



ALICIA HELENA SOUZA RODRIGUES FERREIRA

**INFLUÊNCIA DE FATORES TEMPORAIS E
ESPACIAIS NA PARTIÇÃO DA DIVERSIDADE
BETA DE INVERTEBRADOS NA CAVERNA
SALITRE**

LAVRAS – MG

2021

ALICIA HELENA SOUZA RODRIGUES FERREIRA

**INFLUÊNCIA DE FATORES TEMPORAIS E ESPACIAIS NA
PARTIÇÃO DA DIVERSIDADE BETA DE INVERTEBRADOS NA
CAVERNA SALITRE**

Monografia apresentada a Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Ciências Biológicas, para a obtenção do título de Licenciatura.

Orientador
Prof. Dr. Marconi Souza-Silva
Co-orientador
Prof. Dr. Rodrigo Ferreira Lopes

**Lavras – MG
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Ferreira, Alicia Helena Souza Rodrigues.

Influência de fatores temporais e espaciais na partição da
diversidade beta de invertebrados na caverna salitre / Alicia Helena
Souza Rodrigues Ferreira. - 2021.

45 p.

Orientador(a): Marconi Souza-Silva.

Coorientador(a): Rodrigo Lopes Ferreira.

TCC (graduação) - Universidade Federal de Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Ecologia. 2. Beta diversidade. 3. Caverna. I. Souza-Silva,
Marconi. II. Ferreira, Rodrigo Lopes. III. Título.

ALICIA HELENA SOUZA RODRIGUES FERREIRA

**INFLUÊNCIA DE FATORES TEMPORAIS E ESPACIAIS NA PARTIÇÃO
DA DIVERSIDADE BETA DE INVERTEBRADOS NA CAVERNA
SALITRE**

Monografia apresentada a Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Ciências Biológicas, para a obtenção do título de Licenciatura.

APROVADA em 18 de Março de 2021

Prof. Dr. Marconi Souza Silva (Orientador) UFLA

Prof. Dra. M. Fernanda G. V. Peñaflores UFLA

Dra. Thais Giovannini Pellegrini UFLA

Prof. Dr. Marconi Souza-Silva
(Orientador)
Prof. Dr. Rodrigo Ferreira Lopes
(Co-orientador)

**Lavras – MG
2021**

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais (Elizabete e Weisman), aos meus avós (Santa, Maria Alice, João e Geraldo (In memoriam)) por sempre estarem ao meu lado me incentivando e dando todo suporte.

Aos meus amigos que fizeram parte dessa jornada.

A Dread, Gabriela N., Ana Caroline, Luciana e Paulo por serem tão parceiros de aula, de campo, de cafezinho na cantina da bio e de festas.

Aos amigos do Laboratório de Ecologia Subterrânea (CEBS).

Ao Marconi e Rodrigo por ter me acolhido no laboratório e por me fazer sentir em casa, pelas risadas e por me ensinar tanto.

Influência de fatores temporais e espaciais na partição da diversidade beta de invertebrados na caverna Salitre

Alicia Helena Souza Rodrigues Ferreira, Marconi Souza-Silva, Rodrigo Lopes Ferreira.

Departamento de Ecologia e Conservação, Instituto de Ciências Naturais, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, Campus Universitário, CEP 37200-900, Lavras, Minas Gerais, Brasil. biologiasubterranea.com.br

* **Corresponding author:** alicia.ferreira@estudante.ufla.br

Ferreira, R.L. ORCID identifier is 0000-0003-3288-4405

Souza-Silva, M. ORCID identifier is 0000-0002-3184-531

Resumo - Esse estudo avaliou a influência da temperatura e umidade do ar e distância da superfície na estruturação de comunidades de invertebrados na gruta carbonática Salitre, nos períodos de seca e chuva do ano. Avaliamos a influência destes parâmetros ambientais sobre a composição, riqueza e turnover das comunidades e na abundância das seis espécies mais abundantes de invertebrados. Em dois eventos amostrais em 31 setores de 25m ao longo da caverna foram observados 3.938 indivíduos pertencentes a 18 ordens e distribuídos em 142 espécies. No período chuvoso, foram encontradas 101 espécies contra 68 no período seco do ano. A composição e riqueza da fauna mostraram diferenças significativas entre os períodos de seca e chuva. A diversidade beta temporal, ao longo das duas coletas foi de 0,68. A diversidade beta ao longo dos setores foi de 0,94 para o período chuvoso e para o período seco. Uma maior substituição de espécies foi observada no período de chuva (bSIM = 0.90, bNES = 0.035) e no período de seca (bSIM = 0.91, bNES = 0.025) em relação ao aninhamento. No período chuvoso a umidade e temperatura do ar e a distância da entrada influenciaram negativamente a abundância de *Hypena* sp. 2 e positivamente para *Endecous* sp. 1. Em contrapartida, a distância influenciou negativamente a distribuição de *Lutzomyia* sp.1. Para a período de seca, a temperatura influenciou positivamente somente a abundância Carabidae sp. 3. A distância influenciou negativamente a distribuição de *Lutzomyia* sp. 1 e positivamente para *Endecous* sp. 1. O DistLM realizado para o período chuvoso indicou relações significativas entre a composição da fauna e a umidade e distância da entrada. Para o período de seca a composição da fauna relacionou-se a umidade. A análise de GLM indicou que a riqueza está correlacionada negativamente com a distância e positivamente com a temperatura no período de chuva. No período seco, nenhuma das variáveis preditoras indicou relações significativas para a riqueza. O GLM mostrou que o período seca reduz a abundância total da fauna. Variações espaço-temporais nas condições de temperatura e umidade promovem elevado turnover de espécies na caverna Salitre, revelando uma alta heterogeneidade ambiental associada principalmente à região de entrada da caverna.

Palavras-chave: riqueza. Composição. Diversidade beta.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	07
2. METODOLOGIA	09
2.1 Área de estudo.....	09
2.2 Procedimentos de Coleta.....	09
2.2.1 Amostragem de invertebrados.....	10
2.2.2 Amostragem de variáveis ambientais.....	12
2.3 Análises de dados.....	13
3. RESULTADOS.....	14
3.1 Composição, riqueza e abundância de espécies	14
3.2 Variações espaciais e temporais na composição e riqueza.....	21
3.3 Diversidade Beta	23
3.4 Influências das variáveis ambientais na composição e riqueza da fauna.....	23
3.5 Variações nas medidas de temperatura e umidade do ar.....	14
3.6 Variações espaciais na abundância de espécies.....	24
4. DISCUSSÃO.....	32
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
REFERÊNCIAS	

Introdução e justificativa

Compreender os padrões locais de estrutura (diversidade alfa) e dinâmica espacial e temporal (diversidade beta) de comunidades tem sido um dos grandes paradigmas da ecologia de comunidades, uma vez que, diversos elementos físicos do ambiente e interações inter e intraespecíficas influenciam na distribuição delas ao longo de gradientes temporais e espaciais (Harms et al. 2000; Crist et al. 2003; Stireman, 2008). A diversidade alfa (α) permite comparar riqueza de espécies entre diferentes comunidades, entretanto não possibilita comparar a composição das espécies. Neste caso, medidas de diversidade Beta (β) têm sido utilizadas na tentativa de buscar entender os processos determinantes da dinâmica temporal e espacial (similaridade).

Mudanças temporais e espaciais na composição de espécies (beta diversidade) podem ser determinadas por substituição ou aninhamento de espécies (Gaston e Blackburn 2000). Na substituição ocorre uma rotatividade de espécies de acordo com as mudanças nas características de habitat, sem necessariamente afetar a riqueza. No aninhamento, locais com menor riqueza representam um subconjunto de espécies em relação a locais mais ricos; sendo que os dois locais possuem composições complementares sendo que poucas espécies são substituídas ao longo de um gradiente (Baselga 2012). Simpson (1943) postula que a diferença de riqueza poderia ser responsável pela dissimilaridade entre locais, mesmo com a ausência na substituição de espécies.

Nesse contexto, as características de ausência permanente de luz estabilidade nas condições de temperatura e umidade e escassez de recursos alimentares (Poulson e White 1969; Peck 1974), inerentes aos ambientes de cavernas, atuam como filtros na determinação da estrutura das comunidades de invertebrados. Além disso, um gradiente de condições e recursos desde a entrada até locais mais profundos podem atuar diferencialmente na determinação de elevada beta diversidade composicional e riqueza (Whittaker 1960; Ferreira 2004; Baselga 2007, 2010; Carvalho et al. 2012, 2013, Souza-Silva et al 2020b).

Além das variações na estrutura física, trófica e de microhabitats, as cavernas podem apresentar locais com microclimas distintos e que variam de acordo com a distância de aberturas de contato com o meio epígeo e presença de corpos de água (Romero 2009, Tobin et al 2013, Pellegrini & Ferreira 2016, Pacheco et al 2020) promovendo uma elevada heterogeneidade espacial nas características ambientais locais (Barr & Kuehne 1971; Poulson 2005; Moldovan et al. 2018).

A posição, largura e número de entradas em relação ao comprimento de uma caverna podem influenciar a estabilidade das condições microclimáticas e das comunidades ali presentes, além de potencialmente influenciar a disponibilidade de recursos, a riqueza e a composição da fauna subterrânea (Ferreira 2004; Souza-Silva et al. 2012a). A presença de riachos ou rios dentro de cavernas pode aumentar a umidade e importar matéria orgânica, de modo que aumenta as possibilidades de manutenção de um maior número de espécies com exigências distintas de habitats (Souza-Silva et al. 2012^a, Souza-Silva et al 2020a). Além disso, as condições de temperatura podem atuar como outro fator determinante na distribuição dos organismos em cavernas, uma vez que atua não somente na determinação de microclimas, mas também na atividade metabólica dos organismos (Poulson e White, 1969; Gillooly et al. 2001,2002; Tobin et al 2013, Ferreira et al 2015, Mayara 2015). Dessa forma, a composição e abundância da fauna dependem de parâmetros distintos, além da disponibilidade de recursos orgânicos (Ferreira e Martins 2009, Rabelo et al 2020).

Diante disso, alguns autores buscaram categorizar a distribuição espacial de comunidades cavernícolas em relação a condições e recursos distintos dos ambientes subterrâneos em paraepígeas, recurso-espaco dependente e independente (Ferreira 2001; Prous et al. 2004). As comunidades para-epígeas, se distribuem próximas à entrada das cavernas e são compostas por organismos com afinidade a interface entre ambientes epígeos e hipógeos. As comunidades recurso-espaco-dependente são formadas por populações que se distribuem em função de pequenas manchas de recursos (geralmente de tamanho corporal reduzido, menor que 5mm). Já as espécies recursos-espaco-independente, não são obrigatoriamente associadas a um tipo de recurso específico, já que são capazes de se deslocar por longas áreas nas cavernas em busca de condições e recursos.

Entender como estas comunidades de invertebrados respondem a condições de temperatura, umidade e distância em relação aos habitats epígeos, é essencial para o entendimento de tolerâncias e preferências por micro-habitat, auxiliando em ações de conservação da fauna. Assim, o objetivo desse estudo foi de avaliar variações temporais e espaciais na composição e riqueza de invertebrados de uma caverna carbonática desde a entrada até locais mais profundos em distintas épocas do ano. Para tal foram elaboradas as seguintes questões:

- 1- Variações na temperatura e umidade em relação a distância da entrada da caverna e entre os períodos seco e chuvoso do ano exercem influência na composição, abundância e riqueza de invertebrados?

2 - Qual a contribuição dos processos de aninhamento e substituição na rotatividade de espécies de invertebrados de caverna (beta diversidade) em função da distância da entrada e entre os períodos seco e chuvoso do ano?

Metodologia

1. Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na Gruta do Salitre, localizada a 5 km de Cordisburgo (-19.1254 Sul; -44.3224 Oeste), Minas Gerais, Brasil (Figura 1A e B) dentro do Monumento Natural Estadual Peter Lund – MNEPL (<http://www.ief.mg.gov.br/>). Na região de Cordisburgo o período seco ocorreu de abril a outubro (precipitação inferior a 50mm³) e o período chuvoso ocorre de novembro a março (precipitação superior a 150mm³). A média de temperatura no período de seca foi de 21.9°, enquanto no período chuvoso foi de 23.8°. A média da umidade do ar no período de seca foi 56.37% e no período de chuva foi de 71.25% (banco de dados Inmet 2021).

A caverna está inserida no Grupo Carbonático do Bambuí e no Bioma Cerrado, e se formou a partir de dobramentos e fraturas da Formação da Lagoa do Jacaré (Silva e Simões 2002)

A gruta do Salitre possui 1098m de projeção horizontal e um desnível de 43m. A entrada da gruta está localizada em um paredão abrupto rodeada por vegetação nativa preservada (Mata seca). Seu desenvolvimento linear se dá com a presença de salões e passagens de teto baixo, e os espeleotemas são mais comuns nos salões localizados ao final da caverna. A caverna possui um fluxo de água sazonal e de baixa vazão, que atravessa a gruta desde o fundo até 250m da entrada, onde desaparece abaixo de blocos abatidos. Como esse corpo de água sofre influência das precipitações pluviométricas externas, pode inundar os trechos de teto baixo.

2. Procedimentos de coleta de dados

Os dados utilizados neste artigo foram extraídos do banco de dados do Centro de estudos em Biologia Subterrânea da Universidade Federal de Lavras (biologiasubterranea.com.br) e foram coletados como descrito abaixo.

2.1. Amostragem de invertebrados

As amostragens de invertebrados foram efetuadas nos períodos de julho de 1999 (período seco) e janeiro de 2000 (período chuvoso), em setores de 25m (31 setores em um total de 775m desde a entrada) (Figura 1B). Para tal, foi utilizado o método de busca visual e coleta manual ativa para amostragem de invertebrados (Ferreira 2004, Wynne et al. 2019) (Figura 1 B, 2E e 2F).

Os espécimes foram capturados com o uso de pincel fino e posteriormente colocados em frasco devidamente rotulado contendo uma solução de álcool 70%, acerca de realizar a preservação adequada do material. Cada espécime identificado nos setores amostrais recebia um número distinto, sendo sua abundância plotada no croqui da caverna, segundo metodologia proposta por Ferreira (2004) (Figura 1B). Foram priorizados os micro habitats para realização da coleta, tais como depósitos de guano, espaços sob rochas e locais úmidos. Em laboratório, os invertebrados foram identificados até o nível taxonômico acessível, separados em morfótipos a partir da definição de tipos morfológicos e posteriormente reagrupados de acordo com as referências de campo do croqui (Oliver and Baettie 1996). Para a determinação de possíveis espécies troglóbias, foi realizado a identificação de possíveis características troglomórficas. Estas são, por senso, redução da pigmentação melânica, alongamentos de apêndices, redução de estruturas oculares, dentre outras. Estas características são utilizadas para a maioria dos grupos, pois são resultantes de processos evolutivos que ocorreram após os isolamentos de populações dentro das cavernas, porém estas podem variar em caso de organismos de taxas distintos, fazendo-se necessário conhecer a biologia de cada grupo, de forma satisfatória para que o diagnóstico da existência de características troglomórficas possa ser feito com exatidão (Culver & Pipan 2009).

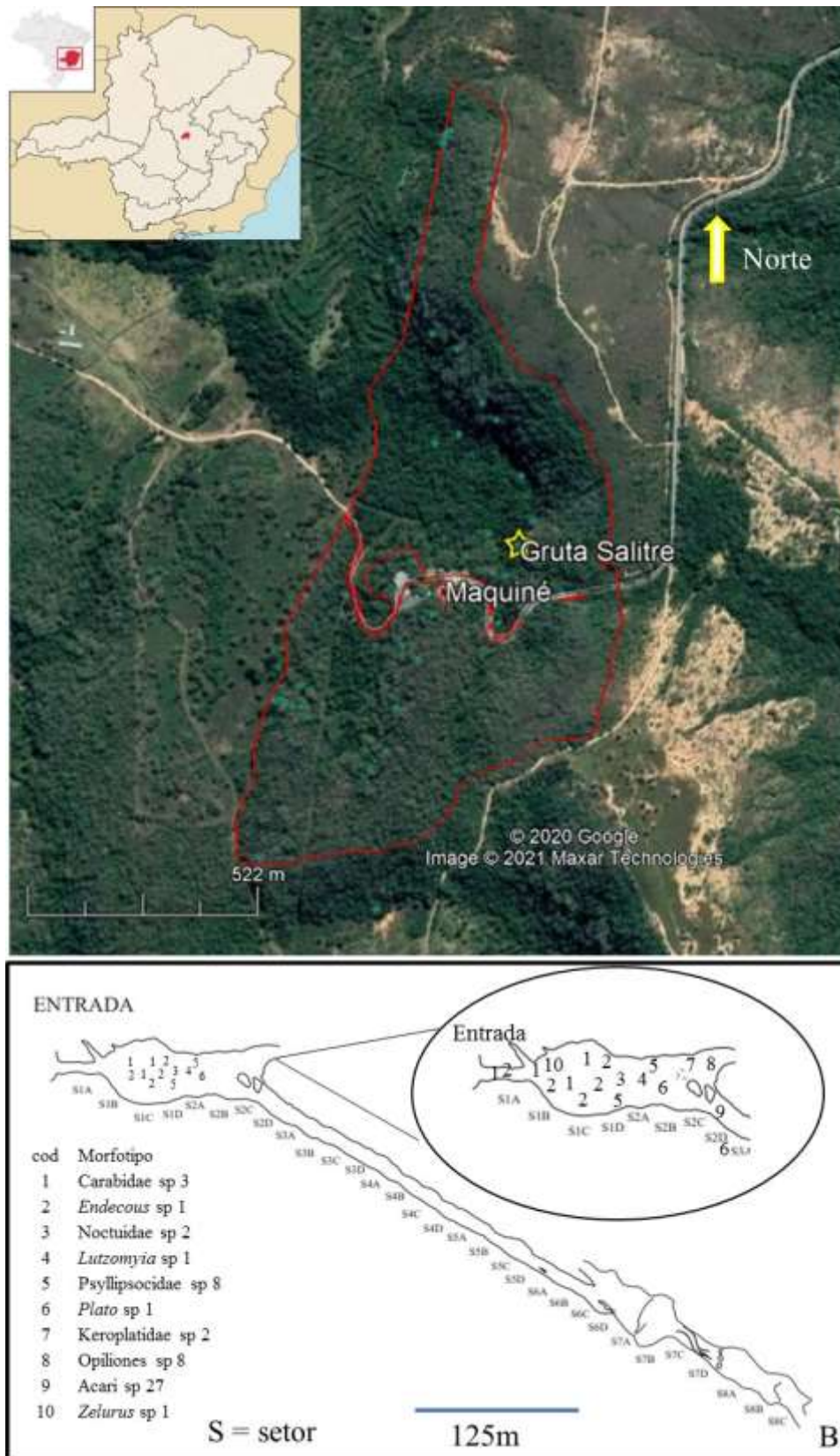


Figura 1. Localização da Gruta Salitre no Monumento Natural Estadual Peter Lund (A). Croqui esquemático da gruta Salitre com os 31 setores amostrais e detalhe do método de coleta (B). Parte final do riacho temporário que percorre a caverna até setor S3C.

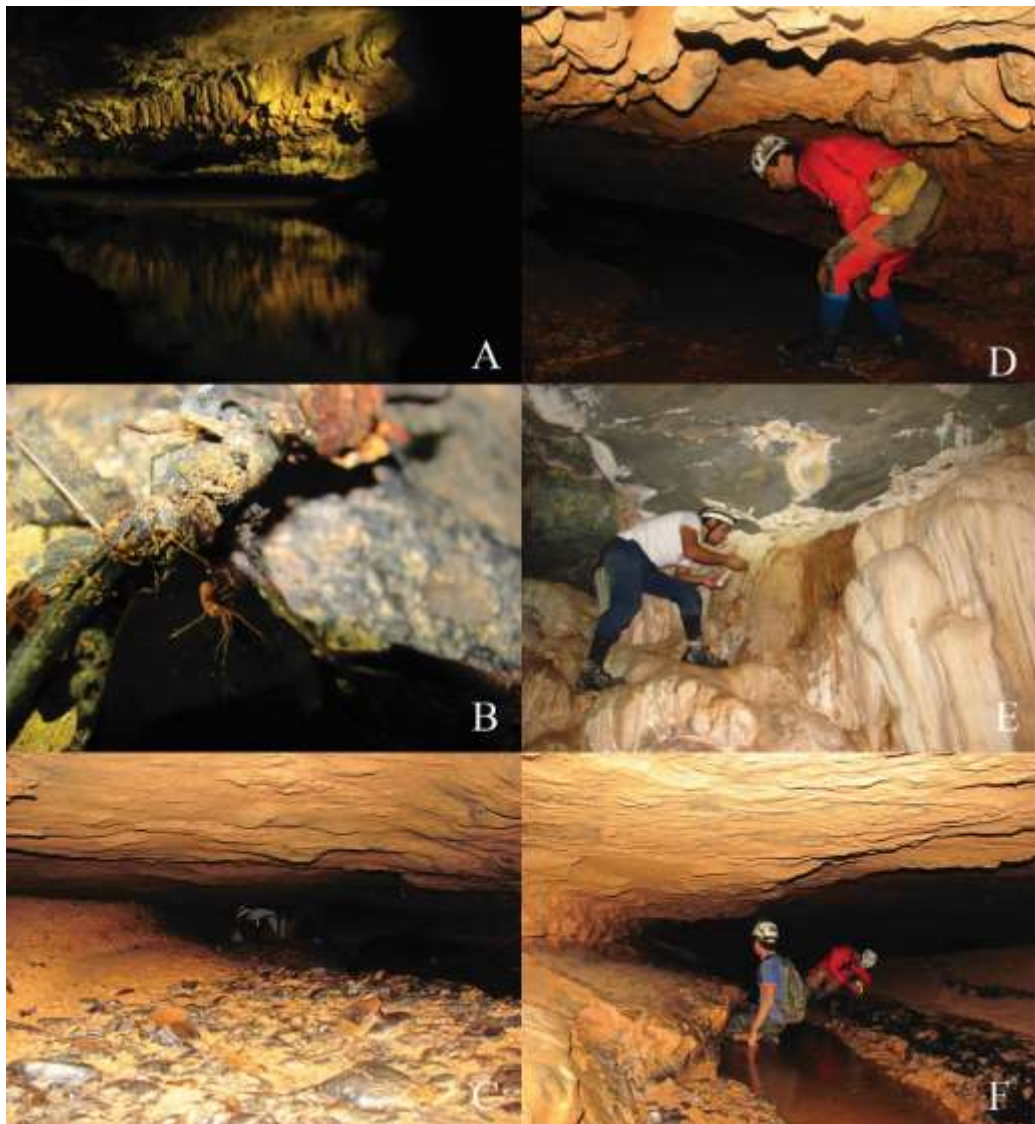


Figura 2. Distintos habitats e micro-habitat presentes ao longo de 775 metros da Gruta Salitre. Corpo de água (A). Detritos orgânicos (B), piso com blocos de rochas (C), riacho (D, F), espeleotemas (E).

2.2. Amostragens de variáveis ambientais

As variáveis ambientais, temperatura e umidade do ar, foram medidas em estações móveis, uma medida por setor (totalizando 31 estações no total) no interior da caverna. Mediu-se, a partir da entrada da caverna, a temperatura e a umidade com o auxílio de um termo-higrômetro, em intervalos de 25 metros. O medidor foi colocado junto ao piso, e a leitura feita após sua estabilização (tempo médio de 5 minutos). Neste intervalo, evitava-se a

permanência de pessoas no setor, para não ocorrer influência da temperatura corporal na atmosfera cavernícola e conseqüentemente alterações nos valores mensurados.

3. Análise de dados

A riqueza parcial (número de morfótipos) por período do ano foi obtida por meio do somatório total de espécies encontradas independentemente no período de seca e de chuva, respectivamente. A riqueza total (número de espécies na seca e chuva juntos) foi obtida por meio do somatório total de espécies encontradas nos períodos de seca e chuva. As abundâncias parciais e totais para cada morfótipo foi obtida por meio da contagem dos indivíduos incluídos nos croquis. O esforço de amostragem foi avaliado dividindo o número observado de morfótipos pelos valores estimados por Jackknife 1 e 2 (Ávila et al. 2019).

A similaridade da fauna foi conseguida através do índice de Bray-Curtis, e contrastada entre os períodos de seca e chuva através de ANOSIM. A análise dos Percentuais de Contribuição dos Táxons na Similaridade (SIMPER) foi obtida para determinar a contribuição de cada espécie dentre os períodos de coleta (seca e chuva). Variações na distribuição espacial (setores) e temporal (seca e chuva) da composição e abundância dos invertebrados é apresentada em shadeplot (após a transformação da raiz quadrada). A composição das espécies e a distribuição das amostras foram reordenadas em uma análise de agrupamento utilizando o Bray-Curtis e o Índice de Associação de Whittaker (Whittaker 1952; Clarke et al. 2014). Realizamos a matriz de similaridade usando apenas as 50 espécies mais abundantes. Foi utilizado para as análises descritas acima o programa estatístico PRIMER 7 (Clarke e Warwick 1994).

A diversidade beta (betapart) foi calculada a fim de detectar a contribuição dos processos de substituição e aninhamento de espécies entre os dois períodos de coleta e entre setores em um mesmo período do ano (Carvalho et. al 2012, 2013). Para tal foi utilizado o pacote betapart e a função beta.multi com índice de “Sorensen” do Software RStudio (Baselga 2010, 2012).

A análise de Dist LM foi utilizada para avaliar possíveis relações entre a composição de espécies e as variáveis preditoras (temperatura, umidade e distância da entrada até o fundo da caverna) (Legendre e Anderson 1999; McArdle e Anderson 2001) com o método Forward de análise e AICc como critério de seleção (Anderson et al. 2008). Uma análise de redundância baseada em distância (dbRDA), foi utilizada para avaliar o percentual de ajuste

dos dados ao modelo juntamente com a proporção de explicação da variação na composição da fauna (Anderson et al. 2008).

Um teste de Kruskal-Wallis foi feito a fim de detectar diferenças na riqueza média entre os períodos de seca e chuva do ano (Gibbons e Chakraborti 2003). A análise de regressão linear múltipla via GLM foi utilizada para avaliar as relações entre a riqueza de espécies e as variáveis preditoras temperatura, umidade e distância da entrada (McCullagh e Nelder 1989; Dobson 1990; Hastie e Predibon 1992; Venables 2002). A análise de GLM foi feita utilizando o RStudio com a família binominal negativa, que com o auxílio da função *dredge*, indicou o melhor modelo de acordo com o critério AICc e logo após foi testada a overdispersion para avaliar se a dispersão estava acentuada ou não (McCullagh 1989; Dobson 1990; Hastie 1992; Venables 2002).

Para avaliar a influência da temperatura, umidade e distância da entrada na distribuição de espécies de invertebrados selecionamos as quatro espécies mais abundantes e bem distribuída ao longo dos setores tanto no período de seca (*Endecous* sp. 1, *Hypena* sp. 2, Carabidae sp. 3 e *Lutzomyia* sp. 1) quanto no período de chuva (*Endecous* sp. 1, *Hypena* sp. 2, Collembola sp. 66 e Keroplatidae sp. 2). A correlação entre variáveis abióticas foi testada através de regressão linear. Além disto, testou-se a normalidade das variáveis bióticas através do teste de Shapiro-wilks (1965). Aquelas que não apresentaram distribuição normal e os dados foram logaritimizados usando a base logarítmica 10. A significância foi avaliada para todas as análises com valores de $p \leq 0,05$.

Resultados

Composição, riqueza e abundância da fauna

Foram observados 3.938 indivíduos, pertencentes a 18 ordens e distribuídos em 142 espécies. Os insetos foram o grupo dominante entre os invertebrados com maior riqueza (89 spp. – 62,7% do total) e abundância (3290 indiv. – 88,7% do total). Os táxons mais ricos considerando ambos os períodos de coleta foram Coleoptera (33 spp. - 23,2%), Diptera (24spp. – 16,9 %), Araneae (20spp - 14%), Collembola (14 spp - 9,8%), Lepidoptera (13 spp- 9,15%), Psocoptera (7 spp - 4,9%), Acari (5 spp - 3,5%), Pseudoscorpiones e Hemiptera (4 espécies cada - 2,8%), Hymenoptera, Spirosteptida, e Polydesmida (3 espécies cada- 2,11%), Opiliones, Blattodea e Trichoptera (2 espécies cada- 1,40%) e Ensifera, Archaeognata e Pauropoda (1 espécie cada- 0,70%) (Figura 3).

No período chuvoso, foram encontradas 101 espécies. Os táxons mais ricos foram Coleoptera com abundância de 97 indivíduos (22 spp- 20,8%), Diptera (17spp- 16,9%), Araneae (16 spp- 15,9%), Psocoptera e Collembola (7spp cada-6,9%), Lepidoptera (6 spp- 5,9%), Acari e Hemiptera (4 spp cada-3,9 %), Hymenoptera e Trichoptera (3spp cada-3%), Pseudoscorpiones, Spirostreptida, Polydesmida, Blattodea, Opiliones (2spp cada-1,9%) e Pauropoda, Archaeognatha e Ensifera (1spp cada-0,9 %). Enquanto no período de seca, foram encontradas 68 espécies. Os táxons mais ricos foram: Coleoptera (17 spp-24,7%) e com abundância de 649 indivíduos, Diptera (11 spp- 16%), Araneae e Collembora (9 spp cada- 13,0%), Lepidoptera (8 spp- 11,6%), Psocoptera, Hemiptera e Pseudoscorpiones (3 spp cada- 4,4%), Acari (2 spp- 2,9%), Spirostreptida, Polydesmida e Ensifera (1 espécie cada-1,5%) e Hymenoptera, Trichoptera, Blattodea, Pauropoda e Archaeognatha sem nenhuma espécie (Tabela 1).

Os invertebrados com caracteres troglomórficos presentes na Gruta Salitre são: Styloniscidae sp 2; Polydesmidae sp 2; Pselaphinae sp 5; *Pectenoniscus* sp 3; Chthonidae sp 2; *Spaeleoleptes spaeleus* H. Soares, 1966, *Spinopilar* sp 1.

Os estimadores de riqueza jackknife 1 e 2 indicaram o número esperado de espécies superior ao que foi observado na gruta. No período de chuva foi amostrado 62% jackknife 1 e 47% jackknife 2 do esperado, enquanto para o período de seca foi amostrado 64% e 52% respectivamente (Figura 4).

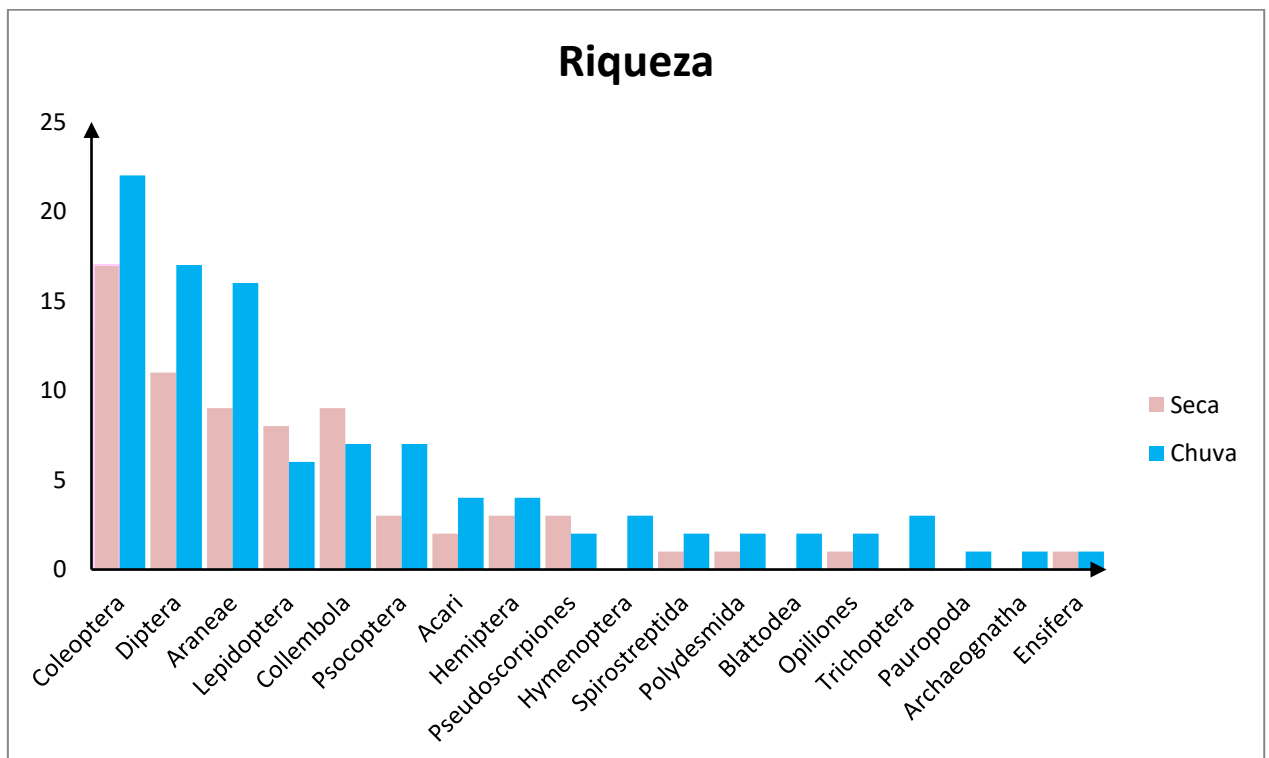


Figura 3. Riqueza de espécies de invertebrados em diferentes táxons observados na Gruta Salitre nos períodos de seca e chuva do ano.

Tabela 1. Lista de morfótipos encontrados na caverna Salitre-MG durante os dois períodos de coleta.

Filo	Classe	Ordem	Morfotipos
Arthropoda	Insecta	Diptera	Keroplastidae sp 2
			Culicidae sp 18
			Culicidae sp 5
			<i>Lutzomyia</i> sp 1
			Diptera sp 31
			Diptera larvae sp 9
			Tipulidae sp 15
			Diptera sp 30
			Diptera sp 32
			Chironomidae sp 2
			Tipulidae sp 5
			Tipulidae sp 16
			Drosophilidae sp 9
			Phoridae sp 2
			Tipulidae sp 6
			Diptera sp 33
			Diptera sp 34
			Diptera larvae sp 10
			Heleomyzidae sp 3
			Tabanidae sp 1
		Diptera sp 14	
		Diptera sp 15	
		Dolichopodidae sp 4	
		Mycetophylidae sp 2	
		Orthoptera	<i>Endecous</i> sp 1
		Archaeognatha	Archaeognatha sp 7
		Blattodea	<i>Blattodea</i> sp 11
Lepidoptera	Tineidae sp 58		

			<i>Hypena</i> sp
			Lepidoptera larvae sp 12
			Tineidae sp 58
			<i>Hypena</i> sp 2
			Tineidae sp 26
			Papilionidae sp 2
			Tineidae sp 59
			Tineidae larvae sp 4
			Papilionidae sp 1
			Hesperiidae sp 4
			Saturniidae sp 1
		Psocoptera	Psocoptera sp 47
			Psocoptera sp 44
			Psocoptera sp 33
			Psocoptera sp 46
			Psocoptera sp 45
			Psyllipsocidae sp 8
			Psyllipsocidae sp 9
		Hemiptera	Vellidae sp 3
			Belostomatidae sp 1
			Zelurus sp 1
			Heteroptera sp 4
		Trichoptera	Trichoptera sp 10
			Trichoptera sp 9
		Hymenoptera	Hymenoptera sp 16
			Formicidae sp 38
			Formicidae sp 2
		Coleoptera	Staphylinidae sp 22
			Carabidae sp 14
			Coleoptera larvae sp 4
			Staphylinidae sp 21
			Coleoptera sp 13

			Staphylinidae sp 24
			Staphylinidae sp 23
			Coleoptera Larvae sp 17
			Carabidae sp 8
			Carabidae sp 2
			Carabidae sp 15
			Coleoptera Larvae sp 18
			Scarabaeidae sp 3
			Coleoptera larvae sp 16
			Staphylinidae sp 7
			Staphylinidae sp 6
			Carabidae sp 5
			Coleoptera sp 5
			Coleoptera pupa sp 2
			Coleoptera pupa sp 1
			Staphylinidae sp 9
			Staphylinidae sp 5
			Dytiscidae sp 1
			Coleoptera sp 4
			Coleoptera sp 15
			Staphylinidae sp 26
			Carabidae sp 3
			Staphylinidae sp 25
			Pselaphidae sp 2
			Coleoptera larvae sp 3
			Coleoptera sp 3
			Coleoptera larvae sp 2
			Dityscidae sp 2
			Staphylinidae sp 8
			Coleoptera sp 14
	Entognatha	Collembola	Collembola sp 27
			Collembola sp 28

			Collembola sp 65	
			Collembola sp 22	
			Collembola sp 25	
			Collembola sp 66	
			Collembola sp 68	
			Collembola sp 67	
			Collembola sp 69	
			Collembola sp 26	
			Collembola sp 23	
	Chelicerata	Araneae	Araneae sp 58	
			Araneae sp 55	
			Araneae sp 56	
			Araneae sp 143	
			Araneae sp 142	
			Araneae sp 140	
			Araneae sp 34	
			<i>Enoploctenus</i> sp 1	
			<i>Plato</i> sp 1	
			Araneae sp 57	
			<i>Ctenus</i> sp 1	
			Araneae sp 144	
			Araneae sp 34	
			Ctenidae sp 5	
			Araneae sp 141	
			Araneae sp 145	
				Salticidae sp 19
				Ctenidae sp 2
			Ctenidae sp 1	
			Pholcidae sp 7	
			Salticidae sp 20	
			Opiliones	
		Opiliones sp 8		
		Opiliones sp 9		

		Pseudoscorpiones	Pseudoscorpiones sp 8
			Pseudoscorpiones sp 3
			Pseudoscorpiones sp 17
			Pseudoscorpiones sp 7
		Acari	Acari sp 57
			Acari sp 56
			Acari sp 28
			Acari sp 55
			Acari sp 27
		Diplopoda	Spirostreptida
	Spirostreptida sp 13		
	Polydesmida		Paradoxosomatidae sp 2
			Chelodesmidae sp 8
			Chelodesmidae sp 3
			<i>Pseudonannolene</i> sp 1
		Polydesmida sp 1	
Pauropoda	Pauropodina	Pauropoda sp 1	

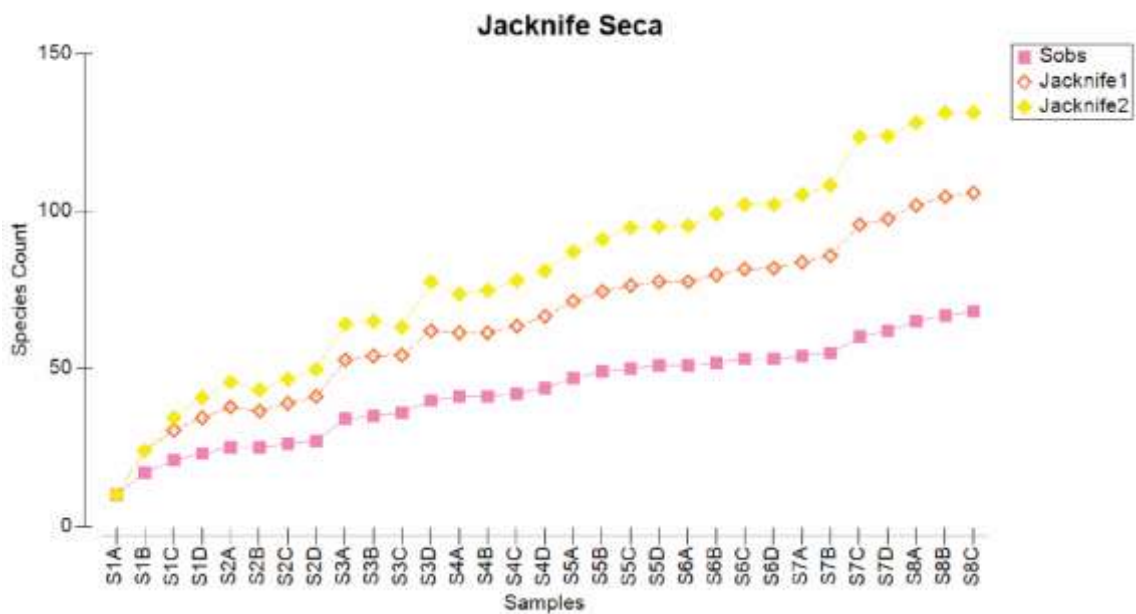
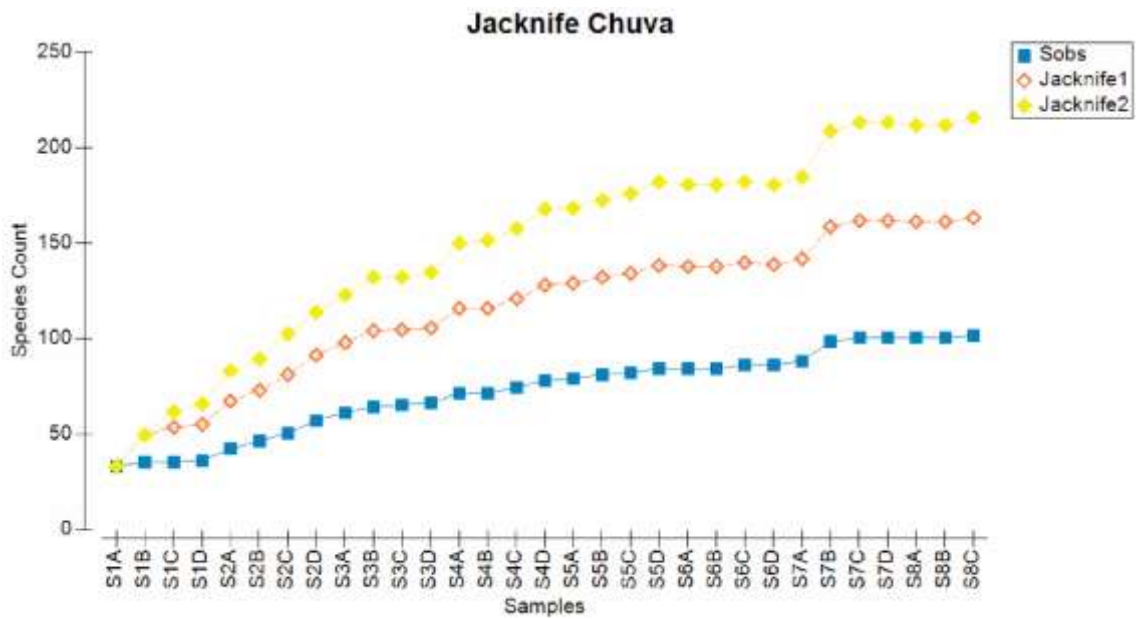


Figura 4. Curvas de acumulação de espécies de invertebrados (Jacknife 1 e 2) coletados em setores de 25m da gruta salitre, durante os períodos de seca e chuva.

Variações espaciais e temporais na composição e riqueza

Foi observada através do ANOSIM uma diferença significativa na composição da fauna entre os períodos de seca e chuva (Rglobal: 0,244 p= 0,01).

A similaridade faunística entre os setores da caverna e a abundância das espécies nos dois períodos de coleta é mostrada na figura 5. No período chuvoso, os setores de entrada (25 a 150 metros) apresentaram-se como sendo os mais distintos dos demais. Os setores

remanescentes demonstram maior similaridade entre si do que com os já mencionados (Figura 8). Entretanto, no período seco do ano os setores até 250 metros da entrada se mostraram mais distintos em relação a similaridade composicional (Figura 6).

As diferentes contribuições de cada espécie na diferenciação das assembleias, evidenciadas pelo SIMPER, estão representadas nas Tabelas 2. No período de chuva, a maior contribuição foi de *Endecous* sp. 1 com 67,23%, seguido de Keroplatidae sp. 2 com 7,03% de contribuição. No período de seca, *Endecous* sp. 1 contribuiu com 64,25 % e Carabidae sp. 3 com 9,21%.

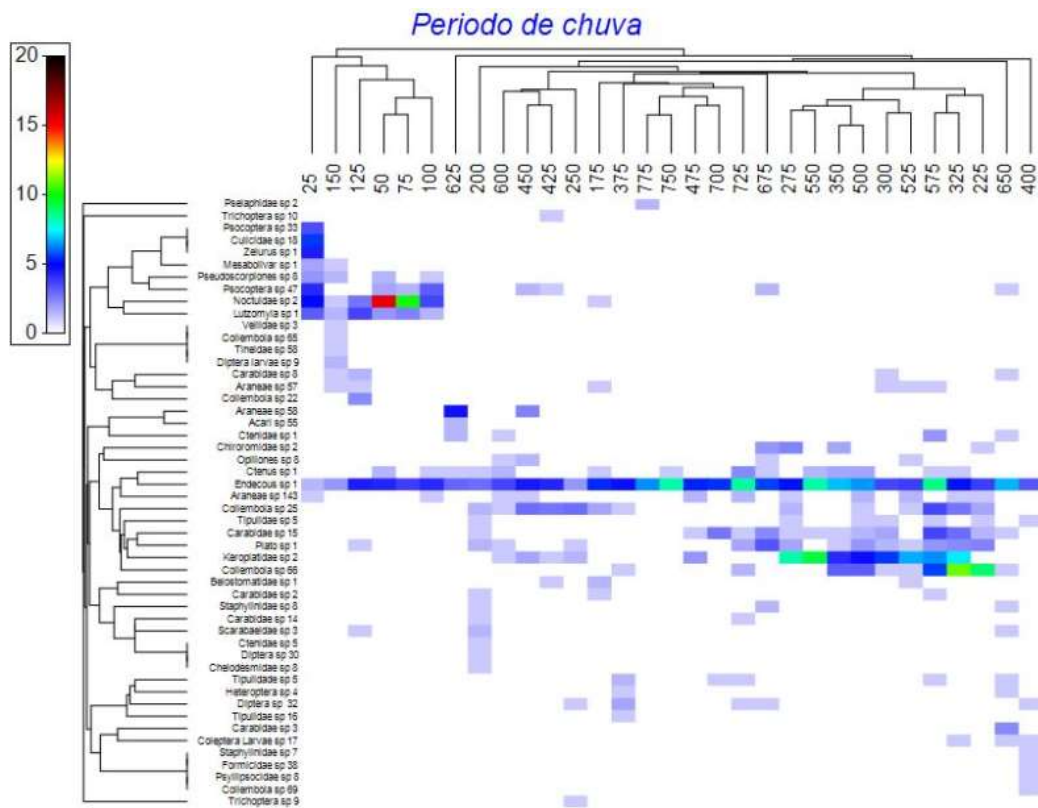


Figura 5. Matriz de composição e abundância mostrando a distribuição das 50 espécies mais abundantes ao longo da caverna no período de chuva.

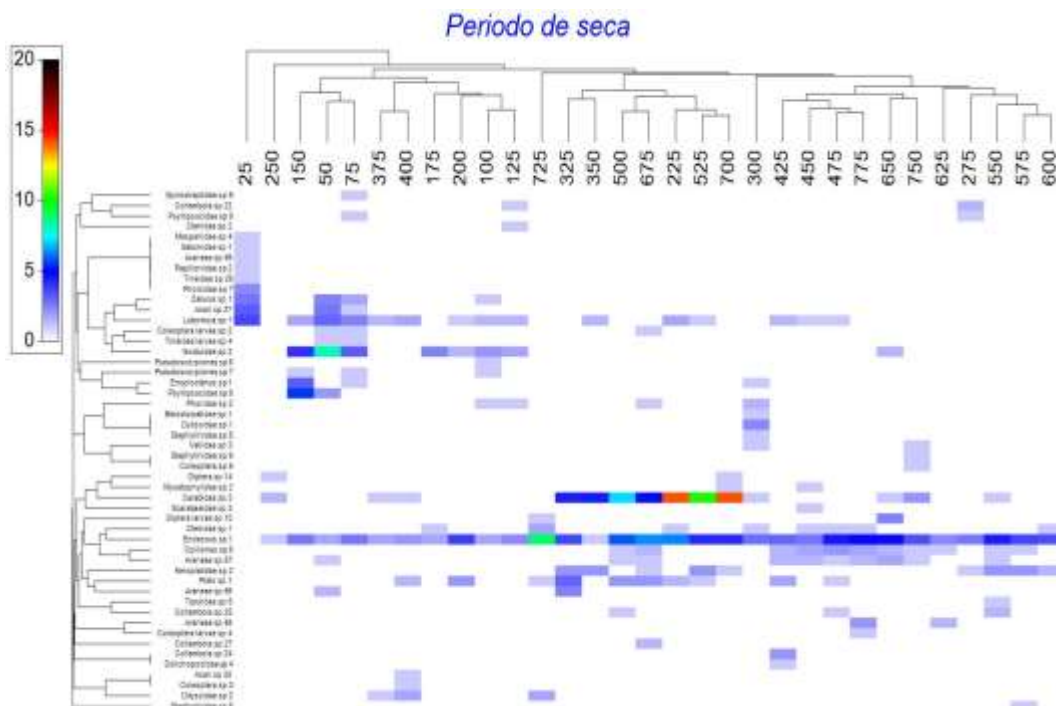


Figura 6. Matriz de composição e abundância mostrando a distribuição das 50 espécies mais abundantes ao longo da caverna no período de seca.

Diversidade beta

A diversidade beta temporal, ao longo das duas coletas foi de 0,68. Esse resultado indica que 68% das espécies não são semelhantes entre as coletas de seca e chuva. O valor do componente de aninhamento, medido como fração resultante de aninhamento de dissimilaridade de Sorensen foi de 0.07, o que indica que somente 7% das espécies estão aninhadas.

A diversidade beta ao longo dos setores foi de 0.94 para o período chuvoso e para o período seco. Uma maior substituição de espécies foi observada no período de chuva (bSIM = 0.90, bNES = 0.035) e no período de seca (bSIM = 0.91, bNES = 0.025) em relação ao aninhamento, logo, a dissimilaridade entre as estações é majoritariamente explicada pela substituição de espécies.

Influência das variáveis ambientais na composição e riqueza da fauna

O DistLM realizado com os dados para o período chuvoso indicou relações significativas entre a composição da fauna e as variáveis explicativas (umidade e distância ($R^2 = 0,26$, AICc = 237,74, $p = 0,001$). A análise de redundância baseada em distância (dbRDA) mostrou que as variáveis abióticas explicam 26,2% da variação na composição espacial das

espécies (Figura 6). Entretanto, através do GLM foi indicado que a riqueza está correlacionada negativamente com a distância e correlacionada positivamente com a temperatura (Tabela 2 e 3).

Na análise de DistLM para o período de seca indicou relações significativas entre a composição da fauna nos setores e a umidade ($R^2 = 0,020$, $AICc = 239,76$, $p = 0,001$). A análise de redundância baseada em distância (dbRDA) mostrou que as variáveis abióticas explicaram 25,7% da variação na similaridade das espécies (Figura 7). Entretanto, através do GLM foi indicado que nenhuma das variáveis preditoras indicou relações significativas para a riqueza (Tabela 2 e 3).

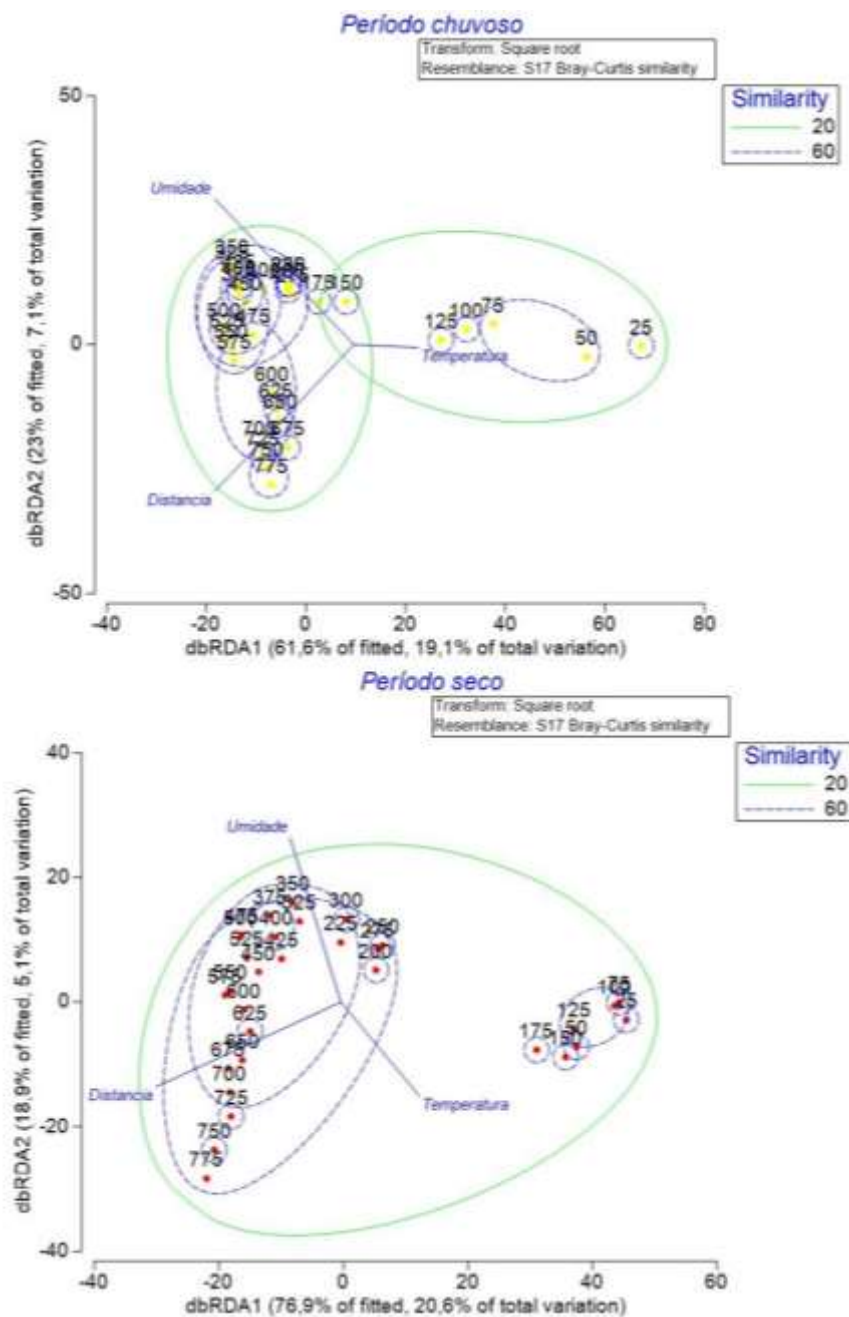


Figura 7. Análise de redundância baseada em distância (dbRDA mostrando as influências da temperatura, umidade e distância da entrada na composição da fauna de invertebrados da gruta Salitre, nos períodos de seca e chuva do ano.

Variações nas medidas de temperatura e umidade do ar

Foram observadas diferenças significativas na umidade (KW-H 30,5 $p=0,0023$) e temperatura (KW-H 30,5 $p=0,00000$) médias entre os períodos de seca e chuva do ano. Menores valores de umidade foram observados nos setores próximos da entrada da caverna e durante o período seco do ano. A temperatura média no período seco foi de $19,39^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1,5$) e no período chuvoso $21,09^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,70$). No primeiro setor da caverna (25m da entrada) a variação de temperatura entre períodos de seca e chuva foi de $3,8^{\circ}\text{C}$ (Figura 8).

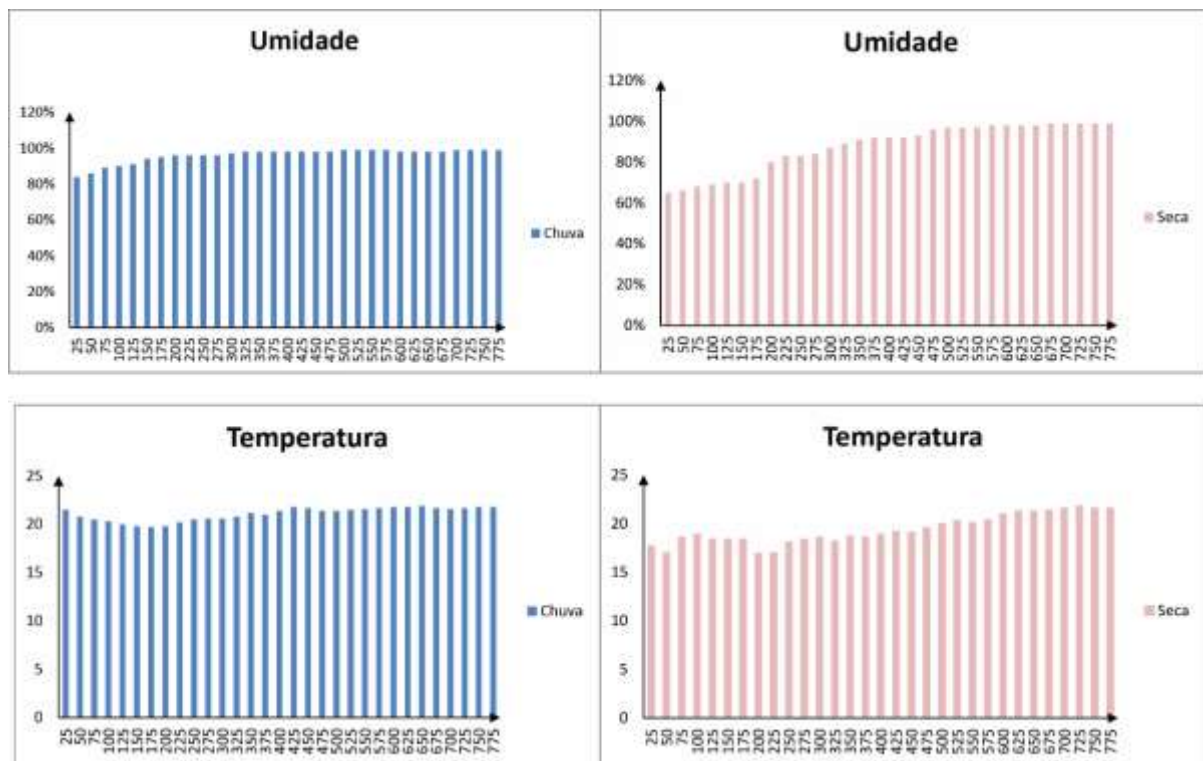


Figura 8. Variação nos valores de temperatura e umidade ao longo de setores de 25m da gruta salitre, durante os períodos de seca e chuva do ano.

Foi observada diferença significativa na riqueza média entre as estações seca e chuvosa do ano (KW-H 5,7101, $p=0,02$) (Figura 9). A riqueza média no período chuvoso foi de 9,5 spp/setor ($\pm 5,96$)/setor contra 7 spp/setor ($\pm 2,61$) no período seco. O primeiro setor na entrada da caverna (até 25 m) apresentou a maior riqueza, com 43 espécies, enquanto o setor mais distante da entrada (775m) apresentou apenas 9 espécies. Apesar de mostrar variações ao longo dos setores, a riqueza de espécies reduz com a distância da entrada, tanto na seca quanto na chuva (Figura 10).

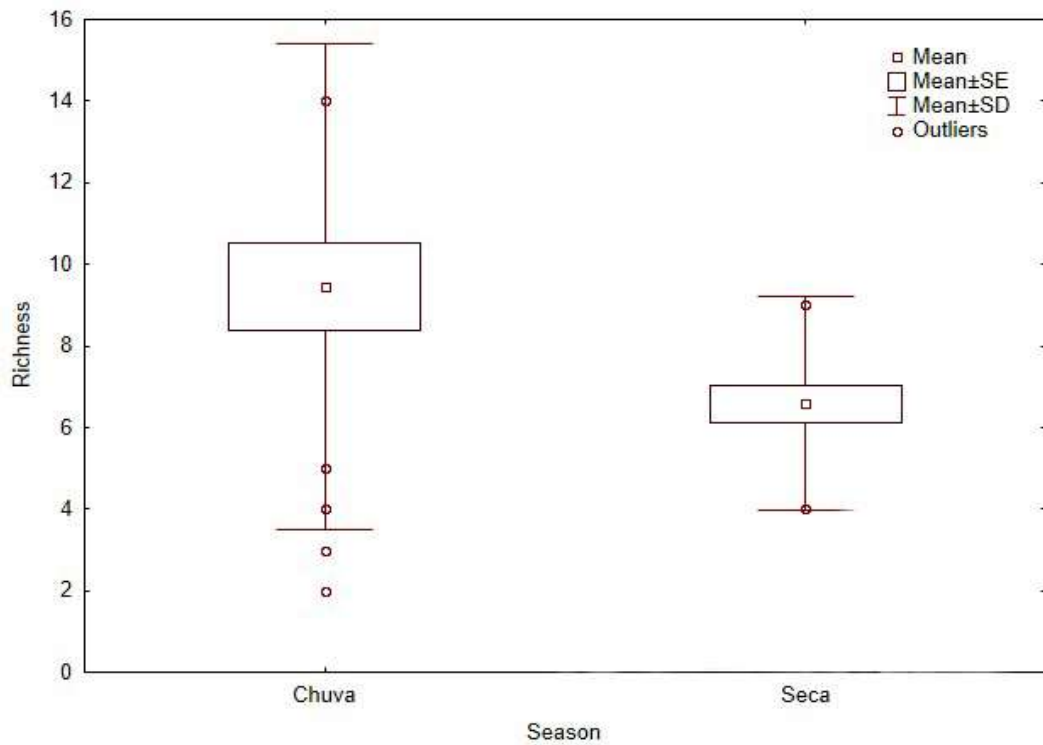


Figura 9. Diferenças na riqueza média de invertebrados observados em setores de 25 metros na gruta salitre entre os períodos de seca e chuvosa do ano.

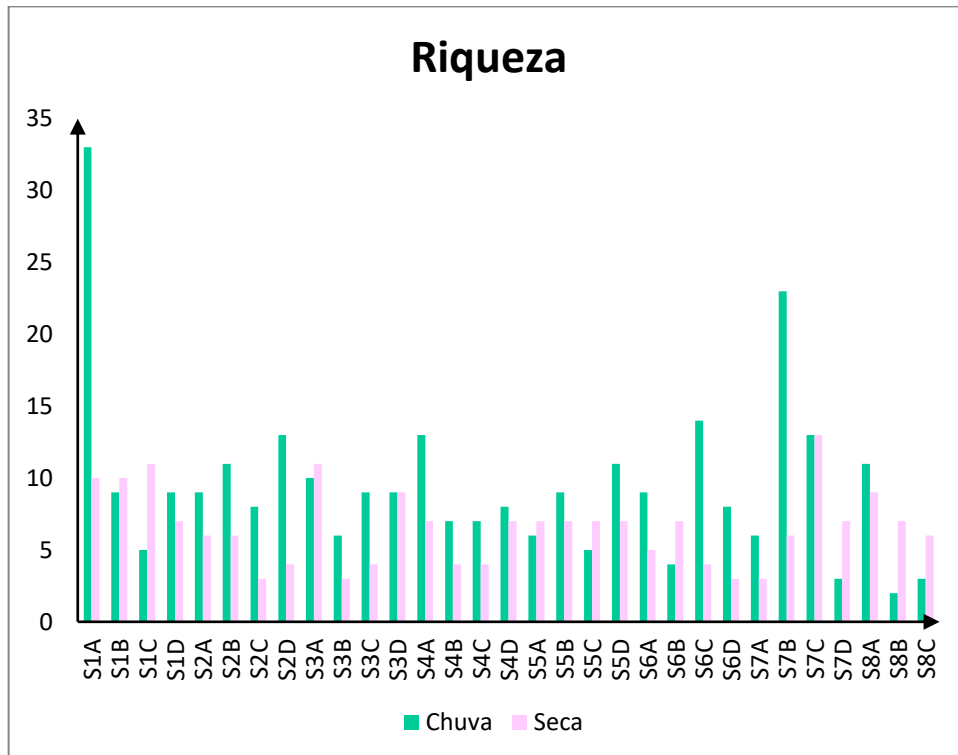


Figura 10. Diferença na riqueza entre os setores e entre os períodos de coleta, com linha de tendência.

Variações espaciais e temporais na abundância das espécies

As quatro espécies mais abundantes variaram em número de indivíduos ao longo dos setores amostrados. *Hypena* sp. 2 distribuiu-se preferencialmente nos setores próximos da entrada (0m-100m) e *Endecous* sp. apresentou distribuição em todos os setores da caverna (Figura 11). *Collembola* sp. 66 e *Keroplastidae* sp 2 ocorreram majoritariamente no período de chuva e tendo sua distribuição nos setores do meio para o final (225m-725m). Na época de chuva os picos de abundância estiveram entre 25 e 50m. Em contrapartida na seca, *Carabidae* sp 3 ocorreu entre 225m-750m, enquanto *Lutzomyia* sp 1 ocorreu até 525m.

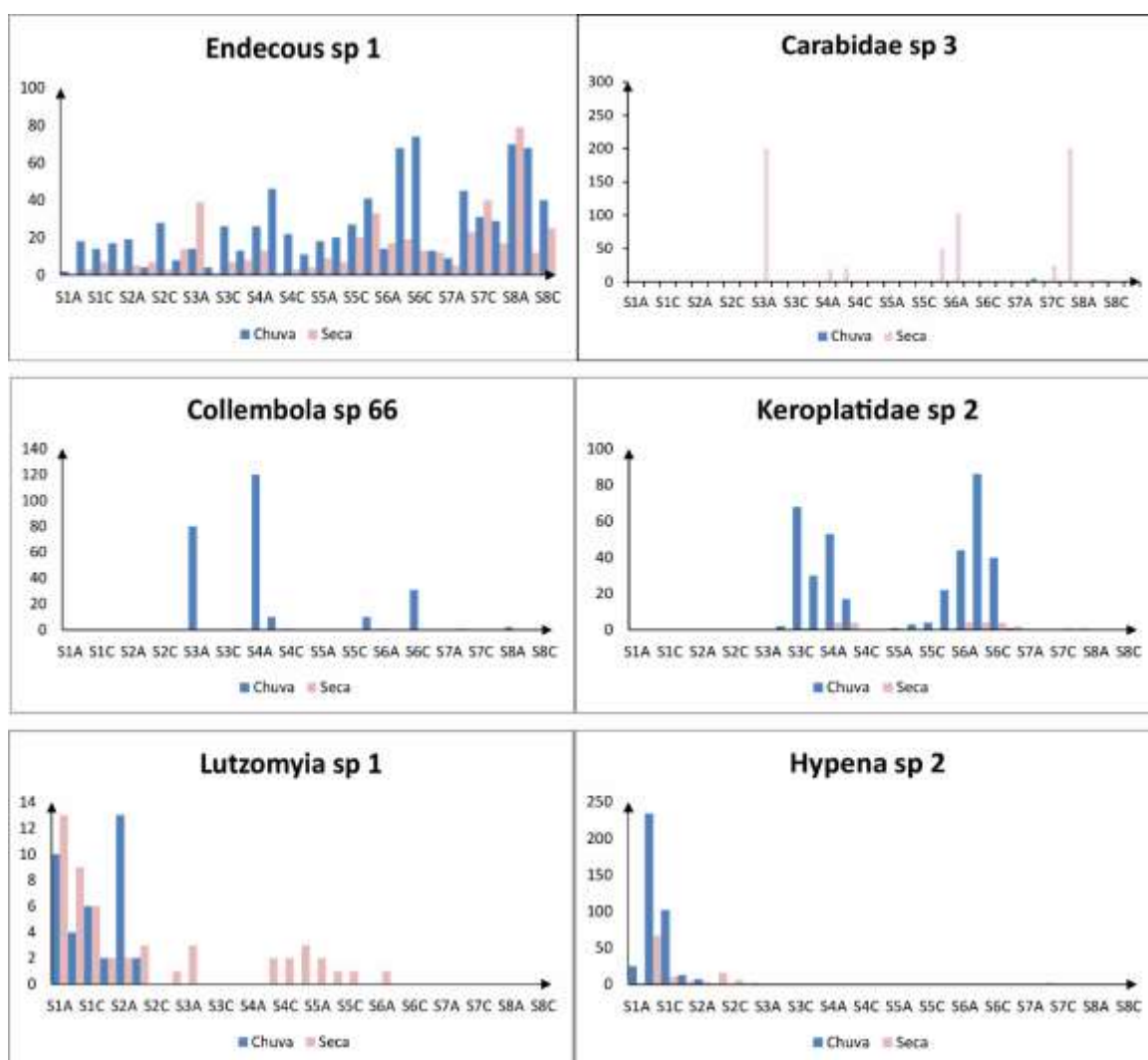


Figura 11. Diferenças na distribuição de abundância de invertebrados, em setores de 25 metros a partir da entrada da gruta Salitre, durante períodos de seca e chuva do ano.

O teste de regressão linear simples no período chuvoso mostrou que a temperatura influencia negativamente a abundância de *Hypena* sp. 2 ($R^2=0,7265$, $p=0,0148$;) e positivamente para *Endecous* sp. 1 ($R^2=0,3571$; $p=0,0004$), enquanto para *Collembola* sp. 66

($R^2=0,0365$; $p=0,5971$) e Keroplatidae sp. 2 ($R^2=0,0463$; $p=0,4801$) não foi significativo. A distância também mostrou relação significativa negativa com a abundância de *Hypena* sp. 2 ($R^2=0,7265$; $p=0,0148$) e positiva para *Endecous* sp. 1 ($R^2=0,3653$; $p=0,0003$), enquanto para *Collembola* sp. 66 ($R^2=0,1704$; $p=0,2358$) e Keroplatidae sp. 2 ($p=0,8252$; $R^2=0,0046$) não houve relação significativa entre a variável e a abundância. O mesmo ocorre para a umidade, onde essa variável explica negativamente a ocorrência de *Hypena* sp. 2 ($R^2=0,7265$; $p=0,0148$) e positivamente para *Endecous* sp. 1 ($R^2=0,3321$; $p=0,0007$), enquanto para *Collembola* sp. 66 ($R^2=0,0580$; $p=0,5027$) e Keroplatidae sp. 2 ($R^2=0,0444$; $p=0,4805$) não foi explicativa para a variação de abundância.

Para a período de seca, o teste de regressão linear simples mostrou que a temperatura é significativamente positiva apenas para *Carabidae* sp. 3 ($R^2=0,3416$; $p=0,0282$), sendo que para *Lutzomyia* sp. 1 ($R^2=0,0432$; $p=0,4570$), *Hypena* sp. 2 ($R^2=0,3670$; $p=0,115$) e *Endecous* sp. 1 ($R^2=0,0897$; $p=0,1078$) não é significativa. Em contrapartida, a distância influenciou negativamente a distribuição de *Lutzomyia* sp. 1 ($p=0,0021$; $R^2=0,53$) e positivamente para *Endecous* sp. 1 ($p=0,0010$; $R^2=0,3232$). A umidade não foi explicativa para a abundância de nenhuma das espécies.

Tabela 2. Influências das variáveis ambientais sob a composição da fauna de invertebrados da caverna Salitre, nos períodos de seca e chuva do ano através do Dist-LM.

Preditora	Resposta	Período	teste	P	R2	AICc
Distância	Composição	Chuva	Marginal	0,001	0,124	-
Temperatura	Composição	Chuva	Marginal	0,001	7,12E-02	-
Umidade	Composição	Chuva	Marginal	0,001	0,1863	-
Distância	Composição	Seca	Marginal	0,001	0,17225	-
Temperatura	Composição	Seca	Marginal	0,001	0,10759	-
Umidade	Composição	Seca	Marginal	0,001	0,20014	-
Umidade	Composição	Chuva	Sequencial	0,001	0,1863	238,18
Distância	Composição	Chuva	Sequencial	0,001	7,28E-02	237,74
Umidade	Composição	Seca	Sequencial	0,001	0,20014	239,76

Tabela 3. Resultados de regressão simples entre as variáveis ambientais e a riqueza de espécies na gruta de Salitre.

	Estimate	Std. Error	Z value	Pr (> z)
Riqueza Chuva				
(Intercepto)	-4,7516087	4,0774111	-1.121	0.2622
Temperatura	0.3499302	0.2018444	1.734	0.0830.
Distância	-0.0014718	0.006178	-2.382	0.0172*
Riqueza Seca				
(Intercepto)	3.3817399	1.1942199	2.832	0.00463 **
Umidade	0.0008479	0.0009198	-1.196	0.23172
Distância	0.0008479	0.0009198	0.922	0.35664
Signif. Codes: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				

Tabela 4. Porcentagem da contribuição das espécies na composição. Average (Av)

SIMPER					
Chuva					
Av similarity: 32,37					
Espécies	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum. %
<i>Endecous</i> sp 1	4,85	21,76	2,17	67,23	67,23
Keroplastidae sp 2	1,91	2,28	0,38	7,03	74,26
Seca					
Av similarity: 30,05					
Species	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum. %
<i>Endecous</i> sp 1	3,35	19,31	2,01	64,25	64,25
Carabidae sp 3	2,19	2,77	0,39	9,21	73,46
Chuva & Seca					

Av dissimilarity = 74,98						
	Chuva	Seca				
Espécies	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Endecous</i> sp 1	4,85	3,35	8,37	1,14	11,17	11,17
Keroplatidae sp 2	1,91	0,46	6,18	0,78	8,24	19,4
Carabidae sp 3	0,07	2,19	6,09	0,62	8,12	27,53
<i>Hypena</i> sp 2	1,25	0,79	5,17	0,58	6,89	34,41
<i>Lutzomyia</i> sp 1	0,45	0,82	3,14	0,92	4,19	38,6
Collembola sp 66	1,2	0	3,03	0,49	4,04	42,65
<i>Plato</i> sp 1	0,75	0,53	2,83	0,96	3,77	46,42
Collembola sp 25	0,8	0,11	2,77	0,72	3,7	50,11
Carabidae sp 15	0,74	0	2,21	0,7	2,95	53,07
<i>Ctenus</i> sp 1	0,58	0	1,87	0,8	2,49	55,56
Opiliones sp 8	0,14	0,47	1,82	0,74	2,42	57,98
Araneae sp 57	0,19	0,39	1,52	0,74	2,03	60,02
Psocoptera sp 47	0,49	0	1,33	0,51	1,77	61,79
Ctenidae sp 1	0,17	0,28	1,29	0,65	1,72	63,51
Araneae sp 143	0,41	0	1,28	0,65	1,71	65,22
Araneae sp 58	0,23	0,11	1,27	0,32	1,69	66,91
Acari sp 27	0,18	0,22	0,96	0,44	1,28	68,19
<i>Zelurus</i> sp 1	0,14	0,25	0,9	0,41	1,2	69,39
Psyllipsocidae sp 8	0,03	0,24	0,79	0,27	1,05	70,44

Discussão

Variações espaciais e temporais na composição e riqueza da fauna

Corroborando as hipóteses postuladas observamos que variações microclimáticas do habitat, influenciadas pela estacionalidade e distância da entrada promovem variações na estrutura de comunidades de invertebrados na gruta Salitre. Especificamente, a distribuição composicional, riqueza e abundância exibem tendências temporais e espaciais significativas para os períodos de seca e chuva. Para o período chuvoso, a umidade e a distância são as variáveis que exercem influência na composição. Para o período de seca, umidade foi a única variável que exerceu influência a composição da fauna cavernícola.

As cavernas tendem a estabilidade nas condições de temperatura e umidade, entretanto maiores variações ocorrem nas regiões próximas da entrada em função das maiores trocas com a superfície (Bourgues et al. 2006), principalmente no inverno (Freitas 2010). Para Bento et. al (2016) e Tobin et al. (2013), variações na temperatura e umidade perto da entrada, influenciadas pelas condições da superfície podem levar a alterações na distribuição e abundância da fauna.

Mudanças na composição de espécies cavernícolas podem ocorrer no espaço e tempo em resposta a mudanças nas características de habitat (Pellegrini e Ferreira 2016). Alguns estudos mostram o efeito da flutuação climática externa na fauna subterrânea em regiões temperadas (Bourne 1976, Bourne and Cherix 1978, Carchini et al. 1994, Novak et al. 2004, Tobin et al. 2013). Em regiões tropicais, não há muitos estudos acerca dessas flutuações, uma vez que, ocorre uma falsa impressão em baixas variações na temperatura e umidade causam nenhum ou pouco efeito sobre a fauna cavernícola (Ferreira et al. 2015). Dessa forma, as variações na composição e riqueza da comunidade podem ser reflexo das variações espaço-temporais que ocorrem na caverna Salitre.

A distância da entrada é outro fator que além de influenciar nas variações nas condições de temperatura e umidade também tem influência na disponibilidade de recursos alimentares e/ou microhabitats, como por exemplo, a quantidade e qualidade de guano variam da entrada até o fundo da caverna (Bahia e Ferreira 2005; Humphreys 1991; Ferreira e Martins 1998, 1999; Ferreira e Pompeu 1997; Tobin et al. 2013; Ferreira et al. 2015). Dessa forma, ocorrem restrições impostas pelo ambiente e pela disponibilidade de recursos, e isto é um fator primordial para a estruturação da comunidade e determinação da composição e

riqueza de espécies cavernícolas (Poulson 2005). Já que a riqueza e/ou abundância tende a ser proporcional a disponibilidade desse recurso (Doube 1986).

De acordo com Simões et al (2015), a heterogeneidade nas características físicas e tróficas podem ser determinantes na substituição de espécies. A grande substituição de espécies observada entre os setores e os períodos de coleta pode ser explicada através da diferença de riqueza (Gomes 2014). Uma maior contribuição da substituição espacial de espécies ao invés de aninhamento pode dever-se a uma elevada variação nas características do habitat desde a entrada até o fundo da caverna. Corroborando com o encontrado nesse estudo uma maior riqueza de invertebrados e dissimilaridade é encontrada próxima às entradas quando comparadas as áreas mais profundas (Poulson e White 1969, Pellegrini et al. 2016), uma vez que as entradas das cavernas são conhecidas por serem ambientes de transição (ecótonos), os quais apresentam espécies dos ambientes adjacentes e espécies exclusivas (Trajano e Andrade 2005). Por isso espera-se que tenha uma alta riqueza e rotatividade de espécies nesta região da caverna (Prous et al. 2015), com menor similaridade com regiões mais profundas das cavernas. Esse padrão de redução da riqueza à medida que adentra para o interior da caverna e as variações da comunidade no tempo e espaço foram encontrados também por Iniesta et al. (2012), para cavernas de Lagoa Santa, Minas Gerais.

Variações na composição, riqueza e abundância entre os períodos seco e chuvoso podem estar relacionados as condições climáticas de temperatura e umidade perto da entrada e redução na disponibilidade de recursos alimentares para os invertebrados no período seco do ano.

A variação de riqueza e abundância de insetos é um evento sazonal bem estudado nas regiões tropicais (Wolda 1978, Pinheiro *et al.* 2002), inclusive para as cavernas (Bento et al 2016), sendo que fatores bióticos e abióticos exercem forte influência nas mudanças (Wolda 1988). A sazonalidade das chuvas tem influência direta na umidade e disponibilidade de recursos nos ecossistemas e na abundância dos invertebrados (Wolda, 1978, Bento et al 2016). Assim a previsibilidade climática e a variação sazonal dos recursos alimentares podem explicar as variações na composição, riqueza e abundância dos insetos (Vasconcellos *et al.*, 2010; Pinheiro *et al.* 2002). Nas cavernas tropicais, a entrada de detritos nos ambientes terrestres e aquáticos pode ser maior na estação chuvosa, aumentando a disponibilidade recursos alimentares para a fauna (Souza-Silva et al 2011), promovendo variações na composição da fauna e aumento de riqueza.

Entretanto, cavernas são muito variáveis e complexas, principalmente pela variedade de recursos, micro e macrohabitat, sendo que a composição e diversidade da fauna são estruturadas em de diferentes condições de disponibilidade de recursos, isolamento, presença de habitats terrestres e aquáticos, entre outros fatores (Ferreira et al. 2020).

Variação na abundância de espécies

Endecous sp. 1 se destacou pelo fato de ocorrer em todos os setores em ambos os períodos de coleta. Isso pode ser devido ao fato que indivíduos desta espécie são generalistas e tolerantes a variações de temperatura e umidade que ocorrem desde a entrada até o fundo da caverna. Castro-Souza et al., (2020) mostra que a abundância de *Endecous painensis* não se relacionado à projeção horizontal de cavernas e nem mesmo, a quantidade de entradas ou estabilidade Ambiental. Além disto, os autores destacam que *Endecous* spp, possui elevada capacidade de colonização de cavernas em função da preferência por micro-habitats distintos e estratégias generalistas. Uma maior abundância de grilos (*Endecous* spp.) pode estar relacionada com a melhor preservação das cavernas, presença de corpo d'água, presença de guano, entretanto baixos valores de temperatura e elevada umidade influenciam positivamente na abundância desses organismos (Cajaiba 2012) (que corrobora com o apresentado nesse estudo). A escassez de estudos acerca da influência das variáveis ambientais em *Endecous* spp., dificulta uma maior comparação entre o apresentado nesse estudo com outros trabalhos.

A temperatura, umidade e distância explicam negativamente a abundância de *Hypena* sp. 2, que tem ocorrência apenas nos setores próximos a entrada (até 225m). Ferreira et al. (2015), estudando a distribuição espaço temporal de *Hypena* sp em setores de 25m na caverna Taboa, durante períodos de seca e chuva, mostrou que variações na temperatura e umidade entre os períodos e entre os setores, promovem variações na distribuição espacial e abundância desta espécie. Elas ocorrem preferencialmente próximo à entrada da caverna no período chuvoso, mas movimentam para setores um pouco mais interiores no período seco. Indivíduos de *Hypena* sp., podem ser suportar condições variáveis de temperatura e umidade e se distribuir próximas a entradas nos períodos de chuva e longe da entrada nos períodos secos, o que leva a distribuição de população a se alterar na caverna (Ferreira et al. 2015).

Para Carabidae sp. 3, apenas a temperatura foi explicativa para a variação de abundância. De acordo com Tsafack et al. (2020), variações de microclima afetam a distribuição de espécies de Carabidae uma vez que a temperatura determina processos fisiológicos. Em ectotérmicos de pequeno tamanho a temperatura corporal depende

diretamente da temperatura do ambiente, logo, com o aumento da temperatura a atividade de Carabidae aumenta e conseqüentemente ocorre também o aumento da sua abundância.

Nesse estudo foi observado que a distância influencia negativamente a distribuição de *Lutzomyia* sp. De acordo com Carvalho et al. (2012) a maioria dos flebotomíneos apresentam hábitos troglóxicos e usam a caverna para descanso, proteção, abrigo, reprodução e alimentação. A combinação de efeitos (temperatura, chuva, evapotranspiração) determina a qualidade do micro-habitat e conseqüentemente determina a distribuição de *Lutzomyia* sp. (Ferro et al 1997; Rutledge e Ellenwood 1975; Colla-Jaques, Casanova, Prado 2010; Morrison et al. 1995; Casanova, Natal, Santos 2009). Ferreira et al. (2020), apresenta espécies de *Lutzomyia* (*Lutzomyia longipalpis* (Lutz e Neiva 1912, in Oliveira et al. 2000); *Lutzomyia L. renei* (Martins, Falcão e Silva 1957, in Sábio et al. 2015)) encontradas em algumas cavernas no Carste de Lagoa Santa e que possuem importância média. Entretanto, pouco se sabe sobre o comportamento de *Lutzomyia* sp. em ambientes cavernícolas.

Suficiência amostral

As curvas de acumulação de espécies Jackknife 1 e 2 indicaram uma amostragem com um número esperado de espécies superior ao observado. Souza-Silva et. al (2011c) e Culver & Pipan (2009) discutem que devido a heterogeneidade de habitat nas cavernas, algumas espécies de tamanho corporal reduzido podem não ser vistas pelo método de busca visual e coleta manual, pelo fato de ocorrer em micro-habitats específicos nas cavernas, tais como fissuras, blocos abatidos, habitats intersticiais e corpos d'água. Simões et al. (2015), ressalta que cavernas extensas e úmidas possui elevada heterogeneidade ambiental que apesar de manter comunidades mais ricas de invertebrados terrestres dificulta a busca visual por invertebrados. Além disso, a contribuição de espécies "transientes" nesses sistemas, principalmente próximo das entradas, pode dificultar que a assíntota seja atingida, uma vez que, os grupos transitórios podem ser diversos. Desse modo, é importante que haja sobreposição de métodos e intervalos de coleta para amostrar uma maior proporção de espécies. Deve-se considerar também as características físicas do substrato onde irá coletar (Pellegrini e Ferreira 2012). Porém, é necessário ressaltar que coletas exaustivas podem causar impactos irreversíveis à fauna cavernícola (Oliveira 2014).

Considerações finais

A fauna cavernícola mostrou variações espaço-temporais na composição, riqueza e abundância, influenciadas pela distância da entrada, umidade e temperatura, resultando em um elevado turnover de espécies. Entretanto, maiores variações acontecem nas regiões mais próximas da entrada em função da instabilidade ambiental e condições menos restritivas de colonização. *Hypena* sp. e *Lutzomya* sp. parecem preferir habitats próximo das entradas, podendo indicar um comportamento troglóxico. Contrariamente *Endecous* sp. se distribuiu por toda a caverna, porém tem menor abundância em locais próximos das áreas da entrada, indicando um comportamento troglófilo.

Agradecimentos

A Thais Pellegrini, ao Prof. Dr. Lucas Del Bianco e ao Gustavo Heringer pela ajuda das análises estatísticas. Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), a Fapemig e a VALE. Aos Membros da banca de avaliação, Maria Fernanda Peñaflor e Thais G. Pellegrini.

Referências

Ávila AC, Pires MM, Rodrigues EN, Costi JA, Stenert C, Maltchik L (2019) Drivers of the beta diversity of spider assemblages in southern Brazilian temporary wetlands. *Ecological Entomology*, 45(3), 466-475.

Barr TC, Kuehne RA (1971) Ecological studies in the Mammoth Cave ecosystems of Kentucky. II. The ecosystem. *Annales de Spéléologie* 26: 47-96.

Barr TC (1968) Cave ecology and evolution of troglobites. *Evolutionary Biology*, v. 2, p. 35–102.

Baselga A, Jiménez-Valverde A, Niccolini G (2007) A multiple-site similarity measure independent of richness. *Biology Letters*, 3, 642–645.

Baselga A (2010) Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography* 19:134-143.

Baselga A (2012) The relationship between species replacement, dissimilarity derived from nestedness, and nestedness. *Global Ecology and Biogeography* 21, 1223-1232.

Bento DM (2011) Diversidade de invertebrados em cavernas calcárias do oeste potiguar: subsídios para a determinação de áreas prioritárias para conservação. Dissertação de Mestrado, Programa de pós-graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, Brasil.

<http://www.biologiasubterranea.com.br/pt/publicacoes/teses-e-dissertacoes/>

Bento DM, Ferreira RL, Prous X, Souza-Silva M, Bellini BC, Vasconcellos A (2016) Seasonal variations in cave invertebrate communities in the semiarid Caatinga, Brazil. *Journal of Cave and Karst Studies*, v. 78, no. 2, p. 61–71. DOI: 10.4311/2015LSC0111.

Bourges F, Genthon P, M NGIN, D’HULST D (2006) Microclimates of l’ ven d’Ornac and other French limestone caves (Chauvet, Esparros, Marsoulas). *International Journal of Climatology*, 26: 1651-1670.

Cajaiba RL (2012) Ocorrência do Grilo Endecous em Quatro Cavernas no Município de Uruará-PA, Brasil. *EntornoBrasilis*, 5(2): 120-124. DOI: 10.12741/ebrasilis.v5i2.217

Campos AM, Santos CLC, Stumpp R, Silva LHD, Maia RA, Paglia AP, Andrade Filho JD (2017) Photoperiod Differences in Sand Fly (Diptera: Psychodidae) Species Richness and Abundance in Caves in Minas Gerais State, Brazil. *Journal of Medical Entomology*, 54: 100-105.

DOI: 10.1093/jme/tjw135

Carvalho VC, Correa da Silva MA, Oliveira DV (2007) Potencialidades espeleoturísticas da área carstica do município de Luminárias (MG, Brasil), *Revista de Turismo Y Patrimônio Cultural*, 3(5):383-390.

Carvalho JC, Cardoso P, Gomes P (2012) Determining the relative roles of species replacement and species richness differences in generating beta-diversity patterns. *Global Ecology and Biogeography*.

doi: 10.1111/j.1466-8238.2011.00694.x.

Carvalho JC, Cardoso P, Borges PAV, Schmera D, Podani J (2013) Measuring fractions of beta diversity and their relationships to nestedness: a theoretical and empirical comparison of novel approaches. *Oikos* 122: 825–834. doi: 10.1111/j.1600-0706.2012.20980.x

Casanova C, Natal D, Santos FAM (2009) Survival, population size, and gonotrophic cycle duration of *Nyssomyia neivai* (Diptera: Psychodidae) at an endemic area of American Cutaneous Leishmaniasis in Southeastern Brazil. *J Med Entomol* 46:42-50.

Castro-Souza RA, Junta VGP, Ferreira RL (2020) Description and ecology of a new species of the cricket genus *Endecous* (Orthoptera: Grylloidea: Phalangopsidae) in the speleological province of Arcos-Pains-Doresópolis, Southeastern Brazil. *Zootaxa*, 4821(2), 305–332. doi:10.11646/zootaxa.4821.2.4

Cerqueira FVR (2018) Invertebrados cavernícolas em um sistema cárstico neotropical: influencia do habitat físico na estruturação das comunidades. Tese de mestrado, Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, Brasil.

Clarke KR (1993) Non-parametric multivariate analyses of change in community structure. *Australian Journal of Ecology* 18: 117–143. doi: 10.1111/j.1442-9993.1993.tb00438.x

Clarke KR, Gorley RN, Somerfield PJ, Warwick RM (2014) Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 3rd edition. PRIMER-E: Plymouth.

Colla-Jacques FE, Casanova C, Prado AP (2010) Study of sand fly fauna in an endemic area of American cutaneous leishmaniasis and canine visceral leishmaniasis in the municipality of Espírito Santo do Pinhal, São Paulo, Brazil. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 105: 208-215.

Crist TO, Veech JA, Gering JC, Summerville KS (2003) Partitioning species diversity across landscapes and regions: a hierarchical analysis of α , β , and γ diversity. *The American Naturalist*, 162: 734-743.

Culver DC (1970) Analysis of simple cave communities, part I: Caves as islands. *Evolution*, 24: 463-474.

Culver DC (1982) *Cave life: Evolution and Ecology*. Harvard University Press, Massachusetts and London, 189 pp.

Culver DC 2005b - Species interactions. In: Culver D.C. & White W.B. (Eds.) - *Encyclopedia of caves*. Amsterdam: Elsevier: 539-543.

Culver DC, Pipan T (2009) *The biology of caves and other subterranean habitats*. Library of Congress Cataloging in Publication Data, Oxford University Press, Oxford.

Culver DC, Fong DW, Jernigan RW (1991) - Species interactions in cave stream communities: experimental results and microdistribution effects. *American Midland Naturalist*, 126: 364-379.

Culver DC, Christman MC, Šereg I, Trontelj P, Sket B (2004) The Location of Terrestrial Species-Rich Caves in a Cave-Rich Area. *Subterranean Biology* 2: 27–32

Culver DC, Deharveng L, Bedos A, Lewis JJ, Madden M, Reddell JR, Sket B, Trontelj P, White D (2006) The mid-latitude biodiversity ridge in terrestrial cave fauna. *Ecography*, 29, 120–128

De Paula M, Akama A, Oliveira E, Moraes FE (2014) Ictiofauna epígea e subterrânea da área cárstica de Lagoa da Confusão, estado do Tocantins. *Revista da Biologia*, v. 12, n. 2, p. 29-35.

Dobson AJ (1990) *An Introduction to Generalized Linear Models*. London: Chapman and Hall.

Ferreira RL (2004) A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 158 pp.

Ferreira RL (2005) A vida subterrânea nos campos ferruginosos. *O Carste*, 3: 106-115.

Ferreira RL, Pompeu PS (1997) Riqueza e diversidade da fauna associada a depósitos de guano na gruta Taboa, Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil. *O Carste*, 9(2): 30-33.

Ferreira RL, Martins RP (1998) Diversity and distribution of spider associated with bat guano piles in Morrinho cave (Bahia state, Brazil). *Diversity and distribution* 4,235-241.

Ferreira RL, Martins RP (2001) Cavernas em risco de ‘extinção’: *Ciência Hoje*, v. 29, no. 173, p. 20–28.

Ferreira RL, Martins RP (2009) Mapping subterranean resources: the cave invertebrates distribution as indicator of food availability. *Revista Brasileira de Zoociências*, Juiz de Fora, 11: 119-127, ago.

Ferreira RL, Prous X, Bernardi LFO, Souza-Silva M (2010) Fauna subterrânea do estado do Rio Grande do Norte: Caracterização e impactos. *Revista Brasileira de Espeleologia*, 1:25-51.

Ferreira RL, Pellegrini TG (2019) Species-area model predicting diversity loss in an artificially flooded cave in Brazil. *International Journal of Speleology*, 48, 155-165.

Ferreira RL, Martins VM, Paixão ER, Silva MS (2015) Spatial and temporal fluctuations of the abundance of Neotropical cave-dwelling moth *Hypena* sp. (Noctuidae, Lepidoptera) influenced by temperature and humidity. *Subterranean Biology* 16: 47–60. doi: 10.3897/subtbiol.16.51374

Ferro C, Pardo R, Torres M, Morrison A (1997) Larval micro-habitats of *Lutzomyia longipalpis* (Diptera: Psychodidae) in an endemic focus of visceral leishmaniasis in Colombia. *J Med Entomol* 34: 719-728.

Fong DW, Culver DC (1994) – Fine-scale biogeographic differences in the crustacean fauna of a cave system in West Virginia, USA, 287: 29-37.

Gaston KJ, Blackburn TM (2000) Pattern and process in macroecology. Oxford: Blackwell Science, 377 p.

Gibbons JD, Chakraborti S (2003) Nonparametric Statistical Inference. Marcel Dekker.

Gillooly JF, Brown JH, West GB, Savage VM, Charnov EL (2001) Effects of Size and Temperature on Metabolic Rate. *Science* 293: 2248–2251. doi: 10.1126/science.1061967

Gillooly JF, Charnov EL, West GB, Savage VM, Brown JH (2002) Effects of Size and Temperature on Developmental Time. *Nature* 417: 70–73. doi:10.1038/417070^a

Gomes CRC (2014) Aninhamento em comunidades: padrões e processos subjacentes. Tese de mestrado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil.

Gooch JL, Hetrick SW (1979) The relation of genetic structure to environmental structure of *Gammarus minus* in a karst área. *Evolution* 33: 192-206.

Gorički Š, Trontelj P (2006) Structure and evolution of the mitochondrial control region and flanking sequences in the European cave salamander *Proteus anguinus*. *Gene*, 387, 31–41.

Hansen RA (2000) Effects of habitat complexity and composition on a diverse litter microarthropod assemblage. *Ecology* 81 (4), 1120–1132.

Harm KE, Wright SJ, Calderón O, Hernández A, Herre EA (2000) Pervasive density-dependent recruitment enhances seedling diversity in a tropical forest. *Nature*, 4: 493-495.

Hastie TJ, Pregibon D (1992) *Generalized linear models*. Chapter 6 of *Statistical Models in S* eds J. M. Chambers and T. J. Hastie, Wadsworth & Brooks/Cole.

Hoyle M, Harborne AR (2005) Mixed-effects of habitat fragmentation on species richness and community structure in a microarthropod microecosystem. *Ecol. Entomol.* 30 (6), 684–691.

Iniesta LFM, Ferreira RL, Wesener T (2012) The first troglobit *Glomeridesmus* from Brazil, and a template for a modern taxonomic description of *Glomeridesmida* (Diplopoda). *Zootaxa* (Aukland. Print), 3550: 26-42.

INMET(2021) Instituto Nacional de Meteorologia Banco de Dados da Estação Climatológica de Sete Lagoas.

Legendre P, Anderson MJ (1999) Distance-based redundancy analysis: testing multispecies responses in multifactorial ecological experiments. *Ecological Monographs* 69: 1-24

MacArthur RH, Wilson EO (1967) *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press, Princeton.

Mammola S, Chiappetta N, Giachino PM, Antić DZ, Zapparoli M, Isaia M (2020) Exploring the homogeneity of terrestrial subterranean communities at a local spatial scale. *Ecol. Entomol.* 1–10.

Martins MA (2015) Morcegos cavernícolas em uma área de Cerrado no sudeste do Brasil: composição de espécies e uso de abrigo. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, p. 48.

<https://tede.ufrrj.br/jspui/handle/jspui/3309>

Maurer BA (2009) Spatial patterns of species diversity in terrestrial environments. *Princeton.Guide.Ecol.* 464–473.

McCordle BH, Anderson MJ. (2001) Fitting multivariate models to community data: a comment on distancebased redundancy analysis. *Ecology* 82: 290-297.

McCullagh P, Nelder, JA (1989) *Generalized Linear Models*. London: Chapman and Hall.

Moldovan OT, Kováč L, Halse S (Eds.) (2018) *Cave Ecology. Ecological Studies*. 235: 127-183. doi:10.1007/978-3-319-98852-8

Morrison AC, Ferro C, Pardo R, Torres M, Wilson ML, et al. (1995) Seasonal abundance of the sand fly *Lutzomyia longipalpis* (Diptera: Psychodidae) at an endemic focus of visceral leishmaniasis in Colômbia. *J Med Entol* 32: 538-548. 53.

Oliveira, MPA (2014) Os métodos de coleta utilizados em cavernas são eficientes para a amostragem da fauna subterrânea? Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Pacheco GSM, Souza Silva M, Cano E, Ferreira RL (2020) The role of microhabitats in structuring cave invertebrate communities in Guatemala. *International Journal of Speleology*, 49 (2), 161-169. Tampa, FL (USA) ISSN 0392-6672

<https://doi.org/10.5038/1827-806X.49.2.2333>

Pellegrini TG, Sales LP, Aguiar P, Ferreira RL (2016a) Linking spatial scale dependence of land-use descriptors and invertebrate cave community composition. *Subterranean Biology*, 5: 1-9.

Pellegrini TG, Ferreira RL (2012) Metodologias diferenciadas aumentam a eficiência de inventários faunísticos em cavernas?, *Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico*, 21: 1-11.

Pellegrini TG, Ferreira RL (2016b) Are inner cave communities more stable than entrance communities in Lapa Nova show cave? *Subterranean Biology* 20: 15–37

Pinheiro, F. Diniz, I. R., Coelho, D. and M. P. S. Bandeira. 2002. Seasonal pattern of insect abundance in the Brazilian cerrado, *Austral Ecology* 27, p. 132–136

Poulson TL (2005) Food sources. *Encyclopedia of caves*. Elsevier, Burlington.

Poulson TL, Culver DC. (1969) Diversity in terrestrial cave communities. *Ecology*. 50(1): 153-7.

Poulson TL, White WB (1969) The cave environment. *Science* 165: 971-981.

Prous X, Ferreira RL, Martins RP (2004) Delimitation of epigeal-hypogean ecotone zone in two limestone caves in southeastern Brazil. *Austral Ecology* 29: 374–382. doi: 10.1111/j.1442- 9993.2004.01373.x

Prous X, Ferreira RL, Jacobi C (2015) The entrance as a complex ecotone in a Neotropical cave. *International Journal of Speleology* 44: Article 5. <http://scholarcommons.usf.edu/ ijs/vol44/iss2/5>

Rabelo L (2016) Ecologia e conservação de cavernas no eixo centro- norte de minas gerais. Tese de mestrado, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil.

Rabelo L, Souza-Silva M, Ferreira RL (2020) Epigeal and hypogean drivers of Neotropical subterranean Communities. *Journal of Biogeography* ;00:1–14.

Rantalainen ML, Fritze H, Haimi J, Pennanen T, Setälä H (2005) Species richness and food web structure of soil decomposer community as affected by the size of habitat fragment and habitat corridors. *Global Change Biol.* 11 (10), 1614–1627.

Romero A (2009) *Cave Biology: Life in Darkness*. Cambridge University Press, New York, 306 pp. doi: 10.1017/CBO9780511596841

Rutledge LC, Ellenwood DA (1975) Production of phlebotomine sandflies on the open forest floor in Panama: the species complement. *Environ Entomol* 4: 71-77.

Silva CMT, Simões PR (2002) Gruta do Salitre (MG 361): Geoespeleologia e Espeleotemas. *Revista Escola de Minas, Ouro Preto*, v. 55. n. 4.

Simões MH, Souza-Silva M, Ferreira RL (2012) Species Richness and Conservation of Caves in the Urucuia River Sub-Basin, a Tributary of the San Francisco River: a Case Study in Caves of Arinos, Minas Gerais, Brazil. *Revista Brasileira de Espeleologia*, 2: 1-17.

Simões LB (2013) Biodiversidade da fauna subterrânea na área cárstica de São Domingos, nordeste de Goiás: relevância versus visibilidade de táxons. Tese de mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil.

Simões MH, Souza-Silva M, Ferreira RL (2015) Cave physical attributes influencing the structure of terrestrial invertebrate communities in Neotropics. *Subterranean Biology*, v: 103-121.

Simpson GG (1943). Mammals and the nature of continents. *American Journal of Science*, 241(1): 1-31.

Shapiro SS, Wilk MB (1965) An analysis of variance test for normality (complete sample). *Biometrika*, Great Britain, v. 52, n. 3, p. 591-611.

Stireman JO (2008) α and β diversity of a tachinid parasitoid community over space and time. *Annals of the Entomological Society of America*, 101: 362-370.

Souza-Silva M, Iniesta MLF, Ferreira RL (2020a) Cave lithology effect on subterranean biodiversity: A case study in quartzite and granitoid caves *Acta Oecologica* 103645

Souza Silva M, Iniesta LFM, Ferreira RL (2020b) Invertebrates diversity in mountain Neotropical quartzite caves: which factors can influence the composition, richness, and distribution of the cave communities? *Subterranean Biology* 33: 23–43.

Souza-Silva M. (2008) Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na Mata Atlântica Brasileira. Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, 211-224pp.

Souza-Silva M, Ferreira RL (2009) Caracterização ecológica de algumas cavernas do Parque Nacional de Ubajara (Ceará) com considerações sobre o turismo nestas cavidades. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 1(9):59-71.

Souza-Silva M, Ferreira RL (2015) Cave invertebrates in Espírito Santo state, Brazil: a primary analysis of endemism, threats and conservation priorities. *Subterranean Biology*, v.16, p.79-102.

Souza-Silva M, Martins RP, Ferreira RL (2011A) Trophic Dynamics in a Neotropical Limestone Cave. *Subterranean Biology* 9: 127–138.

Souza-Silva M, Martins RP, Ferreira RL (2011b) Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest. *Biodiversity Conservation* 20: 1713–1729. doi: 10.1007/s10531-011-0057-5

Souza-Silva M, Nicolau JC, Ferreira RL (2011c) Comunidades de invertebrados terrestres de três cavernas quartzíticas no Vale do Mandembe, Luminárias, MG: *Espeleo-Tema*, 22: 79-91.

Souza-Silva M, Iniesta LFM, Ferreira RL (2020) Cave lithology effect on subterranean biodiversity: A case study in quartzite and granitoid caves. *Acta Oecologia*. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103645>

Souza-Silva M, Bento MD, Vasconcelos A, Ferreira RL (2012a) Changes in the invertebrate community of caves between dry and rainy seasons in the Brazilian Savannah and Caatinga biomes. 21st International Conference on Subterranean Biology, 2–7 September, Kosice, Slovakia, 99–100.

Trajano E, Andrade R (2005) *Biologia subterrânea*. Em: *Espeleologia: noções básicas*. (Auler A. e Zogbi L. autores) Ed. RedeEspeleo Brasil, São Paulo. 25-32 pp.

Tsafack N, Xie Y, Wang X, Fattorini S (2020) Influence of Climate and Local Habitat Characteristics on Carabid Beetle Abundance and Diversity in Northern Chinese Steppes. *Insects* 11: 19. <https://doi.org/10.3390/insects11010019>

Tobin BW, Hutchins BT, Schwartz BF (2013) Spatial and temporal changes in invertebrate assemblage structure from the entrance to deep-cave zone of a temperate marble cave. *Int J Speleol.*;42(3):203-214. doi:10.5038/1827-806X.42.3.4.

Vandel A (1964) *Bioespéologie – La Biologie dès animaux cavernicoles*. Gauthier. PARIS: Villars Éditeur. p. 619

Venables WN, Ripley BD (2002) *Modern Applied Statistics with S*. New York: Springer

Vasconcellos A, Andreazze R, Almeida AM, Araujo HFP, Oliveira ES, Oliveira U (2010) Seasonality of insects in the semi-arid Caatinga of northeastern Brazil, *Revista Brasileira de Entomologia* 54(3): 471–476.

Whittaker RH (1952) A study of summer foliage insect communities in the Great Smoky Mountains. *Ecological monographs*, 22(1), 1-44.

Whittaker RH (1960) Vegetation of the Siskiyou mountains, Oregon and California. *Ecol Monogr* 30:279–338

Wolda H (1978) Seasonal fluctuations in rainfall, food and abundance of tropical insects, *Journal of Animal Ecology*, 47, 369-381

Wolda H (1988) Insect seasonality: Why? *Annual Review of Ecology and Systematics* 19: 1 - 18.

Wynne JJ, Francis GH, Stefan AS, Brett GD, (2019) Fifty years of cave arthropod sampling: techniques and best practices. *International Journal of Speleology*,48:33-48. Disponível em: <https://scholarcommons.usf.edu/ijsvol48/iss1/4>