



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ZOOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL

GABRIEL DE SOUZA GHEDIN

Padrões da comunidade de invertebrados associados a depósitos de guano de morcegos insetívoros em *bat caves* do semiárido brasileiro.

Recife
2021

GABRIEL DE SOUZA GHEDIN

Padrões da comunidade de invertebrados associados a depósitos de guano de morcegos insetívoros em *bat caves* do semiárido brasileiro.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Biologia Animal.
Área de Concentração: Ecologia

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Iannuzzi

Coorientadora: Dra. Thais Giovannini Pellegrini

Recife
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Ghedin, Gabriel de Souza

Padrões da comunidade de invertebrados associados a depósitos de guano de morcegos insetívoros em bat caves do semiárido brasileiro / Gabriel de Souza Ghedin. – 2021.

62 f. : il.

Orientadora: Luciana Iannuzzi

Coorientadora: Thais Giovannini Pellegrini

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Recife, 2021.

Inclui referências.

1. Morcegos 2. Animais cavernais 3. Invertebrados - Populações 4. Guano I. Iannuzzi, Luciana (orient.) II. Pellegrini, Thais Giovannini (coorient.) III. Título.

599.4

CDD (22.ed.)

UFPE/CB – 2021 - 383

Elaborado por Marylu Souza - CRB-4/1564

Gabriel de Souza Ghedin

Padrões da comunidade de invertebrados associados a depósitos de guano de morcegos insetívoros em *bat caves* do semiárido brasileiro

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Biologia Animal.
Área de Concentração: Ecologia

Aprovado em: 14/10/2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Luciana Iannuzzi (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Dra. Thais Giovannini Pellegrini (Coorientadora)
Universidade Federal de Lavras

Profa. Dra. Débora Barbosa de Lima (Titular interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Eder Silva Barbier (Titular externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Renato Portela Salomão (Titular externo)
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

Prof. Dr. Simão Dias de Vasconcelos Filho (Suplente interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Daniele Regina Parizotto (Suplente externo)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dedico esta dissertação ao meu avô, José Rogério de Souza, por todos os insetos afogados que me ajudou a resgatar. E a minha avó Olinda Niero Ghedin, os tapas gentis que me deu no rosto me preparam para os não tão gentis tapas da vida. Na nossa mesa vai sempre faltar vocês.

AGRADECIMENTOS

Crianças nascem naturalmente cientistas, se você as observar com atenção vai notar em seu comportamento as primeiras etapas da metodologia científica, a observação, a formulação de uma hipótese e pôr fim a experimentação. Comigo não foi diferente, nasci um cientista. Ao nascer vemos o mundo na escuridão, os temores da ignorância nos assombram, mas com o tempo o conhecimento vai, aos poucos, iluminando nosso caminho.

Dito isso, gostaria de começar agradecendo aqueles que acenderam as primeiras velinhas na minha escuridão, meus pais, Ademir e Rosane, e meu irmão Fernando, que me incentivaram sempre e nunca deixaram me faltar livros. Me ajudaram a estudar, fazer deveres de casa e a contar os décimos faltantes para ser aprovado nas matérias escolares que tive dificuldades.

Gostaria de agradecer também a minha família todos os meus tios e tias, primos e minha avó, que aguentaram os meus choros de desespero ao tentar impedi-los de matarem animais que eles consideravam nojentos, como sapos, lagartixas, formigas e aranhas, afinal a criança cientista que eu fui não permitia que os matassem.

Ao crescer o número de velas na minha escuridão, tornaram-se tochas e fogueiras, acesas por todos os professores que tive ao longo da graduação. Gostaria de agradecê-los também pelos conhecimentos passados. Porém, para cada chama acesa, a escuridão também crescia. Durante a busca por mais luz, acabei encontrando o Grupo de estudos espeleológicos - Açungui, que foi minha primeira casa no estudo da espeleologia, então gostaria de agradecer pelos amigos que fiz e pela experiência em campo que ganhei durante o tempo no grupo. Vale mencionar o nome Kleber, que me mostrou pela primeira vez como os invertebrados cavernícolas são seres fantásticos.

Na busca por mais luz para afastar a escuridão, fui a Recife e acolhido por mais um farol de conhecimento, minha orientadora Luciana Iannuzzi. Agradeço a ela pela paciência, pelas conversas, reuniões, por ler e reler meus manuscritos e principalmente por confiar no meu potencial em momentos em que eu mesmo duvidei dele. Agradeço imensamente também a minha coorientadora Thais Pellegrini que dividiu sempre com paciência e clareza seus conhecimentos sobre o fascinante ambiente que são as cavernas, que respondeu meus questionamentos e mesmo notando minha cara de preocupação sempre me lembrou que tudo ia dar certo. Ainda gostaria de agradecer a todos os professores do Programa de Pós-graduação em Biologia Animal que dividiram seus conhecimentos comigo, e a Universidade Federal

de Pernambuco pela estrutura fornecida, com destaque ao Prof. Dr. Enrico Bernard que permitiu que a logística dos campos desse trabalho fosse possível.

Agradeço também a Adria, Érica e Tamara, três cientistas maravilhosas que me receberam tão bem em Recife. E aos amigos do LABTEI, Artur, Andreza, Braulio, Carlos, Denize, Fabio, Renato e Layse. Em especial, Maikon e Mirella, por terem a paciência de triar tantos ácaros comigo. Gostaria de agradecer também aos meus amigos Eder, Fernanda, Narjara, Jennifer e Frederico pela ajuda durante os campos do projeto, por aguentarem todas as vezes em que perguntei “Que morcego é esse?”, mesmo vocês sabendo que eu iria esquecer o nome no outro dia. Agradeço também a José Iatagan Freitas e Uilson Paulo Campos pelo auxílio durante as atividades de campo e pelas histórias divididas comigo. Agradeço também aos meus amigos Isabela, Thayná, Nathalia, Gilvanio, Brendon, Emerson e Daniel. Cada um à sua maneira, todos vocês contribuíram para que mais chamas de conhecimento fossem acesas em minha mente.

Agradeço ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa concedida que permitiu a minha dedicação exclusiva a esse trabalho. E por último gostaria de agradecer a mim, aquela pequena criança cientista, que desde pequeno sonhava em ser um biólogo que hoje tem a chance de gerar nem que seja uma pequena faísca de luz capaz trazer um pouco da luz do conhecimento para um ambiente tão escuro quanto as cavernas brasileiras.

RESUMO

Cadeias tróficas em cavernas são em sua grande maioria estruturadas a partir de recursos de origem alóctone, sendo o guano de morcegos o principal recurso alimentar em se tratando de cavernas permanentemente secas. Apesar do avanço gradativo do conhecimento sobre as cavernas, existem lacunas do conhecimento no que diz respeito aos padrões das comunidades de invertebrados cavernícolas no nordeste do Brasil. Nesse sentido, os invertebrados associados aos depósitos de guano de morcegos insetívoros em cavernas do semiárido brasileiro foram caracterizados. Em seguida buscou-se compreender padrões de distribuição dessas comunidades de acordo com a latitude, bem como com características físicas e microclimáticas das cavernas e dos depósitos de guano. Buscou-se, ainda, determinar a ocupação de nicho das espécies mais abundantes presentes no guano. Para tanto, foi realizado um evento amostral em sete *Bat Caves* (i.e., cavernas abrigando milhares de morcegos) duas delas são consideradas *hot caves* (i.e., *Bat Caves* com câmaras que atingem 30° a 35°) Em cada cavidade foram coletadas três amostras de 100ml de guano de morcegos insetívoros em diferentes depósitos e alocadas em funis de Berlese-Tullgren durante 24 horas para a extração de invertebrados. Nos mesmos depósitos de guano e nas câmaras da cavidade foram tomadas medidas de temperatura e umidade, e as cavernas foram classificadas em *Hot Caves* e não *Hot Caves*. Foram obtidas ainda a latitude, projeção horizontal e índice de estabilidade ambiental das cavernas. Foram coletados 15.265 invertebrados de 169 espécies, sendo Acari o táxon mais abundante do estudo. Dentre os Argasidae (Acari), *Ornithodoros rodoniense* foi registrada pela primeira vez no bioma Caatinga. A composição de espécies não variou entre *Hot* e não *Hot Caves*. A riqueza de espécies não foi afetada pelas variáveis testadas. Porém, a riqueza tendeu a ser maior em câmaras e depósitos mais quentes, e em câmaras mais secas. Das seis espécies de ácaros mais abundantes, quatro espécies apresentaram hábitos generalistas, mas apresentaram uma tendência às cavernas mais estáveis. Por outro lado, *Guanolichidae* sp.1 e *Rosensteniidae* sp.1 foram mais especialistas, estando associadas apenas à caverna Boqueirão de Lavras da Mangabeira II. Esses invertebrados diversas vezes são classificados como recurso espaço dependentes, estando mais susceptíveis às variações das condições do recurso disponível do que das condições da estrutura física das cavernas ou das condições da paisagem na qual a cavernas se insere. Os resultados desse estudo fornecem bases para uma melhor compreensão de padrões de uso do guano de morcegos insetívoros por invertebrados cavernícolas. O entendimento desses padrões, ou até mesmo, a falta deles. Pode

auxiliar na proposição de boas estratégias para a conservação de cavernas da Caatinga brasileira.

Palavras-chave: fauna subterrânea; hot caves; Latitude.

ABSTRACT

In caves trophic chains are, in a majority, organized with resources from allochthonous origins. When talking about permanent dry caves bat' guano it's the principal food resource. Although comprehension about caves is gradually advancing, knowledge gaps regarding cave-dwelling invertebrate communities in northeast Brazil still exist. In this sense, the invertebrates associated with guano deposits of insectivore's bats of caves from the Brazilian semiarid were characterized. Then we searched from distributional patterns of these communities according to latitude, as well as physical and microclimatic caves and guano deposits. We also tried to determine patterns of niche occupation of the most present species in the guano. Therefore, we perform one sampling event in seven *Bat Caves* (two *hot caves* and five not *hot caves*). In each one of the caves tree samples of 100ml of guano and allocated to the Berlese-Tullgren funnel during 24 hours to extraction. In the same guano deposits and in the cavity chambers temperature and humidity measurements were taken, and the caves were classified in *Hot Caves* and not *Hot caves*. Still, we obtained latitude, horizontal projection and Environmental Stability Index of the caves. We sampled 15265 invertebrates of 169 species, being Acari the most abundant taxon in the study. In the Argasidae (Acari), *Ornithodoros rodoniense* has been registered for the first time in the Caatinga biome. We found no significant difference between species composition of *Hot* and not *Hot caves*. Richness of species was better explained by chamber temperature and guano humidity, none of the ample scale parameters were able to explain the richness of species variation. Of the six most abundant acari species, four presented more generalist habits, but presented a tendency to more stable caves. On the other hand, *Guanolichidae* sp1 e *Rosensteniidae* sp.1 and *Rosensteniidae* sp. 1 were more specialists, associated only with the Boqueirão de Lavras da Mangabeira II. These invertebrates are often classified as Space-resource-dependent, being more susceptible to the variation of the resource conditions than the physical structure of caves or landscape where the cave it's inserted. The results of this study provide a base to a better comprehension of the patterns of guano use of insectivorous bats by cave-dwelling invertebrates. The understanding of this patterns can help to propose good strategies to conservation of caves of the Brazilian Caatinga.

Keywords: subterranean fauna; hot caves; Latitude.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Escalonamento multidimensional não métrico.....	51
Figura 2: Representação visual dos modelos gerados por GLM.....	52
Figura 3: Representação visual da análise de OMI.....	52
Figura 1: Zona de entrada da Caverna do Urubu.....	61
Figura 2: População de <i>Antricola inexpectata</i> associados ao guano.....	61
Figura 3: Mapa da América latina destacando a Caatinga.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Cavernas do semiárido Brasileiro.....	48
Tabela 2: Modelos resultados da seleção das variáveis em pequena escala.....	49
Tabela 3: Valores gerais da análise de índice de média periférica.....	50
Tabela 4: Invertebrados coletados utilizando o método de Funil de Berlese.....	53
Tabela 1: Cavernas do semiárido Brasileiro e sua localização geográfica.....	59
Tabela 2: Espécies de Argasidae encontradas nas cavernas amostradas.....	60

SUMÁRIO

Introdução.....	13
Referencial teórico.....	15
Capítulo 1: Community patterns of invertebrates associated with insectivorous bat's guano deposits on Brazilian semiarid.....	28
Capítulo 2: List of soft ticks (Acari, Argasidae) in Bat caves including record of species occurrences for Caatinga.....	54
Considerações gerais.....	62

INTRODUÇÃO

A Caatinga é a maior floresta tropical seca do mundo, com aproximadamente 800.000 km² de extensão (PRADO, 2003). Este ecossistema é muitas vezes negligenciado por ser considerado pobre em biodiversidade. Mas, o conhecimento atual reconhece o ecossistema como um importante berço de endemismo, com inúmeras espécies exclusivas do local (PRADO, 2003; RODRIGUES; TREFAUT, 2003; ROSA *et al.* 2003). Atrelado ao alto endemismo, a Caatinga possui um grau de conservação alto, quando comparado a florestas tropicais vizinhas (PRADO, 2003).

A mais notável característica das cavernas é a completa ausência de luz, além das estáveis taxas de temperatura e umidade, quando comparadas às do meio externo (CURL, 1964; POULSON; WHITE, 1969). As cavernas apresentam um relativo isolamento em relação a outros ambientes e, por esse motivo, a maioria dos recursos orgânicos disponíveis nas cavernas é de origem externa. Geralmente esses recursos são de origem vegetal e são carregados por vento ou rios, que acabam formando acúmulos dentro das cavernas (TRAJANO; BICHUETTE, 2006). Em cavernas em que não existem rios ou córregos o maior responsável pela deposição de recursos orgânicos são os morcegos, quando presentes. As fezes desses animais são chamadas de guano e, além de funcionarem como um importante recurso alimentar, fornecem substrato para reprodução de diversos invertebrados (TRAJANO; GNASPINI-NETTO, 1991; FERREIRA; MARTINS, 1999; PELLEGRINI; FERREIRA, 2013).

Algumas cavernas possuem colônias de morcegos com cerca de milhões de indivíduos, criando um habitat único, sendo conhecidas como *bat caves* (MENDELLIN *et al.* 2017). Estas fogem à regra de que o ambiente subterrâneo é geralmente pobre em recursos, pois a enorme quantidade de morcegos promove uma grande deposição de guano (AZEVEDO; BERNARD, 2015). Em algumas *bat caves* as grandes colônias de morcegos promovem um aumento de temperatura, podendo chegar até 35°C ou mais em algumas câmaras. Devido a essa característica termal única, essas *bat caves* ficaram conhecidas como *hot caves* (LADLE *et al.* 2012).

bat caves e *hot caves*, assim como outras cavernas, são ambientes que oferecem oportunidades para estudos ecológicos e evolutivos, merecendo destaque para conservação. Apesar de demonstrar grandes efeitos para o funcionamento geral

dos ecossistemas em que estão inseridas, as cavernas raramente são contempladas em planos tradicionais de conservação (MENDELLIN *et al.* 2017). Apesar do conhecimento bioespeleológico estar crescendo ao longo dos anos, informações sobre comunidades de invertebrados em ambientes cavernícolas ainda são escassas. Da mesma forma, pouco se sabe sobre a influência dos fatores abióticos sobre estas comunidades. Assim, ao responder questões ainda não investigadas contribuiremos para a conservação futura do patrimônio espeleológico brasileiro. Atualmente, a falta de conhecimento é considerada um dos maiores problemas a serem resolvidos quando pensamos na conservação desses ambientes (MCCRACKEN, 1989).

Diante do exposto, o objetivo geral do trabalho é caracterizar a comunidade de invertebrados presentes nos depósitos de guano de morcego insetívoro em cavernas do semiárido brasileiro e verificar a influência dos fatores abióticos nessa comunidade.

A presente dissertação está dividida em dois capítulos: Capítulo 1 – Community patterns of invertebrates associated with insectivorous bat's guano deposits on Brazilian semiarid; Capítulo 2 – List of soft ticks (Acari, Argasidae) in Bat caves, including record of species occurrences for Caatinga. O primeiro capítulo tem como objetivo caracterizar a comunidade de invertebrados associados à depósitos de guano de morcegos insetívoros em cavernas do semiárido brasileiro e verificar a influência dos fatores abióticos sobre essa comunidade. Serão testados os efeitos das variáveis ambientais (temperatura da câmara, temperatura do depósito de guano, umidade da câmara, umidade do depósito de guano, Índice de estabilidade ambiental e Projeção horizontal da caverna) e da latitude na estruturação da comunidade de invertebrados que habita o guano de morcegos. Este capítulo será submetido a revista *Subterranean biology*. O segundo capítulo se refere a um manuscrito submetido para a Revista de Biologia Neotropical. Este manuscrito inclui uma lista de ocorrência de espécies de Argasidae (Acari) de *Bat caves* da Caatinga, incluindo dois registros novos de duas espécies raras de *Ornithodoros*. Esse manuscrito se encontra em processo de Avaliação.

REFERENCIAL TEÓRICO

Caatinga

Também conhecida como “mata branca”, a Caatinga é um ecossistema estritamente brasileiro, ou seja, seus limites estão restritos ao território nacional. Com aproximadamente 800.000 km² (IBGE, 1985) a Caatinga está presente nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Alagoas, Sergipe, Bahia e uma faixa norte de Minas Gerais que segue o rio São Francisco (PRADO, 2003).

A maior parte da vegetação da Caatinga é decídua (PRADO, 2003), apresentando vastos espaços abertos com grande quantidade de espécies arbustivas, até áreas de grandes florestas secas com árvores de porte médio e grande, conhecida como Caatinga arbórea que foi dominante no passado (LEAL *et al.* 2003). A paisagem é constituída por um mosaico de diferentes formações reunidas por diversas transições, resultando em uma região espacialmente complexa (ALVES, 2009), podendo dividida em 16 fitofisionomias, com base em vegetação, solo, clima e altitude (LEAL *et al.* 2005).

A região da Caatinga é extremamente sazonal, com uma estação chuvosa e uma seca (NIMER, 1972). Os períodos de seca duram entre 7-10 meses, sendo que os ecótonos da Caatinga com outros ecossistemas mais amenos tendem a passar por períodos mais breves de seca quando comparadas ao centro do ecossistema (PRADO, 2003). A variação anual do período chuvoso é muito comum, muitas vezes ocorrendo secas que duram por anos (NIMER, 1972).

A variabilidade climática da Caatinga está relacionada as diferenciações no solo, que refletem fatores do seu processo de formação permitindo que sejam usados como indicadores de variabilidade ambiental (COELHO, 2011). Com diversos tipos de solo e um complexo de rios intermitentes e perenes. Ao longo desses rios é possível encontrar brejos e pastos que alagam durante o período úmido (COELHO, 2011).

Em alguns platôs e topos de morro, localizado em meio a Caatinga, encontram-se vegetações típicas do Cerrado e da Mata Atlântica. Esses locais são conhecidos como Brejos de altitude (SCHUCKNECHT *et al.* 2017), cuja variação de umidade e temperatura são consideráveis em relação ao restante da Caatinga (LEAL *et al.* 2005).

Essas diferenças tornam esses ambientes refúgios para espécies tipicamente encontradas na Mata Atlântica que permanecem em áreas onde as condições climáticas as favorecem (LEAL *et al.* 2005).

Apenas 14% da Caatinga encontra-se em áreas de proteção integral. Porém, o percentual deve ser menor pois as unidades de conservação têm dificuldades de manter o proposto por seus gestores. Nessa região há constante ameaça oriunda da caça, queimadas, desmatamento, pastoreio e a presença de espécies exóticas invasoras (PEREIRA FILHO; SILVA; CÉZAR, 2013). Similar a outros ecossistemas brasileiros, a maior ameaça a conservação da biodiversidade da Caatinga é a substituição de áreas naturais por ecossistemas antrópicos. Contudo, ao contrário da Amazônia e da Mata Atlântica, a Caatinga não possui um programa que monitore os efeitos das ações humanas nos ecossistemas naturais em uma escala regional. O que faz com que a maioria da informação disponível sobre os avanços antropogênicos estejam distribuídas em artigos científicos, que utilizam diferentes conjuntos de dados e metodologias dificultando o levantamento e a comparação de informações (MARIA; CLAÚDIO; BARBOSA, 2017).

A Caatinga é um ecossistema negligenciado em relação a outros ecossistemas brasileiros. Provavelmente isso ocorre devido a suas características semiáridas, que passam a impressão paisagens desérticas e pobres em espécies. Entretanto, com o avanço dos estudos de fauna e flora na região, esta visão tem sido modificada. Quanto a ictiofauna, por exemplo, a Caatinga possui 240 espécies de peixes, sendo 136 endêmicas ao ecossistema (DELFIM *et al.* 2017). Para a herpetofauna os números apontam 167 espécies registradas (RODRIGUES; TREFAUT, 2003; DELFIM *et al.* 2017). Nos mamíferos os registros mais atuais apontam 143 espécies (OLIVEIRA; GONÇALVES; BONVICINO, 2003), sendo que 81 dessas espécies registradas são morcegos (MORATELLI; DIAS, 2015; PAGLIA *et al.* 2012; ROCHA *et al.* 2015). Quanto às aves, estão registradas 510 espécies (SILVA *et al.* 2003 SILVA, 2017). Com as mudanças climáticas e os processos de desertificação de paisagens naturais atuais, fica cada vez mais evidente a necessidade de se conhecer a flora e a fauna de ambientes semiáridos (FERNANDO; MARTINS, 2003). Inventariar estes ambientes e entender seu funcionamento e dinamismo são essenciais para a conservação da Caatinga.

Cavidades naturais e sua formação

A definição de caverna é um tópico de discussão, devido à alta variabilidade do ambiente subterrâneo (CURL, 1964; MEDELLIN; WIEDERHOLT; LOPEZ-HOFFMAN, 2017; POULSON; CULVER, 1969). A União Internacional de Espeleologia - UIS define caverna como uma abertura natural formada em rocha abaixo da superfície do terreno, larga o suficiente para a entrada de humanos (AULER; PILÓ, 2011), sendo sua formação oriunda do processo de dissolução da rocha matriz (BRANCO, 2014). A maioria das cavidades naturais ocorre em áreas de Carste, área onde a litologia predominante é composta por rochas de alta solubilidade, e grande parte dos terrenos cársticos é formada por rochas carbonáticas. Porém, outros terrenos formados por rochas areníticas e vulcânicas também favorecem a formação de cavidades e esses terrenos são conhecidos como pseudocarstes (BAZZAN; ROBAINA; PIRES, 2006). A água em conjunto com o dióxido de carbono forma o ácido carbônico, e apesar de fraco, esse ácido dissolve o carbonato de cálcio (material que forma rochas carbonáticas) formando bicarbonato de cálcio que é solúvel em água. Este processo repetido por milhares de anos resulta em uma caverna de proporções dignas (BRANCO, 2014) e na formação dos espeleotemas. Além da água, a dissolução da rocha matriz também pode ocorrer por movimentos gravitacionais de massa, erosão, ação do vento, fragmentação da rocha por tectonismo e intemperismo químico (BRANCO, 2014).

Em geral, as características das cavidades naturais são diferentes do meio externo (POUSON; WHITE, 1969), principalmente no que se refere a completa ausência de luz nas porções mais profundas das cavernas. Com base nessa variável, as regiões de uma mesma caverna podem ser classificadas de acordo com incidências diferentes de luminosidade. A zona de Entrada apresenta incidência direta de luz vinda do meio externo, sendo também a região com maiores flutuações de temperatura de uma caverna. A zona de Penumbra possui incidência indireta de luz e as flutuações climáticas são ligeiramente menores que as da Entrada. A zona Afótica é caracterizada pela completa ausência de luz, e neste local a temperatura e umidade tendem a ser estáveis (POULSON; CULVER, 1969; TRAJANO; BICHUETTE, 2006).

Apesar de a importância das cavernas parecer apenas geológica, diversos autores apontam aspectos importantes para a ecologia e conservação de espécies endêmicas desse ambiente (FERREIRA, 2019; HÜPPPOP, 2005; POULSON;

WHITE, 1969; TRAJANO; BICHUETTE, 2006). As cavidades podem ser consideradas ambientes simplificados em relação ao ambiente externo, o que as torna laboratórios naturais, permitindo diversos estudos ecológicos (MAMMOLA, 2019; MAMMOLA, *et al.* 2020). A especialização evolutiva em cavernas, por muitas vezes, pode seguir padrões semelhantes a outros habitats com determinados níveis de isolamento, como ilhas, topos de montanha e brejos de altitude (BARR; HOLSINGER, 1985). E assim como nesses habitats, diversos autores também destacam altas taxas de endemismo em cavernas (BARR; HOLSINGER, 1985; TRAJANO; GNASPINI-NETTO, 1991; SKET, 2005).

A total ausência de luz faz com que a maioria dos recursos orgânicos presentes nas cavidades seja de origem alóctone (TRAJANO, 1986), sendo estes carregados por meio de agentes físicos como rios, ventos e águas de percolação, que permitem a formação de acúmulos de matéria vegetal em certos pontos da caverna, podendo carrear ainda microrganismos e animais para o ambiente subterrâneo (FERREIRA; MARTINS; YANEGA, 2000). Agentes biológicos também podem fornecer recursos tróficos na forma de carcaças de animais, fezes ou raízes que penetram em grutas superficiais. Porém, esses recursos são considerados escassos para a comunidade de invertebrados, quando comparados com ambientes do meio hipógeo e por isso os ambientes subterrâneos são, em sua maioria, oligotróficos (TRAJANO; BICHUETTE, 2006).

Dentre os agentes biológicos de importação, os mais importantes são os morcegos, que defecam no interior das cavernas formando grandes acúmulos de guano. Os quirópteros representam os mais conhecidos habitantes de cavidades naturais. Apesar desses animais utilizarem uma série de abrigos diurnos além das cavernas, essas são consideradas os abrigos mais comuns (OTÁLORA-ARDILA *et al.* 2019). O microclima das cavernas é estável, e este fator é de importância para os morcegos que utilizam esses abrigos para diversas finalidades como, reprodução, socialização e cuidado parental (ALTRINGHAM, 2011). Algumas cavernas possuem colônias de morcegos grandes o suficiente para que essas mereçam uma classificação específica. Estas são chamadas de *bat caves* e são de extrema importância para a conservação da quiropterofauna. *bat cave* é um termo utilizado para adereçar

cavidades que possuem colônias de quirópteros que ultrapassam milhares de indivíduos (LADLE *et al.* 2012).

Apesar da maioria das cavidades possuir uma escassez de recursos orgânicos disponíveis para a fauna de invertebrados, *bat caves* são uma exceção (TRAJANO; BICHUETTE, 2006). A grande quantidade de morcegos presentes nessas cavidades realiza uma enorme deposição de guano em seu interior. O guano em *bat caves* forma grandes acúmulos, que servem como principal recurso para a comunidade de invertebrados (TRAJANO; GNASPINI-NETTO, 1991; PELLEGRINI *et al.* 2016; PELLEGRINI; FERREIRA, 2013). Os depósitos de guano possuem propriedade distintas, de acordo com o tempo de deposição e de acordo com o hábito alimentar dos morcegos, sendo que a diversidade desses hábitos varia de acordo com as regiões do mundo. Em zonas temperadas, a maioria deles é insetívora, se alimentando de insetos, já que os frugívoros e nectarívoros não conseguem sobreviver ao inverno (FERREIRA, 2019). Na região Neotropical, os hábitos alimentares dos morcegos variam entre hematófagos (sangue de vertebrados), insetívoros (insetos), frugívoros (frutos), carnívoros (Pequenos vertebrados) e nectarívoros (néctar) (FERREIRA, 2019). A composição química e física das pilhas de guano varia de acordo com o hábito alimentar dos morcegos, o que acaba por afetar a comunidade de invertebrados associada ao guano (FERREIRA, 2019). A dieta do morcego pode ser facilmente identificada em campo com a observação do guano. O guano de hematófago é pastoso e vermelho amarronzado, com forte cheiro de amônia; dos frugívoros apresenta pequenas sementes indigestas; dos insetívoros contém partes quitinosas; dos carnívoros identifica-se pelos ou unhas (FERREIRA, 2019). Quando fresco, o guano é mais alcalino e úmido, e com o passar do tempo ele se torna mais ácido e seco. Essas mudanças nos aspectos químicos promove uma sucessão ecológica de espécies associadas ao guano (FERREIRA, 2019).

Algumas *bat caves* possuem características específicas, como apenas uma entrada e a pouca circulação de ar. Nessas cavidades o calor emanado associado as taxas de evaporação de água causadas pelo grande acúmulo de morcegos resultam em câmaras com temperaturas em torno dos 35 graus e taxa de umidade relativa por volta de 99% (LADLE *et al.* 2012). Chamadas de *hot caves* as cavernas com câmaras quentes tiveram um dos seus primeiros registros em 1949 quando Dalquest e Hall descreveram uma cavidade no México em que uma das câmaras possuía temperaturas de aproximadamente 35 graus. Em *hot caves* a predomina a fauna de

morcegos, sendo Mormoopidae a família com maior número de indivíduos presentes nesse tipo de cavernas dos neotrópicos. Além dessa família, espécies de Phyllostomidae e Natalidae também são comuns (LADLE *et al.* 2012). Similar às *bat caves*, o guano dos morcegos das *hot caves* serve como fonte de recurso e substrato para diversas espécies de artrópodes de solo (GNASPINI; TRAJANO, 2000). De forma dominante, os ácaros estão sempre presentes no guano de morcegos, tanto de *bat caves* quanto de *hot caves*. O ambiente também é propício para diversos besouros, muitas vezes até endêmicos (PECK; RUIZ-BALIÚ; GARCÉS; GONZÁLEZ, 1998). Apesar da grande maioria desses invertebrados não ser exclusivamente cavernícola, a grande quantidade de substrato disponível sustenta grandes populações dessas comunidades (LADLE *et al.* 2012).

O ambiente de superfície da Caatinga é considerado negligenciado principalmente no que diz respeito aos esforços para a conservação da biodiversidade. Da mesma forma as cavernas associadas à Caatinga também são negligenciadas, carecendo de estudos bioespeleológicos. Atualmente existem 3.935 cavernas cadastradas para o ecossistema (CECAV, 2020). Além da espeleologia no Brasil ser uma ciência recente, com apenas algumas décadas, os estudos têm como alvo principal a região sudeste do país (BENTO *et al.* 2016). Com isso, o conhecimento acerca desse tema nas regiões norte e nordeste é incipiente. Destacam-se trabalhos com a fauna cavernícola dos estados da Bahia e do Rio Grande do Norte (GNASPINI; TRAJANO, 2000; TRAJANO, 1986; TRAJANO; GNASPINI-NETTO, 1991; BENTO *et al.* 2016; BENTO *et al.* 2021).

Comunidade de invertebrados de cavernas

Diversas comunidades de invertebrados habitam as cavernas, apresentando uma estrutura geralmente simples quando comparadas a comunidades de outros habitats, estando relativamente isoladas do ambiente externo. A separação do ambiente cavernícola em relação ao meio externo promove o isolamento das populações que vivem nesse ambiente, gerando pressões ambientais únicas que acabam por selecionar os organismos (BARR; HOLSINGER, 1985; TRAJANO; BICHUETTE, 2006).

Essas características fazem das comunidades cavernícolas alvos importantes para estudos de evolução, conservação e ecologia (TRAJANO; BICHUETTE, 2006).

As características do meio hipógeo, previamente citadas, promovem condições distintas de vida, e nem todo organismo epígeo (i.e. encontrado na superfície) é capaz de colonizá-lo com sucesso.

Comumente animais criptobióticos, e que vivem em lugares naturalmente escuros, têm mais chance de obter sucesso em uma caverna (TRAJANO; BICHUETTE, 2006). Além disso, a dieta generalista também pode ser um fator que garante a sobrevivência dos organismos no meio subterrâneo (GNASPINI; TRAJANO, 2000; TRAJANO; BICHUETTE, 2006). Pode-se dizer então, que o meio hipógeo pode servir como um filtro para as comunidades epígeas, e as diferentes pressões evolutivas geradas nas cavernas promovem um fenômeno de especiação muito singular.

Organismos que ocupam ambientes cavernícolas apresentam especializações geradas no meio subterrâneo, sendo chamadas de troglomorfismos (TRAJANO; BICHUETTE, 2006). Tais especializações se dão diante do isolamento genético do meio subterrâneo (GNASPINI; TRAJANO, 2000), se transformando em atributos evolutivos regressivos e construtivos (GNASPINI; TRAJANO, 2000; TRAJANO; BICHUETTE, 2006). Os troglomorfismos mais comuns são a redução, ou completa ausência de olhos, e a despigmentação cutânea. Porém, nem todos os troglomorfismos são regressivos, existindo vários denominados de caracteres derivados. Os mais evidentes estão relacionados com os sistemas sensoriais não-visuais. Indivíduos cavernícolas podem apresentar um aumento das superfícies sensoriais o que resulta num maior número de unidades sensoriais. No caso dos artrópodes observa-se o prolongamento das antenas, pernas e pedipalpos, e, conseqüentemente, aumentando também o número de sensilas. Este fenômeno é conhecido como compensação sensorial (GNASPINI; TRAJANO, 2000; TRAJANO; BICHUETTE, 2006). A redução das taxas metabólicas e reprodutivas também é comum em ambientes cavernícolas, e isso ajuda na conservação de energia garantindo a sobrevivência em um ambiente geralmente pobre em recursos (TRAJANO; BICHUETTE, 2006).

Existem inúmeras teorias que tentam explicar o aparecimento dos troglomorfismos, porém duas delas são bem suportadas atualmente, elas são conhecidas como a Teoria Neutralista e Teoria da Pleiotropia (GNASPINI; TRAJANO, 2000; POULSON; CULVER, 1969; TRAJANO; BICHUETTE, 2006).

A Teoria Neutralista leva em conta o fato de que mutações deletérias são mais comuns do que as construtivas. Ou seja, as mutações frequentemente têm maior efeito de desorganização do que de aperfeiçoamento. Estas mutações deletérias são mais comuns em estruturas complexas como olhos, e ocorrem aleatoriamente afetando negativamente os indivíduos e sua capacidade de reprodução, e consequentemente a passagem de seus genes para a próxima geração.

Porém quando ocorre uma mudança no hábito populacional (a migração para um ambiente subterrâneo, por exemplo) essas estruturas passam a não ser essenciais. Isso faz com que as mutações deletérias sejam selecionadas e aumentem rapidamente, pois são mais comuns que as construtivas (POULSON; CULVER, 1969; TRAJANO; BICHUETTE, 2006). Por outro lado, a Teoria da Pleiotropia explica que determinados caracteres positivamente selecionados acabam afetando negativamente outros caracteres no mesmo indivíduo. Foi observado em alguns invertebrados cavernícolas uma relação inversamente proporcional entre o tamanho dos olhos e o tamanho das antenas. Indivíduos com antenas maiores possuem olhos menores. Isso indica uma competição nas células que dão origem a estruturas sensoriais, resultando em uma seleção indireta (POULSON; CULVER 1969; TRAJANO; BICHUETTE, 2006).

Com base em proposições ecológicas-evolutivas, um sistema de classificação de invertebrados foi proposto por Schiner (1854) e modificado por Racovitza (1907), conhecido como sistema de classificação Schiner-Racovitza, sendo amplamente utilizado até hoje. O sistema compreende três categorias: 1. Trogloxenos que são organismos periodicamente encontrados no meio subterrâneo, porém necessitando retornar ao meio epígeo para completar o seu ciclo de vida; 2. Troglófilos, são aqueles que se comportam como cavernícolas facultativos capazes de completar seu ciclo de vida tanto no meio subterrâneo quanto no epígeo; 3. Troglóbios que são restritos ao meio hipógeo e normalmente apresentam um alto nível de troglomorfismos associados ao isolamento do meio subterrâneo, e são incapazes de completar seu ciclo de vida fora das cavernas (POULSON; CULVER 1969; TRAJANO; BICHUETTE, 2006).

A fauna cavernícola brasileira é composta por uma alta gama de espécies, com mais de 1.200 taxa descritos, e muito mais ainda por descrever (TRAJANO; BICHUETTE, 2006). Podemos destacar a presença de inúmeros invertebrados detritívoros tais como grilos (majoritariamente Phalangopsidae), baratas, ácaros, Isopoda, Collembola, Diplopoda e larvas de Coleoptera e Diptera (TRAJANO; BICHUETTE, 2006).

Esses invertebrados acabam servindo de alimento para outros organismos predadores, como aranhas, pseudoscorpíões, ácaros predadores, quilópodes e ambliptígijs (PINTO-DA-ROCHA, 1993; TRAJANO; BICHUETTE, 2006). Quanto aos vertebrados, ocorrências de peixes são comuns, principalmente em se tratando de siluriformes (TRAJANO; 2021). Algumas aves, como corujas, andorinhões e urubus, além de alguns anfíbios, são menos frequentes, embora possam fazer o uso das cavernas em busca de abrigo, especialmente em regiões próximas às entradas (TRAJANO; BICHUETTE, 2006). As comunidades de morcegos por sua vez, representam quase a totalidade de indivíduos dentro das cavernas. Em Bat caves, o número de indivíduos é muito grande, podendo chegar a quinze mil, ou até superar esse valor. Nessas cavernas, o principal recurso disponível para a comunidade de invertebrados se dá pelas fezes dos morcegos, conhecidas como guano (GNASPINI; TRAJANO, 2000; TRAJANO; BICHUETTE, 2006).

Os organismos que utilizam o guano diferem em alguns aspectos dos outros habitantes do ambiente subterrâneo (TRAJANO; BICHUETTE, 2006). Devido a estes hábitos particulares, existe uma classificação taxonômica diferenciada delas. Essa classificação inclui duas categorias: os *guanóbios*, cujos indivíduos dependem exclusivamente do guano para sua manutenção e não são encontrados em outros substratos; e os *guanófilos*, que são capazes de completar seu ciclo de vida tanto no guano quanto em outros substratos (GNASPINI; TRAJANO, 2000; TRAJANO; BICHUETTE, 2006). Dentre os mais comuns invertebrados no guano estão os ácaros, que podem ser detritívoros ou predadores, capazes de formar colônias compostas por milhares de indivíduos (GNASPINI; TRAJANO, 2000; PELLEGRINI; FERREIRA, 2013). Além desses, outros invertebrados são comumente encontrados em guano de morcegos, como os colêmbolos (Entomobryidae e Hypogastruridae) e coleópteros detritívoros (Tenebrionidae, Leiodidae, Histeridae e Dermestidae). Ainda, besouros predadores, como Carabidae, são encontrados consumindo animais detritívoros associados ao guano, além de aranhas (Theridiidae, Pholcidae e Sicariidae), pseudoscorpíões (Majoritariamente Chernetidae) e hemípteros (Reduviidae). No guano fresco também é comum encontrar grandes populações de larvas de Diptera (Phoridae, Drosophilidae e Milichiidae) e detritívoros facultativos que utilizam o guano com recurso alimentar na indisponibilidade de outros recursos primários, a exemplo de Diplopoda e Isopoda (FERREIRA, 2019; PINTO-DA-ROCHA, 1993; TRAJANO; BICHUETTE, 2006).

Referências

- ALVES, J. Caatinga do Cariri Paraibano. **Genomos** 2009. v. 17, n. 1, p. 19–25.
- ARAÚJO, F.; RODAL, M.; BARBOSA, V. **Análise das variações da biodiversidade do bioma caatinga: suporte a estratégias regionais de conservação**. 2005.
- AULER, A.; PILÓ, L. **Introdução a espeleologia**. 2011.
- AZEVEDO, I.; BERNARD, E. Avaliação do nível de relevância e estado de conservação da caverna “ Meu Rei ” no parna Catimbau. **Revista Brasileira de Espeleologia**, 2015. p. 1–23.
- BARR, T.; HOLSINGER, J. R. Speciation in cave faunas. **Annual review of ecology and systematics**. Vol. 16, 1985. v. 37, p. 313–337.
- BAZZAN, T.; ROBAINA, L.; PIRES, F. Mapeamento de Unidades Geológico-Geomorfológicas da Bacia Hidrográfica do arroio Curuçu-RS. **Anais do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia e IAG Conferência Regional de Geomorfologia. Goiânia**, 2006. p. 1–11.
- BENTO, D.; PROUS, X.; FERREIRA R.; SOUZA-SILVA M. Seasonal variations in cave invertebrate communities in the semiarid Caatinga, Brazil. **Journal of Cave and Karst Studies**, 2016. v. 78, n. 2, p. 61–71.
- ARAÚJO FILHO, J. C. de. Relação solo e paisagem no bioma Caatinga. Simpósio brasileiro de geografia física aplicada, 2011, **Anais Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Recife, PE: Embrapa Solos, 2011. 23 p.
- CURL, L. R. On the definition of a cave.pdf. **The national speleological society**, 1964. v. 26, n. 1, p. 1–6.
- FERNANDO, C.; MARTINS, C. Abelhas da Caatinga: biogeografia, ecologia e conservação. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 2003, p. 75–114.
- FERREIRA, R.; MARTINS, R. Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities, with special reference to Brazilian caves. **Tropical Zoology**, 1999. v. 12, n. 2, p. 231–252.
- FERREIRA, R.; PROUS X.; BERNARDI.; SOUZA-SILVA, M. Fauna subterrânea do estado do Rio Grande do Norte : Caracterização e impactos. **Revista Brasileira de Espeleologia**, 2010. v. 1, n. 1, p. 25–51.
- FERREIRA, R. Guano communities. In: CULVER, D. WHITE, W. **Encyclopedia of caves** Amsterdam: Elsevier, 2019. p. 474-484
- FERREIRA, R.; MARTINS, R.; YANEGA, D. Ecology of bat guano arthropod

- communities in a Brazilian dry cave. **Ecotropica**, 2000. v. 6 n. 2
- GARIGLIO, M.; SAMPAIO, E.; CESTARO, L.; KAGEYAMA, P.; **Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga**. Serviço Florestal Brasileiro: Brasília, 2010 p. 2-369.
- GNASPINI, P.; TRAJANO, E. Guano communities in tropical caves. **Ecosystems of the World: Subterranean Ecosystems**. 2000. v. 13, p. 251–268.
- GUEDES, R.; ZANELLA, F. C. V.; GROSSI, P. C. Composição e riqueza de espécies de uma comunidade de Coleoptera (Insecta) na Caatinga. **Ihenringia, Série Zoologia**, 2019. v. 109, p. 2–14.
- HÜPPOP, K. Adaptation to low food. **Encyclopedia of Caves**. 2005.
- LADLE, R. J. *et al.* Unexplored Diversity and Conservation Potential of Neotropical Hot Caves. **Conservation Biology**, 2012. v. 26, n. 6, p. 978–982.
- LEAL, I. R. *et al.* Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, 2005. v. 1, n. 1, p. 8.
- TABARELLI, M.; SILVA, J. M. DA. **Ecologia e conservação da Caatinga**., 2003.
- MAMMOLA, S. Finding answers in the dark: caves as models in ecology fifty years after Poulson and White. **Ecography**, 2019. v. 42, n. 7, p. 1331-1351. <https://doi.org/10.1111/ecog.03905>
- MAMMOLA, S.; AMORIM, I. R.; BICHUETTE, M. E.; BORGES, P. A.; CHEEPHAM, N.; COOPER, S. J.; CARDOSO, P. Fundamental research questions in subterranean biology. **Biological Reviews**, 2020. v. 95, n. 6, p. 1855-1872. <https://doi.org/10.1111/brv.12642>
- MARIA, J.; CLÁUDIO, L.; BARBOSA, F. Impact of Human Activities on the Caatinga. In: SILVA, J.; LEAL, I.; TABARELLI, M. **Caatinga: The largest tropical dry forest in South america**, Nova York: Springer 2017, p. 359–368.
- MEDELLIN, R. ; WIEDERHOLT, R.; LOPEZ-HOFFMAN, L. Conservation relevance of bat caves for biodiversity and ecosystem services. **Biological Conservation**, 2017. v. 211, p. 45–50. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2017.01.012>.
- MORATELLI, R.; DIAS, D. new species of nectar-feeding bat, genus *Lonchophylla*, from the Caatinga of Brazil (Chiroptera, Phyllostomidae). **ZooKeys**, 2015. v. 514, p. 73–91.
- NIMER, E. Climatologia da Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, 1972, n. 2. p. 3–136.

- OLIVEIRA, A. J.; GONÇALVES, R. P.; BONVICINO, R. C. Mamíferos da Caatinga. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. In LEAL, I; TABARELLI, M; SILVA, J; **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2003, p. 275–358.
- OTÁLORA-ARDILA, A.; TORRES, J.; BARBIER, E.; PIMENTEL, N.; LEAL, E.; BERNARD, E.; Thermally-Assisted Monitoring of Bat Abundance in an Exceptional Cave in Brazil's Caatinga Drylands. **Acta Chiropterologica**, 2019. v. 21, n. 2, p. 411–423.
- PAGLIA, A. P.; FONSECA, A. B. G.; RYLANDS, A. B.; CHIARELLO, G. A.; LEITE, Y.; COSTA, P. L.; SICILIANO, S.; KIERULFF, M. C.; MENDES, L. S.; TAVARES, C. V.; MITTERMEIER, R. A.; PATTON, L. J.; Lista Anotada dos Mamíferos do Brasil / Annotated Checklist of Brazilian Mammals. **Conservation International**, 2012. n. 6, p. 1 - 74.
- PECK, S. B.; RUIZ-BALIÚ, A. E.; GARCÉS GONZÁLEZ, G. F. The cave-inhabiting beetles of Cuba (insecta: Coleoptera): Diversity, distribution and ecology. **Journal of Cave and Karst Studies**, 1998. v. 60, n. 3, p. 156–166.
- PELLEGRINI, T.; SALES L.; AGUIAR P.; FERREIRA R. Linking spatial scale dependence of land-use descriptors and invertebrate cave community composition. **Subterranean Biology**, 2016. v. 18, p. 17–38.
- PELLEGRINI, T; FERREIRA, R. Structure and interactions in a cave guano-soil continuum community. **European Journal of Soil Biology**, 2013. v. 57, p. 19–26. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejsobi.2013.03.003>.
- PEREIRA, M.; SILVA, A.; CÉZAR, F. Management of the caatinga for the production of goats and sheep. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, 2013. v. 14, n. 1, p. 77–90.
- PINTO-DA-ROCHA, R. Invertebrados cavernícolas da porção meridional da província espeleológica do Vale do Ribeira, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, 1993. v. 10, n. 2, p. 229–255.
- POULSON, T.; CULVER, D. Diversity in Terrestrial Cave. **Ecological Society of America**, 1969. v. 50, n. 1, p. 153–158.
- POULSON, T.; WHITE, W. The cave Environment **Science**, 1969. v. 165, n. 3897, p. 971–981.
- PRADO, D. As Caatingas da América do Sul In LEAL, I; TABARELLI, M; SILVA, J; **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco

2003, p. 3–58.

ROCHA, P.; FEIJÓ, A.; PEDROSO.; FERRARI, S.; First record of the big free-tailed bat, *Nyctinomops macrotis* (Chiroptera, Molossidae), for the semi-arid caatinga scrublands of northeastern Brazil. **Mastozoología Neotropical**, 2015. v. 22, n. 1, p. 195–200.

RODRIGUES, TREFAUT, M. Herpetofauna da Caatinga. In LEAL, I; TABARELLI, M; SILVA, J **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 2003, p. 181–229.

ROSA, R.; MENEZES, N.; BRITSKI, H.; COSTA, W.; GROTH, F. Diversidade, padrões de distribuição e conservação dos peixes da Caatinga. In LEAL, I; TABARELLI, M; SILVA, J; **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2003, p. 135–162.

SCHUCKNECHT, A.; ERASMI, S.; NIEMEYER, J. Assessing vegetation variability and trends in north-eastern Brazil using AVHRR and MODIS NDVI time series. **European Journal of Remote Sensing** 2017. v. 46 p. 40-59

SILVA, J.; SOUZA, M.; BIEBER, A.; CARLOS, C.; Aves da Caatinga: Status, uso do habitat e sensibilidade. In LEAL, I; TABARELLI, M; SILVA, J; **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco 2003, p. 237–247.

SKET, B. **Diversity in Dynaric Karst**. 2005.

TABOADA, S. G. **Los murciélagos de Cuba**. Havana: Editorial Academia 1979, p. 1-489.

TRAJANO, E. Diversity of Brazilian troglobitic fishes: models of colonization and differentiation in subterranean habitats. **Diversity**, 2021 v. 13, n. 3, 106; <https://doi.org/10.3390/d13030106>

TRAJANO, E. Fauna cavernícola brasileira: composição e caracterização preliminar. **Revista Brasileira de Zoologia**, 1986. v. 3, n. 8, p. 533–561.

TRAJANO, E; BICHUETTE, M. **Biologia subterrânea**. 2006. V. 53.

TRAJANO, E; GNASPINI-NETTO, P. Composição da fauna cavenícola brasileira, com uma análise preliminar da distribuição dos taxons. **Revista Brasileira de Zoologia** 1991. v. 7, n. 3, p. 383–407.

MESQUITA D.O., COSTA G.C., GARDA A.A., DELFIM F.R. Species Composition, Biogeography, and Conservation of the Caatinga Lizards. In: Silva J.M.C., Leal I.R., Tabarelli M. (2 eds) **Caatinga**. Springer, Cham, 2017

CAPÍTULO 1

Community patterns of invertebrates associated with insectivorous bat's guano deposits on Brazilian semiarid.

Gabriel de Souza Ghedin¹ Thais Giovannini Pellegrini² Leopoldo Ferreira de Oliveira Bernardi²

Luciana Iannuzzi¹

¹Federal University of Pernambuco, Biological Sciences Center, Av. Professor de Moraes Rego, Recife, Pernambuco State, Brazil

²Federal University of Lavras, Center of studies on Subterranean Biology, District Aguenta Sol, Lavras, Minas Gerais State, Brazil

Introduction

Subterranean spaces penetrable by men are considered a cave (Conama 2004). Several characteristics are inherent to them, such as the absence of light as the most striking feature. When compared to the external habitats in which they are inserted, caves are simplified environments, but with important ecological, biogeographical, and evolutionary features (Poulson and White 1969). The reduced range of variation of abiotic characteristics such as temperature, humidity and space restriction create a unique environment (Hüppop 2005), reflecting a high rate of endemism in caves.

Cave fauna is highly specialized, the lack of photosynthetic organisms restricts the provision of food resources, resulting in oligotrophic caves sustained mainly by allochthonous resources (Trajano and Bichuette, 2006). Physical agents like wind and rivers carry the organic matter into caves, but animals are also capable of doing this function. Bat communities represent almost all inhabitants inside the caves. That community differs according to the characteristics of the caves and the landscapes where they are located (Barros 2018). Environmental stability, humidity, structural features, and cave size favor the occurrence of many bat species in a cavity (Barros 2018). Bats provide a series of ecosystem services, insectivorous bats perform insect predation (Medellin et al. 2017), while frugivorous bats promote seed dispersal (Meyer et al. 2010), among other services. In some cases, the colonies can reach millions of individuals, these caves are called Bat caves (Ferreira, 2019). Some Bat caves hold unique microclimatic characteristics, with chambers maintaining temperatures of 40°C, due to the body heat emitted

by bats (Ladle et al. 2012). These caves are called Hot caves and usually holds badly ventilated chambers with only one and usually small entrance (Ladle et al. 2012).

Bat guano is one of the principal resources used by invertebrates in caves (Barr and Holsinger 1985; Ferreira 2019), acting in the structuring of the community (Ferreira et al. 2000; Gnaspini and Trajano 2000; Pellegrini and Ferreira 2013). The colonies differ according to the characteristics of the caves and the landscapes where they are located (Barros 2018). Environmental stability, humidity, structural features and cave size favor the occurrence of many bat species in a cavity (Barros 2018). Likewise, these characteristics influence the size of the colony, in some cases the colonies can reach more than 5,000 individuals, these caves are called Bat caves (Azevedo and Bernard, 2015). Bats provide a series of ecosystem services, insectivorous bats perform the insect predation (Medellin et al. 2017), while frugivorous bats promote seed dispersal (Meyer et al. 2010), among other services. Some Bat caves hold unique microclimatic characteristics, with chambers maintaining temperatures of 40°C, due to the body heat emitted by bats (Ladle et al. 2012). These caves are called Hot caves and usually holds badly ventilated chambers with only one and usually small entrance (Ladle et al. 2012).

Besides the bat guano, other factors are responsible to dictated patterns of the invertebrate community. Cave intrinsic factors like the stability of the environment, diversity of substrates and presence of water bodies show key importance in shaping these communities (Simões et al. 2015; Jaffé et al. 2018). Brazilian semiarid show strong seasonal variation, the caves in turn tend to present a higher environmental stability and lower seasonal variation of biological communities (Bento et al 2016). On a smaller spatial scale, the greater the structural complexity of the substrate, the greater the availability of shelter and food resources, increasing the density and species richness (Poulson and Culver 1969), which influence on the structure of invertebrate communities in caves (Pellegrini et al 2016). In the same way, extrinsic factors such as soil type, size of the karst area, latitudinal and climatic features, may influence the invertebrate community (Bento et al. 2016; Pellegrini and Ferreira 2016; Jaffé et al. 2018; Mammola et al. 2019). Landscape changes in the cave surroundings and macroecological features are responsible for dictating patterns in the cave community (Tscharntke et al. 2012; Bento et al. 2016; Pellegrini and Ferreira, 2016). The latitudinal distance of the caves influences community turnover, this effect is more pronounced in obligatory cave-dwelling species – troglobites – (Mammola et al. 2019). Measuring this scale facilitates the compression of diversity patterns on a large geographic scale (Stoch and Galassi 2010). Climate change also

affects cave-dwelling communities, since they are adapted to constant temperatures, in addition, many of these species have low dispersal capacity (Mammola et al. 2018). Studies have already shown the correlation between the distribution patterns of cave-dwelling species and past climatic events, especially associated with the latitude in the temperate region (Culver and Pipan 2010; Zagamajster et al. 2014; Mamolla and Leroy 2017).

To understand the patterns of the cave community in a large spatial distribution, the use of Caatinga caves is interesting, as this ecosystem extends from 5°16' latitude north, to 33°45' latitude south. Besides that, Brazilian semiarid holds important characteristics for conservation purposes (Leal et al. 2005, Oliveira and Bernard 2017). The rainy period is very restrictive, with the precipitation concentrated in three months of the year, and the higher temperatures and evapotranspiration rates in Brazil (Steege and Hammond, 2001). These characteristics influence in the evolution of the local biota, resulting in high rates of endemism (Leal et al. 2005). Depending on the environmental conditions of the caves, they can become true “subterranean oasis in the Brazilian semiarid region” according to Bento et al. (2021).

During this study we intend to verify the influence of the abiotic factors of the caves from the Brazilian semiarid in the invertebrate communities associated with insectivorous bat guano piles. Specifically, we tested how the temperature and humidity of guano piles and cave chambers, environmental stability index (ESI) and horizontal projection can affect in the structure of these invertebrate communities. Furthermore, we investigated whether the latitude of the caves can interfere with the richness of the cave's invertebrates. We tested two hypotheses, 1) Due to the high temperatures of the Hot caves, the invertebrate communities associated with the guano deposits have a different composition from the non-hot guano communities. 2) We expect to find greater invertebrate richness associated with higher values of temperature, humidity, environmental stability, horizontal projection of the cave and lower latitude. Finally, we investigate whether there is a pattern of niche occupation among the most abundant and well-distributed mite species in the guano piles.

Methods

Study area

The study was carried out in seven Bat caves (~10 to ~158 thousand individuals), of which two were considered Hot caves, distributed in the states of Sergipe, Rio Grande do Norte and Ceará, northeastern Brazil (Table 1). Hot caves are those with at least one chamber that can reach temperatures higher than 40° (Ladle et al. 2012). The horizontal projection of the caves ranged from 80m (Gruta do Arnold) to 235m (Gruta do Sobradinho), and most of the caves are of limestone lithology, except for Boqueirão de Lavras da Mangabeira II whose lithology is quartzite.

Sampling of invertebrates

For each one of the caves, we realized one sampling event during the rainy period of 2019, since in this period the chances of finding a greater species diversity in the Brazilian semiarid increase (Vasconcellos et al. 2010; Bento et al. 2016). Three chambers per cave were chosen and a sample with 100ml of insectivorous bat guano was collected per chamber. We sampled on different chambers to obtain temperature variation in the same cave, in each cave we included the chamber with higher temperature's values in the sampling designing. Samples were placed on Berlese-Tullgren funnel's extractors to collect invertebrates. Although the best extraction time is 48 hours, it was not possible to extract for that long due to field logistics. Instead, we use the 24-hour extraction time. According to Carlton and Bremner (2015) a longer extraction time would only result in a greater number of individuals and not more species richness. Therefore, we only work with the presence and absence of species in the data analysis. We also realized invertebrate sampling through direct intuitive searches and manually collections (Wynne et al. 2019) in order to obtain a more accurate sampling for each cave. All the collected specimens were preserved in vials containing 70% alcohol. In the laboratory the collected material was screening and identified under stereomicroscope using the taxonomic keys (Adis 2002; Baccaro 2006; Triplehorn and Johnson 2011; Albertino 2012). The taxonomic identification went under the lowest taxonomic level possible and then morphospecies were designated in order to obtain data on species richness (Oliver et al. 2014).

For mites, the most diverse and abundant group in bat guano deposits, we mounted the individuals on glass slides in Kayser glycerol gelatine using standard procedures developed by

Walter and Krantz (2009). The same procedure was applied for the springtails. For mites and springtails identification we followed Walter and Krantz (2009) and Christiansen et al. (2020), respectively.

Abiotic variables

The following abiotic data were collected from the caves: 1) Temperature and humidity - were measured temperature and humidity of each guano deposit and from each chamber where the deposits were inserted. For this we use a thermo hygrometer; 2) Horizontal projection of the caves - to obtain the horizontal projection measure of the caves we follow the normative instruction MMA Nº2 (MMA 2009). With the aid of a laser tape, we measured this extension from the entrance of the cave to its end (see Häuselmann 2012). For the Boqueirão de Lavras da Mangabeira II, due to its last chamber extremely high temperature, the access is impossible and this chamber was not considered; 3) “Environmental Stability Index” (ESI) - We follow Bento et al. (2016) and Pellegrini et al. (2016) in order to obtain the ESI of the caves, which considers the horizontal projection, arrangement, number and size of entrances of the caves; 3) Latitude of the caves - this measured was obtained by consulting the Center of national research and conservation of caves – National register of speleological information (<http://www.icmbio.gov.br/cecav>).

Data analyses

In order to compare the species composition between Hot caves and not Hot caves we used an exploratory analysis of direct ordering and a non-metric multidimensional scaling (nMDS) analysis using the Jaccard method. This method considers only the presence and absence of species found in each cave. For that we utilized the METAMDS function of the Vegan package (Oksanen et al. 2020). To point out significant differences in the formed groups we used the analysis of similarity by the ANOSIM (Oksanen et al. 2020) function of the same package.

To assess which parameters, determine the richness of species associated with guano deposits using each Berlese-Tullgren funnel as a sample unit, we first separate the variables into groups according to spatial scale. Separating at different spatial scales can provide important information about community turnover patterns in caves. (Mammola et al. 2019). On a broad

scale, the only predictable variable to explain the richness of bat deposits was latitude. On a local scale the horizontal projection and the ESI of the cave were the explanatory variables.

Finally, on a small spatial scale, predictable variables included temperature and humidity (of chambers and deposits). We then built separate models, one for each spatial scale group, Generalized Linear Models (GLM) and Generalized Mixed Linear Model (GLMM). In order to follow the procedures for models constructing, we first verified the normality of the species richness data using the Shapiro-Wilk test, using the SHAPIRO.WILK function from STATS package (R Core Team 2019). We also verified the correlation between variables for spatial scales with more than one predictable variable (local and small scales), using the CHART.CORRELATION of the PERFORMANCEANALYTICS package (Peterson and Carl 2020). Then GLM were constructed for the broad and local scales using the GLM.NB function from the MASS package, since the binomial negative family has the best fit for these models. For the smaller spatial scale, we build a GLMM using the cave as a random variable through the GLMER function and the LME4 package. The poisson family has the best fit for the small spatial scale model. After constructing the models, we used the DREDGE function from the MUMIN package (Barton 2020) and tested all the possible combinations included in the global model. We only consider the models that presented delta value less than two. All the analyses were made using the R program in the 3.6.2 version (R Core Team 2019).

We evaluated the niche selection using a multivariate approach considering the seven most abundant Acari species of the researched caves. We performed the Outlying Mean Index (OMI) analyses, that measures the marginality between the environmental conditions and the total sampled areas providing a visual representation based on three useful indexes: the niche of marginality, the tolerance value, and the residual tolerance. The first one allocates the generalist species closest to a centroid, as higher the index value the most dislocated off the centroid are the species, indicating that they aren't generalists. The tolerance index shows the generalist species; the higher the index values put the generalist ones closest to centroid. And the residual tolerance determines the confidentiality of the niche variation (Dolédec et al. 2000; Martins and Ferreira 2020). For this analysis, we used all the environmental variables used in the previous analyzes and also added the bat species richness found in each of the caves.

Results

Invertebrate community associated to the bat guano piles

A total of 15,265 invertebrates individuals of 169 species were collected in seven caves in the Caatinga. The most representative taxa were Arachnida and Insecta (Arachnida: N=13684; 89.6% of total; Insecta: N=1542; 9.5% of total). Acari (Arachnida) stood out with 13590 individuals (90% of total arachnids). Among the Acari, *Antricola inexpectata* Estrada-Penã, Barros-Battesti & Venzal, 2004 (Ixodida), *Trichouropoda* sp., Uropodina sp.3 (Merostigmata) and Glycyphagidae sp.1 (Sarcoptiformes) appears in four of the seven sampled caves. Diptera (Insecta) stood out with 711 individuals (46% of total insects), followed by Coleoptera with 699 (45%), which together represented 90% of the total number of insects. Among the Coleoptera, one species deserves mention, *Alphitobius diaperinus* (Panzer, 1797) (Coleoptera, Tenebrionidae) was recorded in four caves, with a remarkable number of individuals (N = 440; 22% of the total) (Figure 4-5).

Regarding species richness, Acari had the highest number, with 74 species/morphospecies belonging to four orders: Mesostigmata (S = 37), Sarcoptiformes (S = 21), Ixodida (S = 11) and Trombidiformes (S = 5). Uropodina (S = 8) was the richest suborder of Acari appearing in six of the seven caves. The Insecta were distributed in 59 species/morphospecies, among which 21 are Diptera and 19 are Coleoptera. Two studied caves stood out for their high richness values. The Hot cave Boqueirão de Lavras da Mangabeira II detained 37 species and Furna Feia with 33.

Some species were collected only through manual collection. *Heterophrynus* sp (Arachnida, Amblypygi) (N=3) was only found in Furna Feia and Nicoletiidae sp (Insecta, Zygentoma) (N=11), whose individuals were found in Boqueirão de Lavras da Mangabeira II. It is worth mentioning that the silverfish together with the springtail Paronellidae sp.1 species were the only organisms that showed troglomorphic characteristics among all the species collected in the caves under study.

Environmental drivers of the community

When comparing the species composition between the Hot caves with the others, we found no significant difference (Ranosim = 0.07273 and $P = 0.47619$). For species richness analyses it is noteworthy that the humidity of the chamber and of the guano deposit was highly correlated (spearman = 0.99%), these variables were analyzed in separated models and compared a posteriori. According to the performed GLM's tree models show a positive correlation with the richness in the guano deposits (Fig. 2). The predictable variables that can better explain the richness values were the temperature of the deposit and the humidity of the chamber (Table 2). None of the parameters evaluated on a local and broader scale (ESI, cave size and latitude) were able to explain the richness of species associated with guano deposits.

Niche use by the most abundant species

The six most abundant Acari species selected for the OMI analysis were *Antricola inexpectata*, *Antricola guglielmonei*, Rosensteniidae sp.1, *Tyrophagus* sp.1, *Trichouropoda* sp. e *Guanolichidae* sp.1. Four of them, *A. inexpectata* (OMI = 11,5544), *A. guglielmonei* (OMI = 12,2407), *Trichouropoda* sp. (OMI = 8,4778) and *Tyrophagus* sp.1 (OMI = 15,1764) are the most generalist species pointed by the lowest niche marginality values. But even these species were not distributed across all sampling units, showing a preference for certain types of habitats. The two analyzed *Antricola* species were slightly more associated with caves with a more stable environment and mainly with Sobradinho cave. *Trichouripoda* sp. and *Tyrophagus* sp.1 were slightly more associated with higher values of temperature, pH and latitude. The other species, *Guanolichidae* sp.1 (OMI = 46,0515) and *Rosensteniidae* sp.1 (45,3670) were the ones with higher niche marginality values, comprising the most specialized species among the analyzed ones. These two mite species were preferentially associated with the Boqueirão de Lavras da Mangabeira II cave. The overall OMI analysis was able to explain significantly ($p = 0.001$) the distances between the habitat conditions and the habitat used by the evaluated species (Fig. 2, Table 3).

Discussion

Historically, studies on the biology of bat guano in caves have focused on invertebrate patterns in relation to physical-chemical conditions of the guano pile, checklists and the description of food webs, none addressing aspects related to a set of abiotic variables as predictors of invertebrate communities nor issues related to Hot caves (Ferreira and Martins 1999; Gnaspini and Trajano 2000; Moulds 2004; Salgado 2011; Pellegrini and Ferreira, 2013). Here we show that the invertebrate community composition is not influenced to the high temperatures of Hot caves, refuting our first hypothesis. In the other hand it is shown that some abiotic factors, as temperature of the chambers and temperature of the guano, affect slightly the richness of invertebrates, partially corroborating the second hypothesis. Finally, we verified that there is a pattern of niche occupation by the most abundant mite species.

Invertebrate community associated to the bat guano piles

As expected, Acari were the most abundant and with higher richness group in the insectivorous guano deposits. Mite species are part of a complex food web chain that inhabited caves (Estrada-bárcenas et al. 2010), most of them are related to deposits of organic matter such as plant detritus and bat guano (Estrada-bárcenas et al. 2010). Generally, they also consist in the most diverse group in guano piles with feeding habits ranging from predators to guanophagous (Ferreira et al. 2000; Gnaspini and Trajano 2000; Pellegrini and Ferreira 2013). On the other hand, *Alphitobius diaperinus* (Panzer 1797) (Insecta, Tenebrionidae) was present in four caves with large numbers of individuals. This species requires high and stable temperature and humidity for development and survival (Chernaki and Almeida 2001), and these conditions are present in the Caatinga caves. Indeed, *A. diaperinus* is commonly reported as pest of poultry industry (Valle et al. 2016), but is considered omnivorous species, feeding on fungi and carcasses (Japp et al. 2010), justifying the high abundance of these beetles associated to insectivorous bats guano deposits.

Environmental drivers of the community

Refuting our first hypothesis, the species composition was not different between Hot cave and not Hot cave. This unique stable microclimate, with abundant food resources permits

the harbour of a high diversity of invertebrates (Ladle et al. 2012). Despite the existence of specialized invertebrates in the guano of specific bats (Gnaspini-Netto 1989a, 1992b), this specific relationship is not known for the environmental conditions found in hot caves. The lack of species with specific preferences for Hot caves leads to a lack of compositional patterns. We believe that as the caves sampled are within the Caatinga, the invertebrates probably already have pre-adaptations to very warm systems, because of the average temperature in the semiarid reaching 27° pear year (EMBRAPA, 2016). Therefore, this factor was not a determining factor for the species composition. However, if more caves with chambers with higher temperature differences were added to the analysis, we could have found a robust pattern to assert whether there is a difference between invertebrate community structure in Hot caves.

Although species composition was not different between Hot cave and not Hot cave, we could observe high diversity of invertebrates associated to Hot caves. The relationship between richness and Hot caves was not tested statistically in this study, but the Hot cave Boqueirão de Lavras da Mangabeira II was found to be the richest. This cave has the highest values of temperature and humidity, with the second largest number of bats (~98.000; Bernard, *pers. comm*), being behind only from the Casa de Pedra cave (~137.000; Bernard, *pers. comm*). Due to the accelerated metabolism of bat's, they must eat every night. Also, the rapid intestinal transit, make they defecate almost 60 times per day (Ribeiro *et al.*, 2012). Huge colonies, as occurs at Boqueirão de Lavras da Mandabeira II, can produce an amount of guano capable of altering morphological aspects of the cave (Ghedin *pers. comm.*). The high amounts of guano may explain the richness values encountered (Ferreira and Martins 1999; Ferreira, Rodrigo and Martins 1998; Pellegrini and Ferreira 2013). The entrance region of this cave is characterized by mild conditions of temperature and humidity, with big guano deposits colonized by thousands individual's off *A. diaperinus* and *Antricola* sp. ticks. In the deeper regions, the chambers get warmer, and the humidity reaches the saturation. This indicates that these ticks prefer the mild temperatures of the cave but can support higher temperatures. In the middle of the cave the temperatures are also high, this may suggest that temperature act in the habitat selection of this animals. Previous data suggests that troglone abundance is not correlated with temperature and may be guided by others environmental factors (Tobin et al. 2013). Boqueirão de Lavras II is the only cave of the present study to be formed by the metamorphic rock Quartzite; and it is known that the lithological condition of the cave influences on the invertebrate community's patterns (Silva 2011; Souza-silva et al 2020; Pachecco 2021). Another interesting aspect of this cave is the occurrence of the Nicoletiidae specimens. Despite depigmentation and anophthalmia

been common traits between species in this group, the conditions where the specimens were found, in the very deep portions of the cave, and the harshness of the surface environmental conditions, suggests that it may be an obligate cave dwelling species (*i.e.* troglobite).

Furna Feia was the second cave with the higher invertebrate richness. But has small guano piles when compared to other caves like Boqueirão de Lavras, Casa de Pedra and Gruta do Arnold. Contrary from Boqueirão de Lavras II, Furna Feia contains many Diptera larvae and in some piles stand out over the occurrences of Acari. Diptera is considered a pioneer detritive in guano and, sometimes, reach fresh guano before mites (Ferreira 2019). Furna Feia cave is the most diverse in bat species ($S=10$) (Vargas-mena et al. 2018), being widely represented by *Pteronotus* bats. The great bat diversity contributes for the promotion of different guano substrates and distinct properties for invertebrate's colonization (Pellegrini and Ferreira 2013; Ferreira 2019). Thus, the smaller guano pile area can be compensated by greater substrate heterogeneity, explaining the richness of invertebrates, and the distinct species composition when compared to other caves. Environmental heterogeneity promotes higher niches for the invertebrate community occupy, this can positively influence in the richness of species (Zepon; Bichuette 2017).

According to the GLMs performed, invertebrates' richness was not significantly affected by variation of abiotic variables, and none of the broad scale and local were able to explain the richness patterns on the studied caves, just the species richness was related only to the small-scale assessment. The species richness tended to be greater in warmer chamber and guano deposits and dryer chamber, but this result is contrary to what was expected, because the tendency is that drier guano will be more acidic and thus less occupied by invertebrate communities, reducing the species richness of this group (Ferreira and Martins 1999; Mouds, 2004; Pellegrini and Ferreira 2013). On the other hand, most species that occupies guano are considerate space-resource-dependent (Ferreira and Martins 2001; Pellegrini and Ferreira, 2012), the communities are more fitted to the variations of the local substrate changes than to the broad and local scale variables (Ferreira and Martins 1999; Pellegrini and Ferreira 2013; Ferreira, 2019). For example, some species of mites associated with bat guano are xenophilic (Bernardi *et al.* 2012), which may explain the greater richness found in drier environments.

Niche use by the most abundant species

The niche assessment distinguished the most abundant Acari species in two groups, one more generalist and other more specialists. Among the six species of mites analyzed, *Antricola inexpectata*, *A. guglielmonei*, *Trichouropoda* sp. and *Tyrophagus* sp.1 were the ones that least demanded for specific environmental conditions, going to these species are the most generalist. This result agrees with other studies on the biology of these mites (Bal and Özkan 2007; Labruna et al. 2008 Barbier and Bernard; Dantas-torres, 2020). *Antricola* species are common in Hot caves although are not exclusive to these environments (Ladle. et al., 2012; Barbier et al 2020) and they are hematophagous, histiophagous (Ribeiro et al. 2012) and *Antricola delacruz*i supposedly feed insectivorous bat guano (Ribeiro et al. 2012). *Trichouropoda* is a very cosmopolitan genus (Konwerski et al. 2019). Some species prefer unstable habitats like birds' nests and feed on the guano (Bal and Özkan 2007). The genus also present's phoretic relations with animals like beetles, bats, and birds. This relation allows them to reach bird nests and move to one guano deposit to another (Webster and Whitaker 2005 Konwerski et al. 2019). The *Tyrophagus* genus is composed almost entirely by fungivorous mites (Fan and Zhang, 2007). Bat caves and guano holds innumerable fungi species (Cunha et al. 2020) that can be used by species of this genus as food resource.

The more specific requirements presented by *Guanolichidae* sp.1 and *Rosensteniidae* sp.1 means that these species are more specialized and probably more sensitive to environmental changes. Both species were exclusively associated with the Hot cave Boqueirão de Lavras da Mangabeira II and the thermal feature of this cave may be important for the species since they were only found in this cave. The two species probably use guano as a food resource (Fain, 1968; Fashing, 1980) which may explain the presence in the cave with the biggest guano deposits. *Guanolichidae* is a very specific and rare family of guano mites that only contains four described species (Fain 1968). The body format and structure of legs suggest burrowing habits and chelicerae of in a rake like format are probably used to feed on a nutrient font while burrowing in the guano (Fashing 1980). The family *Rosensteniidae* originally found living in the guano of insectivorous bats of the genus *Cheiromeles* (Fain and Lukoschus 1983). They are also found living associated with *Dermaptera* insects (Fain and Lukoschus 1983) that was observed associated with guano piles of the same cave.

Conclusion

In conclusion, we highlight the importance of microclimate characteristics in small scale in structuring the community associated to guano piles. We also concluded that most of the abundant species of acari do not require specific conditions of occupation of cave habitats and are possibly adapted to the more restrictive conditions of the Caatinga. The results of this study provide the basis for a better understanding of insectivorous bat guano use patterns by cave invertebrates. Understanding these patterns may help to propose good practices for the conservation of caves in the Brazilian Caatinga.

Acknowledgements

We are grateful to the Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES-Brazil) for financing in part this study. We are also grateful to Dr. Enrico Bernard and to all members of the Conservation biology laboratory-UFPE for logistical support during the sampling event and for information about bat populations of the caves to José Iatagan Freitas and Uilson Paulo Campos for the support during field activity. We would like to thank you to Mirella Lima Costa and Maykon Vinicius A. da Silva for the support during screening of the biological material. Finally we wish to thank Antonio Domingos Brescovit, Eder Silva Barbier for helping in the taxonomical identification of some species.

References

- Adis Joachim (2002) Amazonian Arachnida and Myriapoda. Pensoft Publisher, Sofia-Bulgaria 588 pp.
- Azevedo, I, Bernard, E (2015) Avaliação Do Nível De Relevância E Estado De Conservação Da Caverna “ Meu Rei ” No Parna Catimbau. *Revista Brasileira de Espeleologia*. 5: 1–23.
- Barbier E; Bernard E; Dantas-torres F (2020) Ecology of Antricola ticks in a bat cave in north-eastern Brazil. *Experimental and Applied Acarology* 82 (2): 255–264 <https://doi.org/10.1007/s10493-020-00544-9>
- Kamil Barton (2020) MuMIn: Multi-Model Inference. R package version 1.43.17. <https://CRAN.R-project.org/package=MumIn>
- Barr T, C, Holsinger J, R (1985) Speciation in cave faunas. *Annual review of ecology and systematics* 37: 313–337.
- Barros J (2018) Ecologia e conservação de morcegos (Chiroptera) em cavernas no sudeste do Tocantins. Master Thesis, Federal university of Lavras, Lavras, Brazil.
- Bento D, Ferreira L, R, Prous X, Marconi S, Bellini B, Vasconcellos, A (2016) Seasonal variations in cave invertebrate communities in the semiarid Caatinga, Brazil. *Journal of Cave and Karst Studies* (78) 61–71.
- Brian Peterson and Peter Carl (2020) PerformanceAnalytics:Econometric Tools for performance and risk analysis. R package version 2.0.4. <https://CRAN.R-project.org/package=PerformanceAnalytics>.
- Conama (2014) Dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico 176(13) 54–55. https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/downloads/Legislacao/Res_CONAMA_347_2004.pdf.
- Culver C, Pipan, T (2010) Climate, abiotic factors, and the evolution of subterranean life. *Acta Carsologica* 39: 576–586.

- Deharveng L (2005) Diversity patterns in the tropics. In: Culver CD, White WB (Eds) Encyclopedia of Caves. Elsevier Academic Press, Amsterdam, 166-170.
- Dolédéc S, Chessel, D, Gimaret-carpentier C. (2000) Niche separation in community ecology: A new method. Ecology 81: 2914–2927.
- Estrada-bárcenas D, Palacios-Vargas J, Estrada-Venegas E, Klimov P, Mastínez-Mena A, Taylor M (2010) Biological activity of the mite *Sancassania* sp. (Acari: Acaridae) from bat guano associated with the pathogenic fungus *Histoplasma capsulatum*. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, 105: 127–131.
- Fain A, Lukoschus F. (1983) Five new species of Rosensteniniidae (Acarina, Astigmata) from indonesia, associated with bats or with the earwig *Xeniaria jacobsoni*. Zoologische Medelingen. 4: 1-12.
- Fain A. (1968) Deux nouveaux acarines cavernicoles du Gabon (Sarcoptiformes). Extrait de la Biologia Gabonica 2: 195–205.
- Fashing, N. (1980) *Neoguanolichus panamensis*, a new species of Guanolichidae from bat caves in Panama (Acarina, Sarcoptiformes). Acarologia, 21: 108–116.
- Ferreira L, Martins R; Yanega D (2000) Ecology of bat guano arthropod communities in a Brazilian dry cave. Ecotropica 6: 105–106.
- Ferreira R, Bernardi L, Pellegrini T. (2012) New species of *Neoteneriffiola* (Acari: Trombidiformes: Teneriffiidae) from Brazilian caves: Geographical distribution and ecological traits. International Journal of Acarology 38: 410-419.
- Ferreira R, Martins P. (2007) Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities, with special reference to Brazilian caves. Tropical Zoology, 12: 231–252.
- Ferreira R, Prous X, Bernardi L. (2010) Fauna subterrânea do estado do Rio Grande do Norte : Caracterização e impactos. Revista Brasileira de Espeleologia 1: 25–51.
- Ferreira R, Rogério P. (1998) Diversity and Distribution of Spiders Associated with Bat Guano

- Piles in Morrinho Cave (Bahia State , Brazil). *Diversity and Distributions* 4: 235–241.
- Ferreira, R (2019) Guano communities. In *Encyclopedia of Caves*. Elsevier Academic Press, Amsterdam, 474–478.
- Gibert J, Deharveng L (2002) Subterranean ecosystems: A truncated functional biodiversity. *BioScience* 52: 473–481.
- Gnaspini P, Trajano E Guano communities in tropical caves. *Ecosystems of the World: Subterranean Ecosystems* 13: 251–268.
- Hüppop K (2005) Adaptation to low food. In: *Encyclopedia of Caves*. Elsevier Academic Press, Amsterdam, 4–10
- Jari Oksanen, Guillaume Blanchet, Michael Friendly, Roeland Kindt, Pierre Legendre, Dan McGlinn, Peter R. Minchin, R. B. O'Hara, Gavin Simpson, Peter Solymos, Henry Stevens, Eduard Szoecs, Helene Wagner (2020) *Vegan: community ecology package version 2.5.7*. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Jaffé R, Prous X, Calux A, Gastauer M, Nicacio G, Zampaulo R, Souza-filho M, Oliveira G, Brandi V, Siqueira O (2018) Conserving relics from ancient underground worlds: assessing the influence of cave and landscape features on obligate iron cave dwellers from the Eastern Amazon. *PeerJ* 6 1–23 <https://doi.org/10.7717/peerj.4531>
- Konwerski S, Gutowski M, Błoszyk J (2019) Analysis of the phoretic relationships between mites of the genus *Trichouropoda* Berlese (Parasitiformes: Uropodina) and the longhorn beetle *Plagionotus detritus* (Linnaeus) (Coleoptera: Cerambycidae) based on multiannual observations in Białowieża Primeval Forest, Central Europe in *International Journal of Acarology* 45(1–2): 29–40. <https://doi.org/10.1080/01647954.2018.1538257>
- Labruna M, Terassini F, Camargo L, Brandão P, Ribeiro A, Estrada-Peña A (2008) New reports of *Antricola guilielmonei* and *Antricola delacruzi* in Brazil, and a description of a new argasid species (Acari). *Journal of Parasitology* 94: 788–792.

- Ladle R, Firmino J, Malhado A, Rodríguez-Durán (2012) Unexplored Diversity and Conservation Potential of Neotropical Hot Caves. *Conservation Biology*, 26: 978–982.
- Leal I, Silva J, Tabarelli M, Lancher jr T (2005) Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. *Megadiversidade* 1: 1–8.
- Makarova L (2013) Gamasid mites (Parasitiformes, Mesostigmata) of the European arctic and their distribution patterns. *Entomological Review* 93: 113–133.
- Mammola S, Cardoso P, Angyal D, Balázs G, Blick T, Brustel H, Carter J, Srećko C, Danflous S, Dányi L, Déjean S, Deltchev C, Elverici M, Fernández J, Gasparo F Komnenov M, Komposch C, Kovác L, Kadir K, Mock A, Oana M, Naumova M, Pavlek M, Prieto C, Ribera C, Rozwałka R, Vlastimil R, Vargvitch R, Zaenker S, Isaia M (2019) Local-versus broad-scale environmental drivers of continental β -diversity patterns in subterranean spider communities across Europe. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 286: 1–9.
- Mammola S, Cardoso P, Ribeira C, Pavlek M, Isaia M (2018) A synthesis on cave-dwelling spiders in Europe. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research* 56: 301–316.
- Martins, M. Ferreira R (2020) Limiting similarity in subterranean ecosystems: a case of niche differentiation in Elmidae (Coleoptera) from epigeal and hypogean environments. *Hydrobiologia* 847: 593–604. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04123-x>.
- Medellin A, Wiederholt R, Lopez-hoffman L (2017) Conservation relevance of bat caves for biodiversity and ecosystem services. *Biological Conservation* 211: 45–50. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2017.01.012>
- Meyer C, Aguiar L, Aguirre L, Baumgarten J (2010) Long-term monitoring of tropical bats for anthropogenic impact assessment: Gauging the statistical power to detect population change. *Biological Conservation* 143: 2797–2807. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2010.07.029>
- Minor A, Cianciolo M (2007) Diversity of soil mites (Acari: Oribatida, Mesostigmata) along a gradient of land use types in New York. *Applied Soil Ecology* 35: 140–153.

- Napierała A Błoszyk J. (2013) Unstable microhabitats (merocenoses) as specific habitats of Uropodina mites (Acari: Mesostigmata). *Experimental and Applied Acarology* 60: 163–180.
- Oliveira C, Bernard E. (2017) The financial needs vs. the realities of in situ conservation: an analysis of federal funding for protected areas in Brazil's Caatinga. *Biotropica* 49: 745–752
- Oliver I, Beattie A (2014) Designing a Cost-Effective Invertebrate Survey : A Test of Methods for Rapid Assessment of Biodiversity. *Ecological Applications* 6: 594–607
<https://doi.org/10.2307/2269394>
- Owens E; Christopher E (2015) Berlese vs. Winkler: Comparison of Two Forest Litter Coleoptera Extraction Methods and the ECOLI (Extraction of Coleoptera in Litter) Protocol. *The Coleopterists Bulletin* 69: 645–661.
- Pellegrini T, Ferreira R. (2016) Are inner cave communities more stable than entrance communities in Lapa Nova show cave? *Subterranean Biology*. 20: 15–37.
- Pellegrini T, Sales L, Aguiar P, Ferreira R (2016) Linking spatial scale dependence of land-use descriptors and invertebrate cave community composition. *Subterranean Biology* 18: 17–38.
- Pellegrini, T, Ferreira, R. (2013) Structure and interactions in a cave guano-soil continuum community. *European Journal of Soil Biology* 57: 19–26.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejsobi.2013.03.003>
- Poulson L, Culver C (1969) Diversity in Terrestrial Cave. *Ecological Society of America*, 50: 153–158.
- Poulson T, White (1969) The cave environment. *Science* 165: 971–981.
- Ribeiro J, Labruna M, Mans B, Maruyama S, Francischetti I, Barizon G, Santos I (2012) The sialotranscriptome of *Antricola delacruzi* female ticks is compatible with non-hematophagous behavior and an alternative source of food. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 42: 332–342.
- Ruf AA. (1998) Maturity index for predatory soil mites (Mesostigmata: Gamasina) as an

indicator of environmental impacts of pollution on forest soils. *Applied Soil Ecology* 9: 447–452.

Salgado S (2002). Invertebrados associados a guano de morcegos em cavernas do Distrito Federal. Master Thesis, University of Brasília, Brasília, 1-105.

SANTOS, J. C.; MORAES, G. J. De. Taxonomia De Ascidae, Blattisociidae E Melicharidae (Acari: Mesostigmata), Ácaros Potencialmente Úteis Para O Controle De Pragas Agrícolas. 2017.

Silva M, Martins R; Ferreira, R (2011) Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest. *Biodiversity and Conservation* 20: 1713–1729.

Souza-silva M, Iniesta L, Ferreira, R (2020) Cave lithology effect on subterranean biodiversity: A case study in quartzite and granitoid caves. *Acta Oecologica*, 108

Steege H, Hammond D (2001) Character convergence, diversity, and disturbance in tropical rain forest in Guyana. *Ecology* 82: 3197–3212.

Stoch F, Galassi D (2010) Stygobiotic crustacean species richness: A question of numbers, a matter of scale. *Hydrobiologia* 653: 217–234.

Tobin B, Hutchins B, Schwartz B (2013) Spatial and temporal changes in invertebrate assemblage structure from the entrance to deep-cave zone of a temperate marble cave. *International Journal of Speleology* 42: 203–214.

Tscharntke T, Tylianakis J, Rand T, Didham R, Fahrig L, Batáry P, Bengtsson J, Clough Y, Crist T, Dormann C, Ewers R, Frund J, Holt R, Holzschuh A, Klein A, Kleijn D, Kremen C, Landis D, Laurance W, Lindenmayer D, Scherber C, Navjot S, Steffan-Dewenter I, Thies C, Van der Putten W, Westphal C (2012) Landscape moderation of biodiversity patterns and processes eight hypotheses. *Biological Reviews* 87: 661–685.

Vargas-mena J, Cordero-Schmidt E, Bento D, Rodriguez-Herrera B, Medellín R, Venticinque

- E, Diversity of cave bats in the brazilian tropical dry forest of Rio Grande do Norte State. *Mastozoologia Neotropical* 25: 199–212.
- Vasconcellos A, Andreazze R, Almeida A, Araujo H, Oliveira E, Oliveira U (2010) Seasonality of insects in the semi-arid Caatinga of northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia* 54: 471–476.
- Wynne J, Howarth G, Sommer S, Dickson G. (2019) Fifty years of cave arthropod sampling: techniques and best practices. *International Journal of Speleology* 48: 33–48.
- Zagmajster M, Eme D, Fišer C, Galassi D, Marmonier P, Stoch F, Jean-François C, Malard F (2014) Geographic variation in range size and beta diversity of groundwater crustaceans: Insights from habitats with low thermal seasonality. *Global Ecology and Biogeography* 23: 1135–1145.
- Zepon T Bichuette E (2017) Influence of substrate on the richness and composition of neotropical cave fauna. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 89: 1615–1628

Table 1: Subterranean caves of the Brazilian semiarid including location, extension, cave thermal feature, lithology and information about bat colony.

Cave	Municipality (state)	Coordinates	Horizontal Projection	Cave feature	Lithology	Bat species found	Estimated bat abundances
Boqueirão de Lavras da Mangabeira II	Lavras da Mangabeira (CE)	6°42,745'S 38°57,46'W	~200 m	Hot cave	Quartzite	<i>Lonchorhina aurita</i> , <i>Phyllostomus hastatus</i> , <i>Pteronotus gymnonotus</i> , <i>Pteronotus personatus</i> , <i>Peropteryx</i> cf. <i>macrotis</i> , Molossidae, <i>Noctilio albiventris</i> , <i>Noctilio leporinus</i> , Glossophaginae	~98.000
Casa de Pedra	Campo de Brito (SE)	10°50,0517'S 37°27,06'W	210 m	Hot cave	Limestone	<i>Lonchorhina aurita</i> , <i>Phyllostomus hastatus</i> , <i>Pteronotus gymnonotus</i> , <i>Pteronotus personatus</i> , <i>Anoura geoffroyi</i> , <i>Carollia perspicillata</i> , <i>Desmodus rotundus</i> , <i>Glossophaga soricina</i> , <i>Natalus macrourus</i>	~137.000
Caverna do Urubu	Divina Pastora (SE)	10°43,975'S 37°9,935'W	122,34 m	Not hot cave	Limestone	<i>Desmodus rotundus</i> , <i>Glossophaga soricina</i> , <i>Lonchorhina aurita</i> , <i>Phyllostomus hastatus</i> , <i>Pteronotus gymnonotus</i>	~158.500
Gruta do Arnold	João Câmara (RN)	5°26,9167'S 35°53,215'W	80 m	Not hot cave	Limestone	<i>Pteronotus gymnonotus</i> , <i>Carollia perspicillata</i> , <i>Glossophaga soricina</i> , <i>Natalus macrourus</i>	~10.000
Furna Feia	Baraúna (RN)	5°34,3833'S 37°39,145'W	122,34 m	Not hot cave	Limestone	<i>Desmodus rotundus</i> , <i>Glossophaga soricina</i> , <i>Natalus macrourus</i> , <i>Peropteryx</i> cf. <i>macrotis</i> , <i>Peropteryx</i> sp., <i>Artibeus planirostris</i> , <i>Artibeus lituratus</i> , <i>Diphylla ecaudata</i> , <i>Tonatia bidens</i> , <i>Phyllostomus discolor</i> , <i>Furipterus horrens</i>	~19.500
Furna do Urubu	Felipe Guerra (RN)	5°34,3833'S 37°39,145'W	195 m	Not hot cave	Limestone	<i>Pteronotus gymnonotus</i> , <i>Pteronotus personatus</i> , <i>Desmodus rotundus</i> , <i>Peropteryx</i> sp., <i>Artibeus planirostris</i> , <i>Diphylla ecaudata</i> , <i>Tonatia bidens</i> , <i>Eumops</i> sp.	~27.000
Gruta do Sobradinho	Aiuba (CE)	6°38,5917'S 40°5,9517'W	235 m	Not hot cave	Limestone	<i>Lonchorhina aurita</i> , <i>Pteronotus gymnonotus</i> , <i>Pteronotus personatus</i> , <i>Anoura geoffroyi</i> , <i>Carollia perspicillata</i> , <i>Desmodus rotundus</i> , <i>Natalus macrourus</i> , <i>Pteronotus</i> cf. <i>alitonus</i> , <i>Peropteryx</i> sp., <i>Mimon</i> spp.	~69.500

Legend: CE – Ceara state, RN – Rio Grande do Norte state, SE – Sergipe state.

Table 3: Outlying Mean Index (OMI) general values for each selected species and general analyse result.

Species	Inertia	OMI	Tol	Rtol	omi	Tol	Rtol	Obs	Std.Obs	Alter	P-value
<i>Antricola inexpectata</i>	49,3963	11,5544	4,7923	33,0495	23,4	9,7	66,9	11,554390	34.513.886	greater	0.008
<i>Antricola guglielmonei</i>	46,7328	12,2407	1,3635	33,1286	26,2	2,9	70,9	12,240745	-0.0825019	greater	0.473
Rosensteniidae sp.1	50,7082	45,3670	0,0160	5,3252	89,5	0,0	10,5	45,367004	64.646.368	greater	0.001
<i>Tyrophagus</i> sp.1	50,3939	15,1764	6,4348	28,7827	30,1	12,8	57,1	15,176396	0.4836140	greater	0.334
Urupodina sp.2	50,3540	8,4778	3,5713	28,7827	16,8	7,1	76,1	8,477791	-0.7687165	greater	0.658
Guanolichidae sp.1	48,6233	46,0515	0,0408	2,5310	94,7	0,1	5,2	46,051497	38.736.794	greater	0.011
							OMI.MEAN	23,144637	48.757.427	greater	0.001

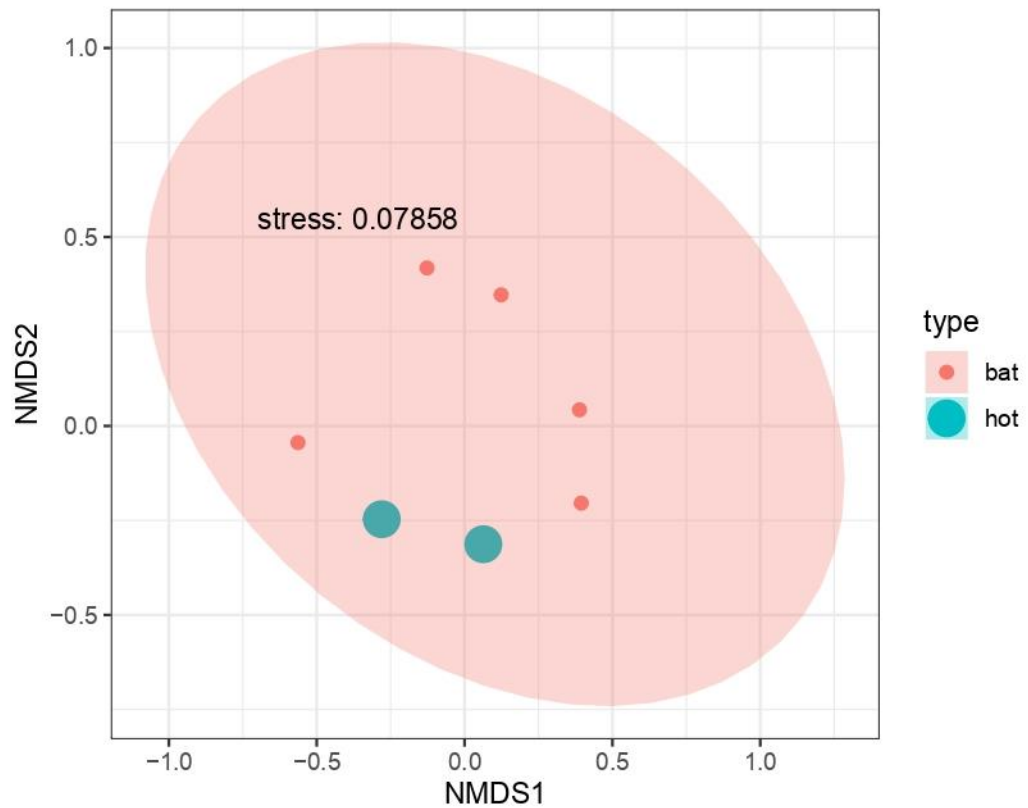


Figure 1: Nonmetric multidimensional scaling (NMDS) ordination of hot caves and not-hot caves, based on invertebrates' communities, by the Jaccard similarity index, using a permutations number of 5039.

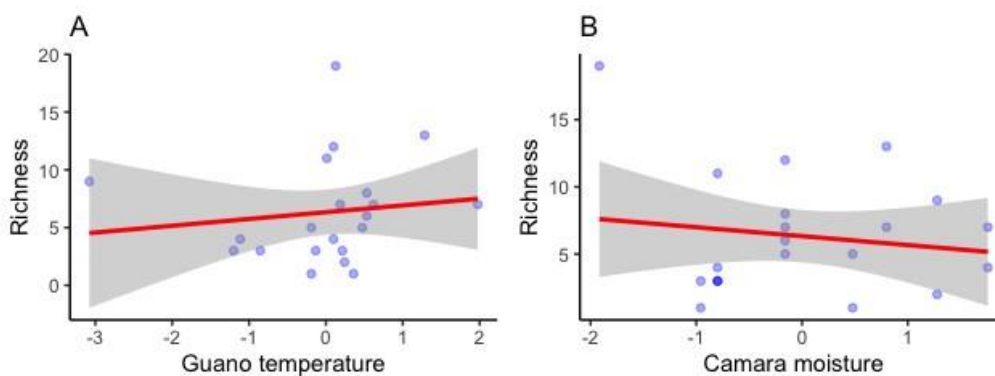


Figure 2: Visual representation of the selected models generate by GLM's analyses pointing the relation between richness of species of invertebrates.

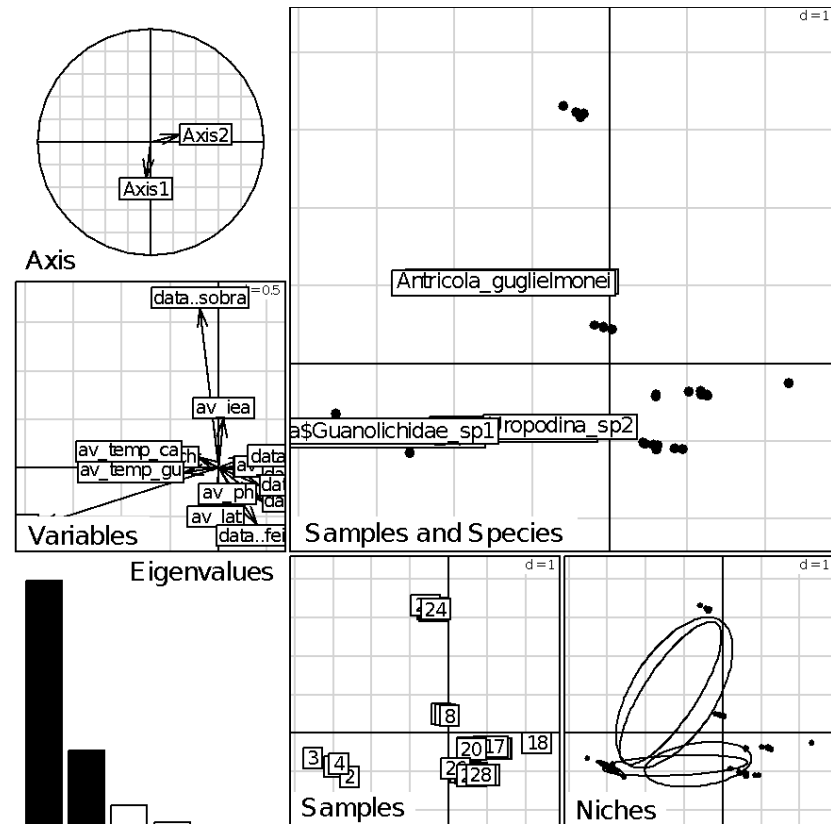


Figure 3: OMI visual representation, in the samples and species item we can see that species pointed are more generalists are closer to the centroid, as the ones more distant are the generalist species.

Supplementary material

Table 4: Invertebrates sampled utilizing the Berlese Funnel method, during the field campaign, sorted by number of individuals and richness of species.

TAXA			CAVES							N TOTAL	S
			N								
			Boqueirão de Lavras II	Casa de Pedra	Caverna do Urubu	Gruta do Arnold	Furna Feia	Furna do Urubu	Gruta do Sobradinho		
Arthropoda	Arachnida	Acari	6,818	17	3,899	391	2,291	48	126	13,590	74
		Araneae	8	7	6	3	11	6	2	43	28
		Pseudoscorpiones	10	13	3	5	8	6	3	48	12
	TOTAL									43	107
	Insecta	Coleoptera	181	37	59	371	11	2	38	699	19
		Diptera	37	32	2	7	423	208	2	711	21
		Hymenoptera	0	10	3	0	4	0	1	18	7
		Blattaria	6	6	3	3	4	0	0	22	5
		Collembola	0	0	19	0	2	0	41	62	4
		Zygentoma	11	0	0	0	0	0	0	0	1
		Lepidoptera	1	0	0	0	0	6	0	7	1
		Orthoptera	0	0	0	0	2	8	0	10	1
	TOTAL									1,542	59
	Crustacea	Isopoda	0	19	1	0	0	7	0	27	1
	TOTAL									27	1
	Myriapoda	Diplopoda	0	1	0	0	0	1	1	3	1
NUMBER OF SPECIES			105	30	28	32	26	51	33		

CAPÍTULO 2

List of soft ticks (Acari, Argasidae) in bat caves, including new records of species occurrence for the Caatinga biome”.

Thais Giovannini Pellegrini¹, Leopoldo Ferreira de Oliveira Bernardi¹, Gabriel de Souza Ghedin², Mirella Lima Costa³, Maykon Vinicius A. da Silva³, Luciana Iannuzzi³

¹Universidade Federal de Lavras, Departamento de Entomologia, Lavras, Minas Gerais, Brasil. E-mail: thais.g.pellegrini@gmail.com

²Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Zoologia, Programa de Pós Graduação em Biologia Animal, Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: gabriel.sghedin@ufpe.br

³Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Zoologia, Recife, Pernambuco, Brasil.

E-mail: mirella.limacosta@ufpe.br; maykon.viniciuss@ufpe.br; luciana.iannuzzi@ufpe.br

Abstract. Species distribution patterns are important aspects of biogeography and conservation and are especially important in environments that have been under-investigated, such as caves in the semiarid region of northeastern Brazil. We collected argasid specimens from the guano of insectivorous bats in five caves of the Caatinga biome and identified six soft tick species of the genera *Antricola* and *Ornithodoros*. *Ornithodoros rodoniensis* was recorded for the first time in the Caatinga biome and had previously only been known to occur in the Amazon.

Key words - Ixodida, *Ornithodoros*, *Antricola*, semiarid, neotropical

Caatinga a biome in Brazil is a tropical dry forest, formed by mosaics of different plant physiognomies with most of the rain concentrated in three consecutive months (DA SILVA *et al.*, 2017). The harshness of the region leads to dry vegetation that harbors unique species able to survive in periods of severe drought (DA SILVA *et al.*, 2017). These features also drive patterns in the subterranean environment associated with the Caatinga and some caves in the region are considered hotspots of subterranean diversity (BENTO *et al.*, 2016; SOUZA-SILVA & FERREIRA, 2016). The long dry periods in this biome make caves useful environments. This effect was even more pronounced during the last glacial maximum, when many ancient species were housed in caves due to the separation of the contiguous rainforests that existed at the time (POLHEMUS; FERREIRA, 2018; WANG *et al.*, 2005).

Subterranean diversity is also driven by the characteristics of caves. Warm, humid caves inhabited by bat species make the environment favorable to the occurrence of argasid ticks (DE LA CRUZ, 1973; LABRUNA *et al.*, 2008). The parasitic association between these soft ticks and bat species is often found in bat caves (BARBIER *et al.*, 2020), which are defined by the concentration of large bat populations – *i.e.*, more 5,000 individuals (AZEVEDO; BERNARD, 2015). This feature increases the likelihood of the occurrence of soft ticks. Despite the considerable diversity of ticks and their broad distribution in caves (HENRIQUE-SIMÕES *et al.*, 2020), current knowledge on argasid species of the Caatinga is incipient (BERNARDI *et al.*, 2009) and bat caves constitute a favorable environment to expand the geographic distribution of the group. In this study, we list species of the family Argasidae in the Caatinga biome, including new records of two rare species of the genus *Ornithodoros*.

The present study was conducted in five bat caves, including two hotspots – all located in the Caatinga biome of northeastern Brazil (Tab. 1; Figs. 1-3). The caves have

limestone and quartzite lithology and are inhabited by huge colonies of insectivorous bats that produce large amounts of guano.

Sampling was performed in the rainy season, a period when higher diversity of cave-dwelling arthropods occurs (ARAUJO *et al.*, 2010; BENTO *et al.*, 2016). First, we manually collected the largest specimens found in guano deposits in each cave. We then collected three 100-mL samples of guano in each cave, which were placed in a Berlese-Tullgren funnel for 24 hours. We preserved all extracted invertebrates in vials containing 70% alcohol for further screening and the separation of soft ticks under a stereomicroscope. We identified argasid specimens based on morphological characteristics proposed by Labruna *et al.* (2008) and Labruna *et al.* (2011) and we followed the list of valid species names of the Ixodida presented by Guglielmone *et al.* (2010). We performed identification to the lowest possible taxonomic level (mainly the species level) and then designated morphospecies to obtain data on argasid richness.

We collected a total of six soft tick species belonging to two genera of Argasidae (*Antricola* and *Ornithodoros*) from the five caves sampled (Tab. 2). *Antricola inexpectata* (ESTRADA-PENÃ; BARROS-BATTESTI; VENZAL, 2004.) was the most widespread species, occurring in all caves sampled. The second most widely distributed species was *A. guglielmonei* (ESTRADA-PENÃ; BARROS-BATTESTI; VENZAL, 2004), which was found in three caves and was only absent from the “Gruta do Arnould” and “Caverna do Urubu” caves. We found *A. delacruzi* (ESTRADA-PENÃ, BARROS-BATTESTI; VENZAL, 2004), *Ornithodoros marinkellei* (KOHLS; CLIFFORD; JONES, 1969) and *O. rodoniensis* (LABRUNA; TERASSINI; CAMARGO; BRANDÃO; RIBEIRO; ESTRADA-PENÃ, 2008, A) only in the Boqueirão de Lavras da Mangabeira II cave, which was the richest cave studied (five species), while we only found *Ornithodoros fonsecai* (LABRUNA & VENZAL, 2009, ARGASIDAE) in the cave.

The genus *Antricola* includes 16 described species that occur in the Americas from the southeastern USA to northeastern Brazil (ESTRADA-PENÑA *et al.*, 2004; GUGLIELMONE *et al.*, 2003). *Antricola* species occur in warm, humid caves that often have large bat colonies (DE LA CRUZ, 1973; LABRUNA *et al.*, 2008). Indeed, we collected all three *Antricola* species recorded for Brazil in the bat caves investigated in the present study: *A. guglielmonei* Estrada-Penã, Barros-Battesti & Venzal, 2004, Argasidae, *A. delacruz* Estrada-Penã, Barros-Battesti & Venzal, 2004, Argasidae and *A. inexpectata* Estrada-Penã, Barros-Battesti & Venzal, 2004, Argasidae. The habits of this genus differ from those of most tick species. The adults are free-living with mouthparts adapted for quick feeding rather than clinging to the host; the hypostome is small and toothless (COOLEY; KOHLS, 1942); and these species only exhibit hematophagous parasitic behavior in the larval stage. A recent study suggests that adults feed directly on guano deposits (RIBEIRO *et al.*, 2012). This feeding habit in caves with large guano deposits minimizes competition pressure for feeding resources, enabling the occurrence of hundreds of thousands of individuals as well as the co-occurrence of sister species (NUNES *et al.*, 2020). This may also explain the abundances and richness documented here in the “Boqueirão de Lavras da Mangabeira II”, “Casa de Pedra” and “Gruta do Sobradinho” caves. The broad geographical distribution of populations of *Antricola* species is often interrupted in long stretches of up to 3,000 km. Despite this, genetic sequence analyses indicate that such populations remain connected (LABRUNA *et al.*, 2008; RIBEIRO *et al.*, 2012).

Thus, our study reports new geographical ranges for two Brazilian soft tick species associated with bats, expanding the distribution of *O. marinkellei* and, even more expressively, *O. rondoniensis* to the semiarid region. These new tick records, together with the new species restricted to caves recently described for the formation of the

Caatinga [i.e., *Coarazuphium* Caatinga (PELLEGRINI; FERREIRA, 2014); *Cryptops spelaeoraptor* (ÁZARA; FERREIRA, 2014a, Cryptopidae); *Newportia spelaea* (ÁZARA; FERREIRA, 2014b, Scolopocryptopidae); *Girardia spelaea* (HELLMANN, FERREIRA, RABELO; LEAL-ZANCHET, 2020, DugesIIDae); as well as four *Pectenoniscus* species: *P. iuiuensis*, *P. carinhanhensis*, *P. santanensis*, *P. morrensis* (CARDOSO; BASTOS-PEREIRA; SOUZA & FERREIRA; 2020, Styloniscidae), among others] and with the occurrence of caves elevated to the status of hotspots of subterranean biodiversity (e.g., the “Toca do Gonçalves” cave in the state of Bahia - SOUZA-SILVA; FERREIRA, 2016), increase the importance of the region. However, studies on ticks, especially cave species, are rare, even though this has proven to be a field of study with considerable potential for new discoveries (e.g., ARAÚJO *et al.*, 2018; BERNARDI *et al.*, 2012; DANTAS-TORRES *et al.*, 2012; ESTRADA-PÉÑA *et al.*, 2004). The study of the biodiversity of the Caatinga biome is promising for the discovery of new records as well as new species, which are essential to the improvement of adequate conservation and management measures.

Acknowledgment

We are grateful to Dr. Enrico Bernard for logistical support during the collections and information on bat populations and Dr. Rodrigo Ferreira for providing photographs of the caves in the region. TGP thanks the *Minas Gerais Research Foundation (FAPEMIG)* and *VALE SA* for the post-doctoral grant. LFOB thanks the Coordination for the Advancement of Higher Education Personnel for providing a post-doctoral grant from the National Postdoctoral Program (CAPES-PNPD/Brazil). MBL thanks the National Council of Scientific and Technological Development (CNPq) and the State of São Paulo Research Support Foundation (FAPESP) for financial support. LI is grateful to CNPq for the PQ2 grant (process number: 309750/2019-9). And I’m grateful to the National Council of Scientific and Technological Development (CNPq) for financial support.

Table 1: Studied caves from the Brazilian semiarid, the cave geographic localization, horizontal projection and the cave bat use classification are provided.

Cave	Municipality (state)	Coordinates	Horizontal Projection	Cave feature	Lithology	Bat species found	Estimated bat abundances
Boqueirão de Lavras da Mangabeira II	Lavras da Mangabeira (CE)	6°42,745'S 38°57,46'W	~200 m	Hot cave	Quartzite	<i>Lonchorhina aurita</i> , <i>Phyllostomus hastatus</i> , <i>Pteronotus gymnonotus</i> , <i>Pteronotus personatus</i> , <i>Peropteryx</i> cf. <i>macrotis</i> , <i>Molossidae</i> , <i>Noctilio albiventris</i> , <i>Noctilio leporinus</i> , <i>Glossophaginae</i>	~98.000
Casa de Pedra	Campo de Brito (SE)	10°50,0517'S 37°27,06'W	210 m	Hot cave	Limestone	<i>Lonchorhina aurita</i> , <i>Phyllostomus hastatus</i> , <i>Pteronotus gymnonotus</i> , <i>Pteronotus personatus</i> , <i>Anoura geoffroyi</i> , <i>Carollia perspicillata</i> , <i>Desmodus rotundus</i> , <i>Glossophaga soricina</i> , <i>Natalus macrourus</i>	~137.000
Gruta do Arnold	João Câmara (RN)	5°26,9167'S 35°53,215'W	80 m	Not hot cave	Limestone	<i>Pteronotus gymnonotus</i> , <i>Carollia perspicillata</i> , <i>Glossophaga soricina</i> , <i>Natalus macrourus</i>	~10.000
Furna do Urubu	Felipe Guerra (RN)	5°34,3833'S 37°39,145'W	195 m	Not hot cave	Limestone	<i>Pteronotus gymnonotus</i> , <i>Pteronotus personatus</i> , <i>Desmodus rotundus</i> , <i>Peropteryx</i> sp., <i>Artibeus planirostris</i> , <i>Diphylla ecaudata</i> , <i>Tonatia bidens</i> , <i>Eumops</i> sp.	~27.000
Gruta do Sobradinho	Aiuba (CE)	6°38,5917'S 40°5,9517'W	235 m	Not hot cave	Limestone	<i>Lonchorhina aurita</i> , <i>Pteronotus gymnonotus</i> , <i>Pteronotus personatus</i> , <i>Anoura geoffroyi</i> , <i>Carollia perspicillata</i> , <i>Desmodus rotundus</i> , <i>Natalus macrourus</i> , <i>Pteronotus</i> cf. <i>alitonus</i> , <i>Peropteryx</i> sp., <i>Mimon</i> spp.	~69.500

Legend: CE – Ceara state, RN – Rio Grande do Norte state, SE – Sergipe state.

Table 2: Argasidae (Acari) species found in each of the five sampled caves from the Brazilian Caatinga.

TAXA	CAVES				
	Boqueirão de Lavras	Casa de Pedra	Gruta do Sobradinho	Gruta do Arnold	Caverna do Urubu
<i>Antricola delacruzi</i> Estrada-Penã, Barros-Battesti & Venzal, 2004	x				
<i>Antricola guglielmonei</i> Estrada-Penã, Barros-Battesti & Venzal, 2004	x	x	x		
<i>Antricola inexpectata</i> Estrada-Penã, Barros-Battesti & Venzalé, 2004	x	x	x	x	x
<i>Ornithodoros fonsecai</i> (Labruna & Venzal, 2009)		x			
<i>Ornithodoros marinkellei</i> (Kohls, Clifford & Jones, 1969)	x				
<i>Ornithodoros rodoniensis</i> * Labruna, Terassini, Camargo, Brandão, Ribeiro and Estrada-Peña, 2008	x				
The * symbol represents the new occurrence of Caatinga biome.					

Figures 1-3 Geographic localization of the studied caves. 1) Entrance area of Caverna do Urubu Cave showing the Caatinga vegetation during the wet season, 2) *Antricola inexpectata* population associated to a guano pile at Caverna do Urubu Cave, 3) Map of South America highlighting Brazil and the Caatinga region. The red symbols correspond to the Hot Caves. The red star represents the new occurrence record for *Ornithodoros rondoni* to the semiarid. (Photographs 1 and 2 are from Rodrigo L. Ferreira).



CONSIDERAÇÕES GERAIS

Hot caves são ecossistemas únicos e exclusivos dos trópicos que guardam diversas características para conservação de espécies e provavelmente com altas taxas de endemismo. Nesse sentido, incentivar a pesquisa nesses ambientes é a chave para a geração de novos conhecimentos. Apesar da composição de espécies não ter variado entre as Hot e não Hot caves, amostragens em câmaras com maiores temperaturas poderiam contribuir para encontrarmos diferente padrão. As análises de marginalidade de nicho geraram importantes informações sobre a ecologia de ácaros, que outrora eram considerados desconhecidos, e demonstram que algumas tendências ecológicas são espécies específicas.