEpik</i>	Apr & Oct/2011; Feb, Jun & Oct/2012	3.596	River of epikarstic waters, habitat of the small catfish <i>Ituglanis epikarsticus</i> Bichuette & Trajano, 2004. The water runs with moderate flow and little turbulence, and there is notable reduction in the river level in dry periods. Aphotic zone.
<i>AngEp</i>	Jun/2012 & Oct/2012	23.580	Epigean Angélica River, point close to the sinkhole.
<i>BAraGot</i>	Oct/2011 & Oct/12	21	Drip in aphotic zone. Water drains through speleothems of the ceiling.
<i>BAraTrav</i>	Oct/2011 & Oct/2012	45	Travertine near the BurAraGot drip. Water remains puddled in the aphotic zone.
<i>BAraEp</i>	Oct/2012	6.000	Epigean Lapa River, entrance of Buraco das Araras cave.
<i>BezGot</i>	Jun/2012	45	Drip directly from ceiling, aphotic zone.
<i>BezTrav</i>	Jun/2012	113	Travertine in aphotic zone of Bezerra cave. Water drips from the ceiling and remains puddled.

<i>BezSub</i>	Feb & Jun/2012	2.603	Subterranean river in aphotic zone of Bezerra cave, base level.
<i>SBerEpik</i>	Fev/2012	2.592	River of epikarstic waters in aphotic zone of São Bernardo cave. Elevated flow.
<i>SMatTrav</i>	Feb/2012	210	Travertine in aphotic zone of the São Mateus cave. Water drips from the ceiling and remains puddled.
<i>RTR</i>	Oct/2011	158	Lapa River at its epigean portion, resurgence of Terra Ronca cave.
<i>PalmEp</i>	Apr/2011	110	Palmeiras River (epigean) near the sinkhole of São Bernardo cave.
<i>SDEp</i>	Feb & Jun/2012	72.000	São Domingos River (epigean), near its sinkhole.
<i>RevSub</i>	Jun/2012	1.545	Subterranean river in Revolucionários cave, base level in aphotic zone.

Table 2. Taxa list and abundance. Caves: Angélica (*Ang*), Buraco das Araras (*BAra*), Bezerra (*Bez*), São Bernardo (*SBer*), São Mateus (*SMat*), Revolucionários (*Rev*); epigean rivers: Palmeiras (*Palm*), Angélica (*Ang*), São Domingos (*SD*); resurgences: Terra Ronca (*RTR*).

*Absent taxa in samples from 11 sites used for CCA analysis. Undet., undetermined taxa. Detailed abbreviations are described at Table 1.

	<i>Drips</i>				<i>Travertines</i>			<i>Epikarstic waters</i>				<i>Epigean rivers</i>				
<i>Taxa</i>	<i>Ang 01</i>	<i>Ang 02</i>	<i>BAra</i>	<i>Bez</i>	<i>BAra</i>	<i>Bez</i>	<i>SMat</i>	<i>Ang Epik</i>	<i>SBer Epik</i>	<i>Bez Sub</i>	<i>Rev Sub</i>	<i>Palm</i>	<i>Ang</i>	<i>BAra</i>	<i>SD</i>	<i>RTR</i>
Rotifera																
* <i>Anuraeopsis fissa</i>																1
<i>Anuraeopsis</i> sp.													1			
<i>Brachionus falcatus</i>		1														
<i>Brachionus</i> sp.									2							
Chonochilidae								2								
<i>Collotheca</i> sp.	4	4			2			1		2	2	3			18	15
<i>Conochilus</i> sp.		1														
* <i>Euchlanis</i> sp.																12
<i>Filinia</i> sp.		1														
<i>Gastropus</i> sp.	1															25
<i>Hexarthra</i> sp.			1											1		
<i>Kellicotia bostoniensis</i>		5														
<i>Keratella cochlearis tecta</i>		4														
<i>Keratella cochlearis</i>	4	1	1		2			2		4						
Lecanidae								3		2	2				18	

<i>Lecane</i> sp.	2															5
<i>Lecane monostyla</i> sp.								2								12
Ploimida			2					4					47			
<i>Synchaeta</i> sp.								1		2	1		46			
<i>Testudinella</i> sp.								1		2						
<i>Trichocerca</i> sp.		1								6			7			
Bdelloidea			3		3		2	7	2	4	3	3	7			55
Undet.					3											
Copepoda																
Cyclopoida adult		3	1		1			3				5				1
*Cyclopoida copepodito	1	1										2	46			
*Cyclopoida nauplius	1	2	1		1		2	9				3				9
Calanoida												4				2
Harpacticoida				2	4	2	1	1	2		1					
Cladocera																
<i>Bosmina</i> sp.												1				
Undet.									2			2				
Dinoflagellata																
<i>Peridinium</i> sp.						6		2								
Insecta																
Chironomidae					1	4		4		4			7			
Chaoboridae								1								
Simuliidae					1											
Undet.	1	2	2			2	2	6	3	1						1

Nematoda														4		
Undet.	5				8	2	1									2
Ostracoda																
*Undet.																1
Protozoa																
<i>Arcella costata</i>	1															
<i>Sampled Volume (L)</i>	83	3	21	45	45	113	210	3,802	2,592	2,603	1,545	110	23,580	6,000	72,000	158

*Table 3.*Physical-chemical variables of 11 sampling points in the karstic area of São Domingos karst area and surroundings, central Brazil. *pH*= pH, *Cond*=conductivity, *Od*=concentration of O₂, *OD*=saturation of O₂, *ORP*= redox potential, *T*=temperature. Abbreviations are described at Table 1

<i>Sampling point</i>	<i>pH</i>	<i>Cond</i> (mS/cm)	<i>Od</i> (mg/L)	<i>OD</i> (%)	<i>ORP</i> (mv)	<i>T</i> (°C)
AngGot01	7.4	0.811	3.17	37.92	179.0	23.0
AngGot02	9.8	0.474	4.25	50.50	24.3	22.6
BAraGot	8.2	0.494	12.8	145.9	210.2	22.3
BAraTrav	8.1	0.542	15.6	170.5	220.0	22.0
AngEpik	7.5	0.493	4.48	102.63	215.9	23.9
SBerEpik	6.3	0.454	3.50	42.73	203.9	24.5
BezSub	7.5	0.089	5.55	66.03	300.0	23.0
PalmEp	7.6	0.006	6.03	75.75	68.7	26.2
BAraEp	7.0	0.016	11.55	197.7	204.4	25.3
AngEp	6.7	0.007	6.96	163.09	331.6	22.9
SDEp	7.0	0.024	2.91	36.80	290.0	26.5