

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS
NATURAIS

VINÍCIUS DA FONTOURA SPERANDEI

**ANUROFAUNA E CAVERNAS NEOTROPICAIS: FATORES BIÓTICOS E
ABIÓTICOS QUE MODULAM A OCUPAÇÃO DO HABITAT SUBTERRÂNEO**

SÃO CARLOS - SP

2024

Vinícius da Fontoura Sperandei

**ANUROFAUNA E CAVERNAS NEOTROPICAIS: FATORES BIÓTICOS E
ABIÓTICOS QUE MODULAM A OCUPAÇÃO DO HABITAT SUBTERRÂNEO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, ao Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de Doutor em Ciências, área de concentração em Ecologia e Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Leonardo Tejerina-Garro

Coorientador: Prof. Dr. Wilian Vaz-Silva

São Carlos - SP

2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

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

Folha de Aprovação

Defesa de Tese de Doutorado do candidato Vinicius da Fontoura Sperandei, realizada em 28/05/2024.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Francisco Leonardo Tejerina Garro (PUC-GO)

Prof. Dr. Marcel Santos de Araújo (CCMA)

Prof. Dr. Cássio Cardoso Pereira (UFMG)

Prof. Dr. Vitor Hugo Mendonça do Prado (UEG)

Prof. Dr. Raul Maneyro (UdelaR)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço aos meus pais, Suzi e Neri, por todo o apoio e torcida ao longo destes 12 anos de vida acadêmica na área das Ciências Biológicas, por entenderem as escolhas e comemorar a cada conquista. À minha esposa Isabela, minha parceira ao longo desse período que colocou o pé na estrada junto comigo e estamos trilhando um caminho árduo e de muitas vitórias.

Ao meu orientador Dr. Francisco Leonardo por todos os ensinamentos, apoio, paciência nas explicações e incentivo com todos os desafios, com certeza estaremos juntos em novos projetos e ideias futuras que virão. Ao meu coorientador Wilian Vaz-Silva pelas colaborações ao longo do trabalho e aos novos desafios que virão, além de todos os revisores, professores das disciplinas e membros de banca que contribuíram ao longo destes anos para a construção desta tese.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de São Carlos pelo apoio e recepção durante o doutoramento. Em especial a professora Dra. Ana Teresa Lombardi, na qual me fomentou um aprendizado único e talvez o mais valioso em toda minha vida acadêmica quando mais foi necessário, a verdadeira maneira de se ensinar olhando para além de um crescimento intelectual e prático, mas um crescimento pessoal, obrigado professora por ter me incentivado e orientado meus passos durante essa jornada.

Agradeço o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 (PROAP/CAPES PPGERN), imprescindível para a realização e conclusão desta.

À Universidade de Rio Verde e aos amigos presentes nesta instituição que incentivam e fazem parte de maneira direta e indireta desta materialização, sou muito agradecido pelas oportunidades e aprendizados no dia a dia desta valorosa universidade.

À todos os amigos e colegas de profissão que incentivaram, colaboraram com ideias, discussões e apoiaram chegar até aqui, saibam que acredito

fortemente em uma ciência colaborativa, onde se trabalhar em conjunto e é muito mais satisfatório percorrer esta jornada com todos vocês.

RESUMO

Cavernas formam uma rede de espaços entre rochas que ocupam desde canalículos á grandes dimensões que podem ser acessados por seres humanos e outros seres vivos. Este ambiente possui características singulares quando comparado à superfície, como ausência de luz, abastecimento energético oriundo do ambiente epígeo, temperatura amena e umidade relativa tendendo a saturação. Dos animais vertebrados que vivem no interior de cavernas neotropicais brasileiras, os anuros ainda formam um grupo taxonômico com pequeno arcabouço científico e a ocupação do ambiente por eles ainda é tratada como accidental ou temporária. O objetivo desta tese é identificar o panorama do estudo da ocupação de cavernas por anuros, realizando o levantamento de registros científicos e por meio dele elaborar uma lista de espécies. A partir dos registros foram extraídas variáveis categóricas de natureza abiótica, discutindo as condições que a caverna possui e que influenciam a presença dos anuros e variáveis biológicas de área de vida, história natural e de conservação do perfil de espécies registradas em cavernas. Foram encontradas 18 publicações científicas no intervalo de 42 anos com registros de anuros em cavernas e totalizaram 247 registros independentes. A lista de espécies conta com 54 registros até o epíteto específico (83 morfótipos) com destaque para as famílias Leptodactylidae (13 espécies), Hylidae (12) e Bufonidae (10) como mais ricas, registradas predominantemente em Minas Gerais e São Paulo, em biomas de Floresta Atlântica e zonas de ecótono Floresta Atlântica/Cerrado brasileiro, em litologia carbonática e ferruginosa, em zona de entrada e com a presença de corpos d'água na cavidade. A análise de componentes multivariados para os fatores abióticos aponta para a formação de dois agrupamentos, o primeiro formado por cavernas em biomas da Floresta Atlântica e Ecótono Floresta Atlântica/Caatinga, em litologias carbonática e mármore, com variação altitudinal de 23 a 246m, inseridas em matriz com formações vegetais (florestal, campestre e savânica) e grau de endemismo. O segundo agrupamento aponta para fatores abióticos, e é formado por cavidades em litologias ferruginosa, quartzítica e granítica, com a presença de matriz de paisagem florestal, campestre e afloramentos rochosos com água perene. Este cenário é ocupado por *Bokermannohyla martinsi* (restrita à região do Quadrilátero Ferrífero) e

Ischnocnema manezinho endêmica em Santa Catarina. As variáveis categóricas para os fatores biológicos demonstraram agrupamentos com características antagônicas, em um dos grupos caracterizado por animais de área de distribuição restrita, endêmicos e pouco frequente ou raro na comunidade herpetológica local, de período diurno, hábitos criptozóicos e local de reprodução grutas e tocas ou rio/riacho ou chão de mata, além de status de conservação “em perigo – EN” da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN). O segundo grupo é formado por anuros com área de distribuição ampla e moderada, sem endemismo e frequente no ambiente, animais noturnos, hábitos arborícolas e em habitats abertos, com local de reprodução brejo/lago e remanso de rios, sem grau de ameaça a conservação. Apresenta-se também um registro inédito de predação de um anuro *Crossodactylus caramaschii* por uma aranha-pescadora (*Trechaleoides biocellata*) em uma caverna do interior paulista, reforçando o arcabouço científico da interação de anuros com a comunidade subterrânea.

Palavras-chave: diversidade anurofaunística, Lacuna Linneana, Lacuna Wallaceana, ocupação de habitat.

ABSTRACT

Caves form a network of spaces between rocks, ranging from tiny spaces like crevices to large spaces accessible to humans. This environment has unique characteristics compared to the surface, such as the absence of light, energy supply originating from the epigeal environment, mild temperature, and relative humidity tending towards saturation. Among vertebrate animals that live inside natural cavities in Brazilian neotropical regions, anurans still form a taxonomic group with limited scientific framework, and their occupation of the environment is still considered accidental or temporary. The objective is to identify the panorama of cave occupation by anurans, conducting a survey of scientific records and using it to compile a species list. From the records, categorical variables of abiotic nature were extracted, discussing the cave conditions that influence the presence of anurans, as well as biological variables related to home range, natural history, and conservation profile of species recorded in caves. Eighteen scientific publications were found over 42 years with records of anurans in caves, totaling 247 independent records. The species list includes 54 records up to the specific epithet (83 morphotypes), with emphasis on the families Leptodactylidae (13 species), Hylidae (12), and Bufonidae (10) as the richest, predominantly recorded in Minas Gerais and São Paulo, in the Atlantic Forest biome and ecotonal zones between the Atlantic Forest and Brazilian Cerrado, in carbonate and ferruginous lithology, at entrance zones with presence of water bodies in the cavity. Multivariate analysis for abiotic factors indicates the formation of two clusters: the first formed by caves in the Atlantic Forest biome and Atlantic Forest/Caatinga ecotone, in carbonate and marble lithologies, with altitudinal variation from 23m to 246m, inserted in a matrix with vegetal formations (forest, grassland, and savanna) and presence of endemic anurans. The second cluster for abiotic factors is formed by cavities in ferruginous, quartzitic, and granitic lithologies, with presence of forest landscape matrix, grassland, and rocky outcrops with perennial water; this scenario is inhabited by *Bokermannohyla martinsi* (restricted to the Quadrilátero Ferrífero region) and *Ischnocnema manezinho* endemic to Santa Catarina. Categorical variables for biological factors showed groupings with antagonistic characteristics: one group characterized by animals with restricted distribution area, endemics and rare or

infrequent in the local herpetological community; diurnal period; cryptic habits; reproduction sites in caves, burrows, or river/stream or forest floor; and "endangered - EN" conservation status according to IUCN. The second group consists of anurans with wide and moderate distribution areas, without endemism and common in the environment; nocturnal animals; arboreal habits; open habitat; reproduction sites in marshes/lakes and river backwaters; without conservation threat status. We also present a previously unreported predation event of an anuran *Crossodactylus caramaschii* by a fishing spider (*Trechaleoides biocellata*) inside a cave in São Paulo State, supporting the scientific framework of anuran interaction with the subterranean community.

Keywords: anuran diversity, habitat occupancy, Linnean Gap, Wallacean Gap..

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Capítulo I

Table 1 – Absolute and relative values of independent records of nominal and ordinal variables extracted from the 18 scientific works considered and published from January 1980 to December 2022..... 25

Table 2 – Anuran species found in Brazilian natural cavities by state, lithology, and biome..... 26

Figure 1 – Number of species per family of Brazilian neotropical anurans recorded from underground cavities..... 30

Figure 2 – Number of anuran records in natural cavities in Brazilian states. 31

Figure 3 – Caves according to the 2022 Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas CANIE/Cecav (green dots) and with recorded anurans (yellow triangle) and caves in the Brazilian neotropical region. 33

Figure 4 – Number of records by type of lithology Lithologies: Aren = sandstone; Carb = carbonate; Cong = conglomerate; Ferr = ferruginous; Gran = granitic; Quar = quartzite; Marm = marble; ND = Not available. 35

Figure 5 – Number of scientific publications with records of anurans in Brazilian neotropical cavities per year from 1980 to 2022. 37

Capítulo II

Table 1 - Variables, categories and subcategories used in the multivariate Multiple Component Analysis for records of anurans in Neotropical underground cavities. 70

Table 2 – List of anuran morphospecies found inside Brazilian caves according to scientific literature and records of the federative units found, biome, lithology, and number of records per morphospecies. 74

Figure 1 – dispersion of categorical variables explaining 12.91% of data variability of records of occurrence of anurans in neotropical caves. 78

Capítulo III

Tabela 1 - Variáveis categóricas utilizadas na Análise de Correspondência Multivariável (ACM) para os fatores bióticos de anuros neotropicais registrados em cavernas brasileiras. 110

Figura 1 – Dispersão dos dados significativos da Análise de Componentes Multivariada (ACM) com explicação de 11,59% da variabilidade de dados. 111

Capítulo IV

Figure 1 – Observation of predation involving an anuran, *Crossodactylus caramaschii* (Anura: Hylodidae), by a fishing spider (*Trechaleoides biocellata* (Aranae: Trechaleidae) in Fenda das Almas, a carbonate cave in the State of São Paulo, Brazil. 137

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	14
2 CAPÍTULO I – Characterization of anuran amphibian fauna in caves in Brazil	18
2.1 - Abstract	19
2.2 - Resumo.....	20
2.3 - Introduction	21
2.4 - Material and Methods.....	23
2.5 - Results and Discussion.	25
2.6 - Conclusion	37
2.7 - References.....	38
2.8 - Appendix I	47
2.9 - Appendix II	62
3 - CAPÍTULO II – Abiotic characteristics that influence the occupation of Brazilian neotropical caves by anurans	66
3.1 - Abstract	67
3.2 - Introduction	68
3.3 - Material and Methods.....	70
3.4 - Results	74
3.5 - Discussion	79
3.6 - Conclusion	82
3.7 - Bibliographic References	82
3.8 - Appendix I	92
4 - CAPÍTULO III – Anuros e cavernas neotropicais: tópicos de história natural dos anuros habitantes do ambiente cavernícola	101
4.1 - Abstract/Resumo.....	103
4.2 - Introdução	104
4.3 - Materiais e Métodos	107
4.4 - Resultados	109
4.5 - Discussão.....	111
4.6 - Conclusão	113
4.7 - Referência Bibliográfica	114
4.8 - Anexo I	118

4.9 - Anexo II	119
5 - CAPÍTULO IV – The first observation of predation on <i>Crossodactylus caramaschii</i> Bastos and Pombal, 1995 (Anura: Hylodidae) by a fishing spider (Araneae: Trechaleidae) in a neotropical cave	135
5.1 - Short Communication.....	136
5.2 - References.....	139
6 - CONCLUSÃO FINAL.....	141
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	144

INTRODUÇÃO GERAL

O ambiente subterrâneo natural compreende sistemas ecológicos complexos e dinâmicos com grande variação de características físicas e biológicas (Ferreira, 2005; Ortuño et al., 2013; Culver e Pipan, 2019). Compõe o ambiente cavernícola o conjunto de espaços inter-conectados no espaço subterrâneo, preenchidos por água ou ar e consistem desde variações milimétricas como canalículos e fissuras até cavidades acessíveis ao homem (Juberthie e Decu, 1994; Juberthie, 2000; Culver e Pipan, 2009). Podem ser formadas em rochas de qualquer litologia por processos de dissolução química ou mecânicos como erosão, resfriamento de lava, sobreposição de rochas abatidas (Juberthie, 2000).

O Brasil apresenta um elevado número de cavidades naturais quando comparado a outros países no cenário mundial, com um patrimônio espeleológico de 23.278 cavidades cadastradas no Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (ICMBio, 2022). Porém com potencial para este número ser significativamente maior, uma vez que o país possui muitas áreas ainda não prospectadas e não catalogadas.

Características singulares às cavernas são elevadas estabilidades nas condições ambientais, tais como temperatura constante e amena, umidade relativa do ar próxima da saturação, ausência permanente de luz natural e baixa ou nenhuma produção de energia primária nas zonas mais profundas (Poulson e White, 1969; Tobin et al., 2013; Culver e Pipan, 2019). O aporte energético do sistema é dependente dos mecanismos alóctones principalmente pelos sistemas de drenagem que carreiam matéria orgânica, além de fezes e carcaças de animais que transitam neste ambiente ou eventualmente caem nas cavidades (Culver e Pipan, 2009; Culver e Pipan, 2019). A variação do tamanho e quantidade de entradas das cavidades (incluindo a captação de rios para o sistema) e o abastecimento energético do sistema influenciará a heterogeneidade do habitat do ambiente e por sua vez a abundância e riqueza da fauna cavernícola (Gibert e Deharveng, 2002; Silva e Ferreira, 2016; Sperandei, 2019). Hábitos dos anuros que facilitam o sucesso de colonização como ser noturno e/ou criptico, possuir orientação não-visual, tolerar altas umidades e dieta generalista (Cullingford, 1962). Somadas estas características

nos indica que espécies para ocupar e permanecer neste ambiente possuem pré-adaptação de ordem morfológica ou fisiológica às condições do ambiente subterrâneo (Barr, 1968; Prous et al., 2004).

O meio hipógeo apresenta três “zonas” com diferenças bióticas e abióticas baseadas na incidência de luz natural. 1 - a zona de entrada (zona fótica) com incidência direta de luz solar, crescimento de pequenos líquens e até vegetais, alta influência da superfície. 2- zona de penumbra (zona disfótica) onde não há incidência direta de luz porém ainda há luminosidade. 3- zona profunda (zona afótica) onde não há permanentemente luminosidade alguma e maior estabilidade por ter pouca influência do meio epígeo (Poulson e White, 1969; Howart, 1979).

Animais com diferentes graus de afinidade e adaptação habitam as cavernas, com relações ecológica-evolutivas com o habitat e diversos graus de especialização (fisiológicas, morfológicas, reprodutivas e comportamental) (Culver e Wilkens, 2000; Sket, 2008; Romero, 2009). Os invertebrados são os organismos mais abundantes, com importante participação na ciclagem de nutrientes e transferência energética dentro da rede ecológica (Poulson, 2005; Silva et al., 2011). Entre os vertebrados, os grupos taxonômicos mais estudados em cavernas são os quirópteros e peixes, porém podemos registrar ainda aves que nidificam nas entradas das cavidades, pequenos mamíferos comuns em terrenos rochosos, além de animais da herpetofauna. Em geral, as comunidades no ambiente subterrâneo apresentam riqueza mais alta próximas às entradas e diminuindo à medida que fica mais profundo (Prous et al., 2004; Culver e Pipan, 2009; 2019).

Diante das características ecológicas e evolutivas do mundo animal, desde os primórdios do estudo da biologia animal procurou-se classificar a natureza, a fim de encontrar padrões ecossistêmicos globais e em recortes da paisagem (Gleason, 1926; Rosen, 1996; Ladle e Hortal, 2013). Os animais encontrados em cavernas podem ser classificados como troglóbios, troglófilos e troglóxenos, segundo Holsinger e Culver (1988) (modificado a partir do sistema Schinner-Racovitza, 1907). Os troglóbios são animais com ocorrência restrita ao meio subterrâneo e que podem apresentar especializações morfológicas, fisiológicas e comportamentais como resposta às pressões seletivas do ambiente e/ou ausência de pressões ambientais e ecológicas da superfície,

conhecidos como troglomorfismos (Holsinger e Culver, 1988; Langecker, 1989). Os troglófilos são facultativos, podendo completar seu ciclo de vida dentro ou fora das cavernas. Os troglóxenos são aqueles que ocorrem no ambiente subterrâneo, mas precisam retornar periodicamente à superfície para completar seu ciclo de vida. Há ainda a classificação dos animais acidentais (Trajano e Bichuette, 2006) que caracteriza a fauna do ambiente epígeo que entra eventualmente nas cavernas de forma aleatória ou por períodos não-sistêmicos e em alguns casos não conseguem se alimentar ou orientar levando à morte do indivíduo.

Em algumas regiões do planeta é demonstrado que alguns vertebrados ocupam o ambiente subterrâneo regularmente, passando a utilizá-lo em parte ou na totalidade do seu ciclo de vida, sendo assim caracterizados como animais troglóxenos ou troglófilos (Resetarits Jr, 1986; Espino Del Castillo et al., 2009; Suwannapoom et al., 2018). Até o momento nenhuma espécie de anuro troglomórfica foi registrada, indicando que especializações extremas ao ambiente subterrâneo podem não ocorrer neste grupo (Biswas, 2014).

Estudos em regiões temperadas discutem a variação sazonal na utilização das cavidades pelos anuros, a qual no inverno é quando se encontra maior riqueza e abundância indicando a ocupação como abrigo contra a condição externa adversa (Resetarist Jr, 1986; Fenolio et al., 2005; Lunghi et al., 2017). Em região tropical Lúria-Manzano e Ramírez-Bautista (2017), no México, compararam a variação da dieta de *Craugastor alfredi* (Boulenger, 1898) e concluíram que populações hipógeas possuem hábitos alimentares diferentes das populações da superfície.

Já as cavernas neotropicais apresentam larga abundância e riqueza de invertebrados, presas em potencial para os anuros (Bernarde, 2012) e formam um ambiente propício contra predadores de orientação visual como as aves. As condições fisiológicas deste grupo devido ao tegumento mais permeável podem levar a uma tendência a ocupação do habitat favorável (Eterovick et al., 2010), com altos níveis de umidade relativa, normalmente ultrapassando os 90% mesmo nas estações mais secas (Matavelli et al., 2015).

Alguns invertebrados como hemípteras, coleópteras, himenópteras, além de aracnídeos em geral podem preda anuros (Toledo, 2005; Bernarde, 2012), já registrados no ambiente hipógeo, ainda que em cavidades neotropicais ainda

não há registro de eventos de predação de anuros por invertebrados ou vice-versa. Registros de interação ecológica (predação, simbiose) podem elucidar como os anuros compõe a rede-ecológica dos sistemas subterrâneos e se as presas e predadores deste grupo se mantem (ou não) similares aos do meio externo (Lúria-Manzano e Ramírez-Bautista, 2017).

Os anfíbios em geral são apontados pela IUCN (2021) como grupo de vertebrados mais ameaçado do mundo, em declínio populacional acentuado desde a década de 90 (Wake, 1991; Becker e Zamudio, 2011) e causas diversas como fragmentação e destruição de habitat (Moreira, 2016), introdução de espécies exóticas (Collins e Crump, 2009; Boelter et al., 2012; Both e Grant, 2012), modificação e deterioração no uso da terra (Meegaskimbura et al., 2002; Moresco et al., 2014; Perez-Iglesias et al., 2016), contaminação do solo e corpos d'água (Hayes et al., 2010), mudanças climáticas severas (McMenamin et al., 2008; de Oliveira et al., 2016) e a alta contaminação pelo fungo *Batrachochytrium dendrobatidis* (BD) (Vredenburg et al., 2010; Olson et al., 2013) acabam ameaçando a conservação de anuros neotropicais. Com tantos fatores que ameaçam a conservação dos anuros há uma crescente demanda de atenção a estes vertebrados, que exige maior entendimento do uso do habitat e pode indicar novos caminhos para a conservação dos anuros neotropicais na região brasileira, entre elas o uso e interação com o habitat subterrâneo.

Neste sentido, objetiva-se apresentar dados de anuros registrados em cavernas neotropicais brasileiras e identificar lacunas no conhecimento da ecologia de anuros. Especificamente objetiva-se (i) avaliar qual o atual panorama da ciência com registros de anuros em cavernas neotropicais brasileiras, (ii) identificar quais características bióticas dos animais influenciam na ocupação do habitat subterrâneo e (iii) apontar quais características abióticas das cavidades naturais influenciam na ocupação de cavernas por anuros e por fim (iv) apresentar uma interação inédita de predação de um anuro neotropical por uma aranha-pescadora no interior de uma cavidade discutindo o comportamento registrado e quais variáveis de história de vida (comportamental, ecológica e taxonômica) influenciam biologicamente na ocupação do meio hipógeo por anuros neotropicais.

CAPÍTULO I

Characterization of anuran amphibian fauna in caves in Brazil

Submetido em *Biota Neotropica* (Qualis B1 – Quadriênio 2017-2020; Fator de impacto: 1.20 – 2023) na seção “*Articles*”

Normas e diretrizes de submissão em
<https://www.biotaneotropica.org.br/BN/about/submissions>

Characterization of anuran amphibian fauna in caves in Brazil

Vinícius da Fontoura Sperandei^{1*}, Willian Vaz Silva², Francisco Leonardo Tejerina-Garro^{1,2,3}

¹ Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, 13565-905, Km 235, Rodovia Washington Luís, São Carlos, SP, Brazil.

² Programa de Pós-Graduação em Ciências ambientais e saúde, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Av. Universitária 1.440, Setor Universitário, 74605-010 - Goiânia, Goiás, Brazil.

³ Programa de Pós-Graduação em Sociedade, tecnologia e meio ambiente, Universidade Evangélica de Goiás, 75083-515, Av. Universitária km 3,5 Cidade Universitária – Anápolis, Goiás, Brazil.

*Corresponding author: vinicius.sperandei@gmail.com

ORCID:

Vinícius da Fontoura Sperandei: 0000-0002-3093-706X

Willian Vaz Silva: 0000-0001-6235-5331

Francisco Leonardo Tejerina-Garro: 0000-0002-5159-8108

Abstract: *The natural underground environment has unique characteristics when compared to surface environments. In these environments, the food web is simplified but includes organisms such as anuran amphibians. This work aims to characterize the presence of anurans in caves in the Brazilian neotropical region considering taxonomic, geographic, geological, and environmental information collected in the scientific literature. A total of 247 records of anurans in caves were found and distributed in 18 scientific papers throughout 42 years. Of this total, 177 (71.6%) records presented identification up to the specific epithet (54 species) with emphasis on the families Leptodactylidae (13 species; 24.1%), Hylidae (12; 22.2%) and Bufonidae (10; 18.5%). The records of anurans are predominant in the states of Minas Gerais (81 records; 34.8%) and São Paulo (35; 15.0%). The biome with the highest number of records is the Atlantic Forest with 78 (33.5%) followed by ecotonal zones between the Atlantic Forest and*

Cerrado (43 records; 18.5%). Environmental information is scarce in the consulted records, 12 contained information about the light zone of the cave where the anuran was found (9 in the entrance zone) and 63 with the information about the presence/absence of water bodies in the cave. The carbonaceous (109; 46.8%) and ferruginous (76; 33.9%) lithology of the caves is predominant. The records of anurans in caves come from articles (Full Paper type), in the biological knowledge area of community studies. The number of sampled caves is low (55 caves; 0.24%) compared to the total number of caves registered in Brazil. The results suggest that there is a need to implement studies for the understanding of the use of the underground habitat by neotropical anurans.

Keywords: *Atlantic Forest, carbonate geology, Speleology, Leptodactylidae, Linnean and Wallacean gap, Neotropical region*

Resumo: O ambiente subterrâneo natural apresenta características singulares quando comparado aos ambientes superficiais. Nesses ambientes a rede trófica é simplificada, mas inclui organismos como os anfíbios anuros. Este trabalho objetiva caracterizar a presença de anuros em cavernas da região neotropical brasileira considerando informações taxonômicas, geográficas, geológicas e ambientais coletadas na literatura científica. Foram encontrados 247 registros de anuros em cavernas, distribuídos em 18 trabalhos científicos em um intervalo de 42 anos. Desse total, 177 (71,6%) registros apresentaram identificação até o epíteto específico (54 espécies) com destaque para as famílias Leptodactylidae (13 espécies; 24,1%), Hylidae (12; 22,2%) e Bufonidae (10; 18,5%). Os registros de anuros são predominantes nos estados de Minas Gerais (81 registros; 34,8%) e São Paulo (35; 15,0%). O bioma com maior quantidade de registros é a Floresta Atlântica com 78 (33,5%) seguido de zonas ecotonais entre Floresta Atlântica e Cerrado (43 registros; 18,5%). As informações ambientais são escassas nos registros consultados, 12 continham a informação da zona de luminosidade da caverna em que o anuro foi encontrado (9 em zona de entrada) e 63 com a informação da presença/ausência de corpos d'água na caverna. A litologia carbonática (109; 46,8%) e ferruginosa (76; 33,9%) das cavernas é predominante. Os registros de anuros em cavernas são provenientes de artigos (tipo Trabalho Completo), em área do conhecimento biológico do estudo de comunidades. O número de cavernas amostradas é baixo (55 cavernas; 0,24%)

em relação ao número total de cavernas cadastradas no Brasil. Os resultados sugerem que há necessidade de implementar estudos para o entendimento do uso do habitat subterrâneo pelos anuros neotropicais.

Palavras-chave: espeleologia, Floresta Atlântica, geologia carbonática, lacuna Linneana e Wallaceana, Leptodactylidae, região neotropical

Introduction

Caves are natural subterranean cavities that make up the karst systems, originating from the chemical and physical dissolution of the matrix rock (Gilbert et al. 1994). In Brazil, these cavities are accessible to humans (BRASIL 2008) and are popularly known as caves, grunas, burrows, lapa, caves, and others. 23,278 natural cavities (caves; CECav 2022) have been recorded and registered, with an estimated 100 thousand caves (Auler et al. 2001, ICMBIO/CECAV 2017).

Natural cavities have their internal characteristics, but they interact with the external environment, providing photic and aphotic zones inside the cave in the deeper parts and where a stability of average temperature and humidity close to saturation is observed (Culver 1982, Culver & Pipan 2009, Tobin et al. 2013). The lack of natural light causes the total or partial absence of photosynthetic organisms, thus primary production is limited, with the available energy in the form of organic matter coming from the epigeal environment favored by physical and biological agents (Simon et al. 2007). This energy availability changes according to the geomorphology of the cave, creating unique conditions for each of them according to specific variations in connection with epigeal ecosystems (Poulson & White 1969, Souza-Silva et al. 2011, Pellegrini et al. 2016).

The entrance opening of the cavities (entrances) modulates several characteristics, in addition to the entry of nutrients, as it also acts as a filter for animals that enter by force of water, floods and that start to inhabit the cave environment even if for a short period (Simões et al. 2015). The entrance opening and the adjacent area of the cave can also act as nesting sites for birds, pollinating insects, and small non-flying mammals and shelter for various animals as it is a shaded area with mild conditions (Boulton et al. 2008, Medellín et al. 2017).

The cave community is classified considering the characteristics of the species (morphological, physiological, evolutionary, and behavioral) and affinity

with the underground habitat (Sket 2008, Culver & Pipan 2009, Romero Díaz 2009). Thus, and according to Sket (2008) based on the Schinner-Racovitza proposal, organisms are classified into i) troglloxenes, animals that are regularly found in the underground environment, but that needs to go to the surface environment to complete their life cycle; ii) trogllophiles, animals with affinity to the cave environment, but with underground and epigeal populations, and can even complete their life cycle entirely in cavities; iii) trogllobites, are obligate subterranean species, with morphological, behavioral and physiological variations in response to the selective pressures of the hypogean environment and are normally restricted to the local extension of the cave, d) “accidental” are animals that do not present pre-adaptations, but they “accidentally” enter the underground environment and end up not being able to establish themselves (Barr 1968, Sket 2008, Juan et al. 2010).

Among the animals that make up the “accidental” fauna of caves are anurans and reptiles, despite the recent understanding of the systemic use of this environment by herpetofauna (Martins de Andrade et al. 2021, Dos Santos 2022a, b). Concerning amphibians, there are species with affinity to the cave-dwelling environment, *such as*, for example, *Litoria cavernicola* Tyler and Davies, 1979, with a habitat in sandstone caves in Australia, *Rana italica* Dubois 1987, in Italy (Lunghi et al. 2018), *Eleutherodactylus cavernicola* Lynn, 1954, with endemic distribution in Jamaica (Stanely et al. 2021) and *Craugastor pelorus* Campbell and Savage, 2000, in southern Mexico (Couto et al. 2023). In Brazil, Trevelin et al. (2021) categorizes *Pristimantis* cf. *fenestratus* (Steindachner, 1864) as troglloxene in caves in the state of Pará, Martins de Andrade et al. (2021) indicates fidelity of cave use by the endemic species *Bokermannohyla martinsi* (Bokermann, 1964) in Minas Gerais and Vaz-Silva et al. (2020) describes the species *Oreobates antrum* to the northwest of Goiás discussing its presence in rocky environments and limestone outcrops in the region, including the popular name “rãzinha das cavernas” which is recorded by Motta et al. (2020) for caves in southwestern Tocantins.

Knowledge of the distribution patterns and composition of the cave community are important tools for measuring the importance of caves as an element of the landscape (Gibert & Deharveng 1994, 2002). About tropical cave fauna, more specifically in Brazil, is still incipient when compared to that of

temperate regions (Deharveng & Bedos 2012), although, in the last two decades, there has been a significant increase in the number of biospeleological studies addressing the fauna of invertebrates and cave-dwelling vertebrates (Delgado-Jaramillo et al. 2017, Parizotto et al. 2017, Gallão et al. 2018). Despite this, there are few studies of Brazilian anurofauna in caves with many knowledge gaps (*sensu* Hortal et al. 2015) to be filled (Guerra et al. 2018, Bichuette et al. 2022).

Therefore, the objective of this article is to build a checklist of anurans recorded in Brazilian neotropical caves and characterize the records considering taxonomic, geographic, geological and environmental information. In this way we will be able to identify possible concentrations of articles and areas that are still little studied and reinforce the theoretical framework by reducing the Linnean and Wallacean gaps.

Material and Methods

We use records of anurans in natural cavities in the Brazilian neotropical region mentioned in the literature. The scientific works chosen for data compilation were full papers and scientific notes, theses or dissertations and book chapters published until December 2022.

The search for scientific works was carried out on Google Scholar and in the scientific repositories SCOPUS, Web of Science, and AmphibiaWeb, which constitute suitable repositories of scientific literature (Falagas et al. 2008, Delgado & Repiso 2013, Martín-Martín et al. 2021). The selection of works in more than one database for the systematic search avoids bias in the collected data and consequently its interpretation (Archambault et al. 2009, Mongeon & Paul-Hus 2016).

Keywords were listed to search for scientific works in the repositories indicated independently or in combination and without limiting search time (Silva & Bianchi, 2001, da Silva et al. 2011). The keywords were: “anura”, “Brazilian caves”, “anurans”, “amphibians”, “frogs”, “underground cavities”, “underground habitat”, “underground environment”, “grotto”, “gruna”, “Toca”, “subterranean cavities”, “subterranean habitat”, “subterranean environment” and “burrow” (all terms were researched with their variations in Portuguese).

From the selected literature, each record of a different species or different location in each of the studies represented an independent record, so the total

number of records was the sum of the independent records in all articles found until December 2022. From the records taxonomic information (order, family, genus, specific epithet), geographic (Federative Unit, municipality, name of the cavity and biome), geological (type of cave lithology), environmental (description of the location of the anuran in the luminous zone - entrance) were extracted cave, dim or aphotic; presence of water and relating to the scientific literature consulted (type of publication - *Full Article*, *Short Communication*, Textbook or Dissertation; focus of the study; year of publication). In all cases, the absence of information was identified as “not available” (ND). Based on this information (called variables) a data matrix was created (Appendix I).

The data matrix for the descriptive analysis considered all records with information on anurans in Neotropical caves in the Brazilian region, regardless of the level of taxonomic identification being up to the specific epithet or not. To prepare the list of species, only records that contained the identification of the anuran up to the specific epithet were considered and those with identification at the family, genus, or morphotype level were excluded. The nomenclature of each species was checked and, when necessary, updated using the website database *Amphibian Species of the World* 6.1 (Frost, 2023), in addition to identification guides by Haddad et al. (2013), Freitas (2015), and Vaz-Silva et al. (2020).

The independent records, data on categorical variables were extracted, which involved the taxonomic identification data of the anuran, the record of the cave studied, the location of the cave, and the type of study itself (Table 1). These records point to individual observations of specimens in the cave environment, which indicates that the repetition of total specific epithets does not reflect species richness, since we will have more than one record for the same species in some cases.

From the data matrix, a descriptive analysis was carried out considering the categories of nominal variables (order, family, genus, specific epithet, cave, federative unit, municipality, lithology, biome, presence or absence of water, type of publication, focus of the study) and ordinals (photic zone and year of publication) used (Reis & Reis 2002, Silvestre 2007).

Results and Discussion

The literature review indicated 247 records of anurans inside Brazilian caves distributed in 18 scientific works (Appendix II). From the first work in which anurans are mentioned inside cavities in Brazil by Desen et al. (1980) until the last publication in the time frame of this work represented by Dos Santos et al. (2022) 42 years have passed. The growth in the number of publications in the last three years 2020 stands out – 2022 with eight of the 18 publications in this period.

Among the taxonomic variables, a smaller amount of information is observed in the “Specific epithet” category, since complete identification is often complex, with morphologically similar species belonging to the same genus, requiring a more accurate identification via comparison of the collected individuals (when available) with species from reference zoological collections (Haddad et al. 2015).

Table 1 - Absolute and relative values of independent records of nominal and ordinal variables extracted from the 18 scientific works considered and published from January 1980 to December 2022.

Variable	Absolutes	Relatives (%)
Order	247	100
Family	240	97.2
Genus	233	94.3
Specific epithet	177	71.7
Cave	99	40.1
State	184	74.5
County	182	73.7
Lithology	246	99.6
Light zone	12	4.9
Biome	183	74.1
Presence/Absence of water	63	25.5

The literature review indicates 54 species of anurans from caves in the Brazilian Neotropical region distributed in 11 families (Table 2 and Figure 1). In

this region, 1114 species of anurans are described, constituting one of the largest in the world (Segalla et al. 2021) of which the 54 species surveyed in this study correspond to 4.8%. The latter is low when considering that anurans have ecophysiological characteristics that favor the use of the underground environment (Eterovick et al. 2010, Matavelli et al. 2015).

Table 2 - Anuran species found in Brazilian natural cavities by state, lithology, and biome. States: BA = Bahia; GO = Goiás; MT = Mato Grosso; MS = Mato Grosso do Sul; MG = Minas Gerais, PA = Pará; PR = Paraná; RN = Rio Grande do Norte; SC = Santa Catarina; SP = São Paulo; SE = Sergipe; TO = Tocantins. Lithologies: Aren = sandstone; Carb = carbonate; Cong = conglomerate; Ferr = ferruginous; Gran = granitic; Quar = quartzite; Marb = marble. Biomes: Ama = Amazon Rainforest; Caa = Caatinga; Cerr = Cerrado; Atl = Atlantic Forest; Ecot = Ecotone .

Family	state	Lithology	Biome	Records
Genus and species				
Aromobatidae (S=1)				
<i>Allobates marchesianus</i> (Melin, 1941)	-	Ferr	Ama	1
Brachycephalidae (S=4)				
<i>Ischnocnema guentheri</i> (Steindachner , 1864)	MG	Ferr	-	1
<i>Ischnocnema izecksohni</i> (Caramaschi & Kisteumacher , 1989)	MG	Carb	-	1
<i>Ischnocnema juipoca</i> (Sazima & Cardoso, 1978)	MG	Carb - Ferr - Cong	Ecot (Cerr - Atl)	6
<i>Ischnocnema manezinho</i> (Garcia, 1996)	SC	Gran	Atl	7
Bufonidae (S=10)				
<i>Rhaebo guttatus</i> (Schneider, 1799)	PA	Aren - Ferr	Ama	3
<i>Rhinella crucifer</i> (Wied- Neuwied , 1821)	SP	Carb - Gran	Atl	3
<i>Rhinella diptycha</i> (Cope, 1862)	MG-SE	Aren - Carb	Cerr - Atl	6
<i>Rhinella granulosa</i> (Spix, 1824)	-	Carb	Caa	1
<i>Rhinella icterica</i> (Spix, 1824)	SP	Carb	Atl	2
<i>Rhinella magnussoni</i> Lima, Menin & Araújo, 2007	-	Ferr	Ama	1
<i>Rhinella margaritifera</i> (Laurenti, 1768)	MS	Carb	Cerr	1
<i>Rhinella marina</i> (Linnaeus, 1758)	PA	Ferr	Cerr	2
<i>Rhinella ornata</i> (Spix, 1824)	MG-SC	Gran - Ferr - Quar	Atl	7
<i>Rhinella rubescens</i> (Lutz, 1925)	MG	Ferr - Quar	Atl - Ecot (Cerr - Atl)	7
Craugastoridae (S=4)				
<i>Haddadus binotatus</i> (Spix, 1824)	MG	Ferr - Quar	-	2

<i>Oreobates antrum</i> Vaz-Silva, Maciel, GO-TO Andrade & Amaro, 2018		Carb	Cerr	2
<i>Oreobates heterodactylus</i> (Miranda-Ribeiro, 1937)	MT	Carb	Cerr	2
<i>Pristimantis fenestratus</i> (Steindachner, 1864)	MT-PA	Cong - Ferr	Ama	5
Cycloramphidae (S=4)				
<i>Cycloramphus eleutherodactylus</i> (Miranda-Ribeiro, 1920)	SP-PR	Carbs	Atl	6
<i>Thoropa megatypanum</i> Caramaschi & Sazima, 1984	MG	Ferr	-	2
<i>Thoropa miliaris</i> (Spix, 1824)	MG	Ferr - Gran - Quar	-	6
<i>Thoropa taophora</i> (Miranda-Ribeiro, 1923)	SP	Marm - Quar - Gran	Atl	3
Dendrobatidae (S=2)				
<i>Adelphobates galactonotus</i> (Steindachner, 1864)	PA	Ferr	Ama	2
<i>Ameerega flavopicta</i> (Lutz, 1925)	PA	Aren - Ferr	Ama	3
Hylidae (S=12)				
<i>Boana albopunctata</i> (Spix, 1824)	MG	Carb	Ecot (Cerr - Atl)	1
<i>Boana boans</i> (Linnaeus, 1758)	-	Ferr	Ama	1
<i>Boana faber</i> (Wied-Neuwied, 1821)	MG	Carb	Ecot (Cerr - Atl)	1
<i>Bokermannohyla hylax</i> (Heyer, 1985)	SP-SC	Carb - Gran	Atl	5
<i>Bokermannohyla martinsi</i> (Bokermann, 1964)	MG	Ferr	Cerr - Atl - Ecot (Cerr - Atl)	15
<i>Dendropsophus nanus</i> (Boulenger, 1889)	-	Aren	Cerr	1
<i>Phyllomedusa burmeisteri</i> Boulenger, 1882	-	Carb	Atl	1
<i>Scinax catharinae</i> (Boulenger, 1888)	SC	Gran	Atl	3
<i>Scinax eurydice</i> (Bokermann, 1968)	MG	Carb	-	1
<i>Scinax fuscovarius</i> (Lutz, 1925)	MG-MT	Aren - Carb - Cong - Ferr	Caa - Atl - Ecot (Cerr - Atl)	18
<i>Scinax ruber</i> (Laurenti, 1768)	MS	Carb	Cerr	1
<i>Scinax x-signatus</i> (Spix, 1824)	SE	Carb	Ecot (Caa - Atl)	6
Hylodidae (S=2)				

<i>Hylodes cardosoi</i> Lingnau , Canedo & Pombal, 2008	SP	Carb	Atl	1
<i>Hylodes heyeri</i> Haddad, Pombal & Bastos, 1996	SP	Carb	Atl	1
Leptodactylidae (S=13)				
<i>Leptodactylus flavopictus</i> Lutz, 1926	SP	Carbs	Atl	1
<i>Leptodactylus labyrinthicus</i> (Spix, 1824)	MT-MG-RN	Carb - Cong - Ferr - Marm	Cerr - Caa	7
<i>Leptodactylus latrans</i> (Steffen, 1815)	MG	Carbs	Ecot (Cerr - Atl)	1
<i>Leptodactylus macrosternum</i> Miranda-Ribeiro, 1926	-	Carbs	Cerr – Caa	2
<i>Leptodactylus mystacinus</i> (Burmeister, 1861)	SP-MG	Carb - Ferr	Cerr - Atl	6
<i>Leptodactylus paranaru</i> Magalhães, Lyra, Carvalho, Baldo, Brusquetti, Burella, Colli, Gehara, Giaretta, Haddad, Langone, López, Napoli, Santana, de Sá, and Garda, 2020	SC	Great	Atl	1
<i>Leptodactylus pentadactylus</i> (Laurenti, 1768)	PA	Ferr	Ama	2
<i>Leptodactylus syphax</i> Bokermann , 1969	-	Carb	Ama - Caa	2
<i>Leptodactylus troglodytes</i> Lutz, 1926	-	Carb	Caa	1
<i>Leptodactylus vastus</i> Lutz, 1930	SE	Carb	Atl - Ecot (Caa - Atl)	4
<i>Physalaemus cuvieri</i> Fitzinger, 1826	SE-BA-MG	Carb - Ferr	Caa - Cerr - Ecot (Caa - Atl)	7
<i>Physalaemus ephippifer</i> (Steindachner, 1864)	-	Ferr	Ama	1
<i>Physalaemus nattereri</i> (Steindachner, 1863)	MG	Ferr	-	1
Odontophrynidae (S=1)				
<i>Proceratophrys boiei</i> (Wied-Neuwied, 1824)	-	Gran	Atl	1
Pipidae (S=1)				
<i>Pipa carvalhoi</i> (Miranda-Ribeiro, 1937)	-	Ferr	Ama	1

The family with the greatest species richness was Leptodactylidae with 13 species (23.6% of the total sampled) followed by Hylidae with 12 species (21.8%) and Bufonidae with 10 species (18.2%). The families with the lowest richness

were Aromobatidae, Odontophrynidae, and Pipidae with only one species each (Figure 1). The species distribution of anurans found in caves follows the general distribution of species within anuran families in Brazil. Hylidae is the family with the largest number of species (373 species) in the Brazilian region, a fact common to all Neotropical subregions. This family is characterized by mostly arboreal individuals with broad morphological, behavioral, and ecological niche plasticity (Duellman 1999, Cohen et al. 2020). Leptodactylidae also has a high richness in Brazil with 181 species (Segalla et al. 2021). The anurans of this family have terrestrial or semi-aquatic habits, ranging from species measuring 20 to 1500mm, which allows for a greater niche breadth (Cohen et al. 2020). Bufonidae in turn has 100 species in Brazil. It is made up of more robust species, with thicker integuments and more resistant to water loss (Cohen et al. 2020). The Bufonidae family has a higher proportion of species in caves (10%) concerning the richness found in Brazil than Leptodactylidae (7.2%) and Hylidae (3.2%). Species from the three families aforementioned present different behaviors and size ranges and are present in all vegetation types of the Neotropical region (Duellman 1999, Bernarde 2012, Cohen et al. 2020).

Families with just one representative are smaller groupings when compared to families with more species. The Pipidae family has four species in the Brazilian neotropical region (1 recorded inside caves – Matavelli et al. 2015, Segalla et al., 2021). The members of this family have aquatic habits and a dorsoventrally flattened body. Odontophrynidae forms a group endemic to South America that encompasses 48 species (Segalla et al. 2021). In general, they are species with terrestrial habits and spend much of their time foraging in litter or underground, which can resemble a cave environment in abiotic conditions such as the absence of light or shading and relative humidity tending to saturation (Bernarde 2012). Aromobatidae is a family with 31 species present in the Amazon and Atlantic Forest biomes (Segalla et al. 2021). Individuals measure up to 35mm and have diurnal habits (Bernarde 2012), suggesting that caves may serve as a refuge from exposure to sunlight or favor foraging.

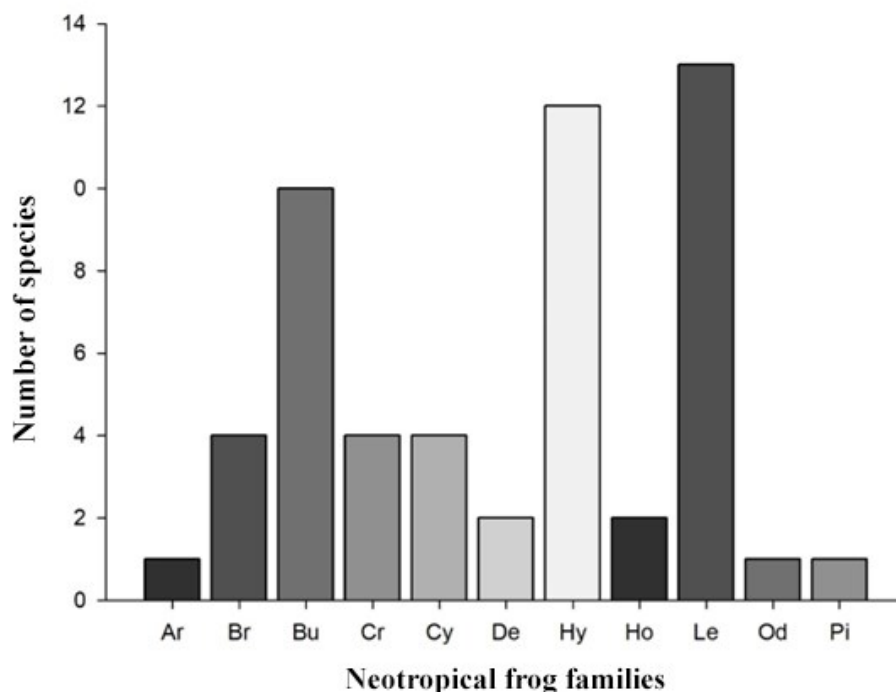


Figure 1: Number of species per family of Brazilian neotropical anurans recorded from underground cavities. Ar = Aromobatidae; Br: Brachycephalidae; Bu: Bufonidae; Cr: Craugastoridae; Cy: Cycloramphidae; From: Dendrobatidae; Hy: Hylidae; Ho: Hylodidae; Le: Leptodactylidae; Od: Odontophrynidae and Pi: Pipidae.

Records with identification up to the specific epithet totaled 177 independent records (71.7%). In 70 records (28.3%), individuals were classified by morphotype, in 233 records (94.3%) by genus, and in 240 (97.2%) by family.

The difference between taxonomic identifications up to morphotype (including identification at the family or genus level) and those up to the specific epithet is one of the problems related to the Linnean gap in the study of cave anurofauna in Brazil. This is because many species have very similar phenotypic characteristics, which prevents accurate identification in the field, which is aggravated when there is no collection of specimens and subsequent comparison with animals deposited in scientific collections for taxonomic identification purposes. This is an obstacle to the knowledge of anuran taxonomy (Bernarde 2012; Haddad et al. 2013) the indication of photomarks or collection for deposit in scientific collections by legislative bodies may indicate better recognition of species and reinforce the theoretical framework of the Linnean Gap.

Records by geographic variables

The anuran record inside a Brazilian cavity was accompanied by data from the Federative Unit (state) in 184 records (74.5%; Figure 2) and from the municipality 182 times (73.7%). The other data referred to a geopolitical region of the country (for example: Brazilian Northeast) or lithology (for example: in a carbonate cave). Records of anurans in cave environments are most abundant, mainly in the states of Minas Gerais (81 records; 34.8%) and São Paulo (35; 15.0%). Comparing the percentage of records of anurans found in caves by the number of caves, São Paulo has 897 caves and Minas Gerais 2836, which demonstrates a higher rate of records in the state of São Paulo. These federative units have a high density of caves in some sub-regions, with tourist activities and research conducted for many years, such as the Alto Ribeira Tourist State Park in São Paulo, founded in 1958, and Minas Gerais parks such as the Ibitipoca State Park (of 1973), Cavernas do Peruaçu National Park (established in 1999) and the Peter Lund State Natural Monuments (2005) and Gruta do Rei do Mato (2009), with the Peter Lund monuments being historical because it is the region in which Lund lived and explored mining carbonate caves during the 19th century (Holten & Sterll 2017).

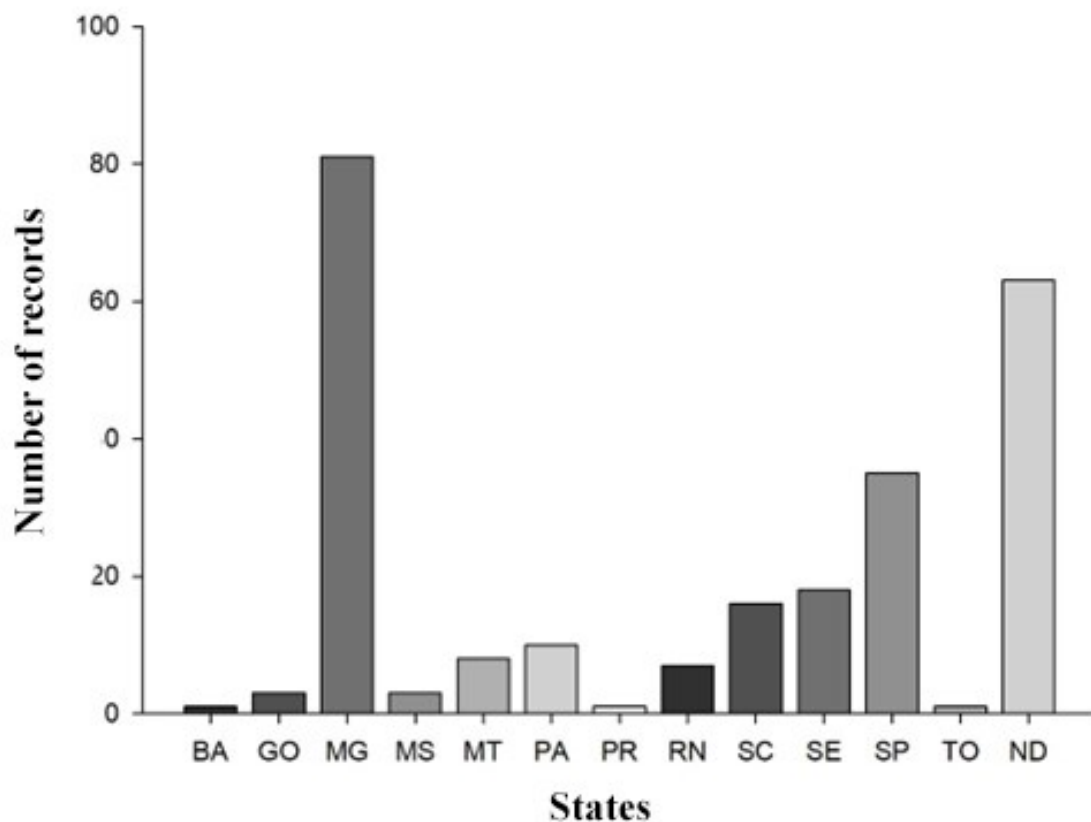


Figure 2: Number of anuran records in natural cavities in Brazilian states. BA: Bahia; GO: Goiás; MG: Minas Gerais; MS: Mato Grosso do Sul; MT: Mato Grosso; PA: Pará; PR: Paraná; RN: Rio Grande do Norte; SC: Santa Catarina; SE: Sergipe; TO: Tocantins; ND: not described.

In 99 records (40.1%) the natural cavity of the anuran found was identified, either by explicit information on the name of the cave in the text, by mentioning the geographic coordinate, or by consulting an official database (National Registry of Speleological Information – ICMBio / Cecav). The number of recorded cavities found in this study, when compared to the total number of recorded caves in Brazil in 2022, represents 0.24% of cavities with recorded anurans (Figure 3). The low number of caves with the presence of anurans does not reflect what was expected for a taxonomic group with ecophysiological affinities with this environment (Eterovick et al., 2010), since in work aimed at surveying anurans in cavities or monitoring the occupation of underground habitat, the encounter rate is high (Martins de Andrade et al. 2021, Bichuette et al. 2022).

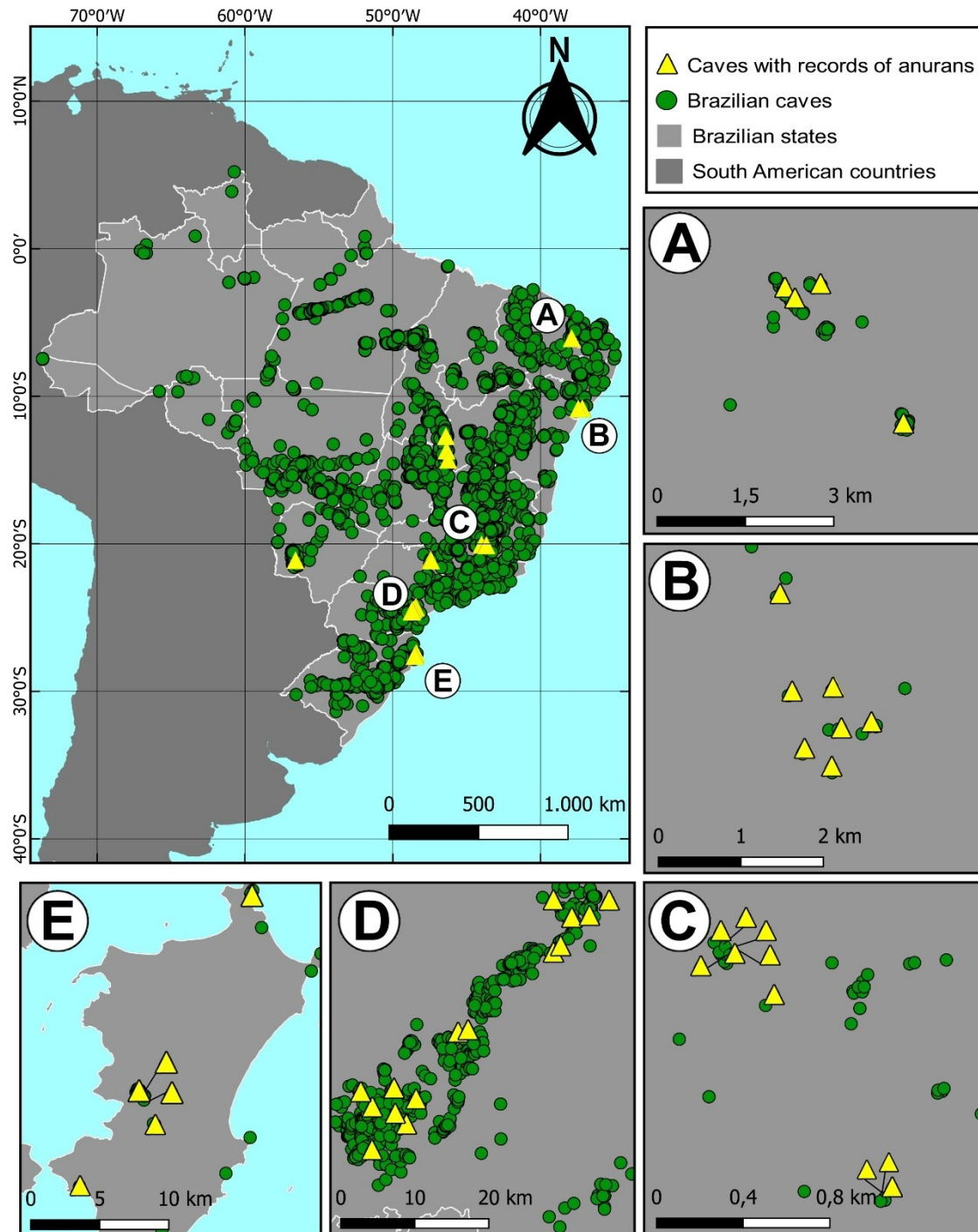


Figure 3: Caves according to the 2022 Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas CANIE/Cecav (green dots) and with recorded anurans (yellow triangle) and caves in the Brazilian neotropical region. A – concentration caves in Rio Grande do Norte; B – concentration caves in Sergipe; C – concentration caves in Minas Gerais; D – concentration caves in São Paulo state and E – concentration caves in Santa Catarina.

The predominant biomes of anuran records were the Atlantic Forest with 78 records (33.5%), the Atlantic Forest/Cerrado ecotonal zones with 43 (18.5%),

and Caatinga with 16 occurrences (6.9%), in addition to 19 records in the Amazon (8.2%), 17 in the Caatinga (7.3%) and 24 in the Cerrado (10.3%). The predominance of anuran occurrence in cavities of the Atlantic Forest follows the distribution of species from this taxonomic group in Brazilian biomes. In other words, this biome has the greatest richness of amphibian species (543 species; Haddad et al. 2012) with high rates of endemism (88%; Haddad et al. 2012). The Atlantic Forest is characterized by closed forests, several bodies of water, and high rates of precipitation and air humidity, which make it a *hotspot* for anurofauna (Haddad et al. 2012, Bichuette et al. 2022), these biomes richest in cave anurans also form the landscape in the states with the most records (São Paulo and Minas Gerais)

Records by environmental variables

The presence/absence of deposited water or bodies of water inside the cavity was reported in 63 of the 233 total records (25.5%) with 47 classifieds as intermittent (20.2%), 15 as perennial (6.4%), and one record (0.4%) indicating the absence of water in the cavity. The photic zone of the cave in which the anuran was located was reported in 12 records (4.9% of the total), with nine of them pointing to the entrance zone (3.9%), one to the dysphotic zone (0.4%) and one in the aphotic zone (0.4%). The low recording rate of this type of variable partially demonstrates the gap in knowledge regarding the use of cavities by anurans as habitat. The presence of water influences the reproduction and feeding processes, the latter mainly in tadpoles, on the rate of loss of body water, that is, it is important information about the life history of anurans and a bias for their biospeleological classification (Eterovick et al. 2010, Matavelli et al. 2015, dos Santos et al.

The luminosity categories considered constitute information that allows determining the use of cave space by anurans. For example, the occupation of the cave entrance area by anurans allows i) easy access to an escape exit or to forage in the external environment (mainly at night), ii) obtaining food since the natural light incident along with the fact that the cave entrance region is an ecotone favors a high richness of organisms consumed by anurans, and iii) a shaded environment that serves for the anurans to hide from predators and protect themselves against desiccation due to the heat of sunlight (Eterovick et

al. 2010, Simões et al. The occupation of deeper areas with indirect incidence of light (dysphotic zone) or no light (aphotic zone) may indicate a refuge mainly against visually-oriented predators (Bernarde 2012) or a feeding site (dysphotic zone, personal communication Francisco L. Tejerina -Garro).

Records by geological variable

Information about the lithology of the caves was found in 246 records (99.6%; Figure 4), with a predominance in carbonate (109 records; 46.8%) and ferruginous (76; 33.9%) regions. On the other hand, conglomerates have a low number of registrations (6; 2.4%).

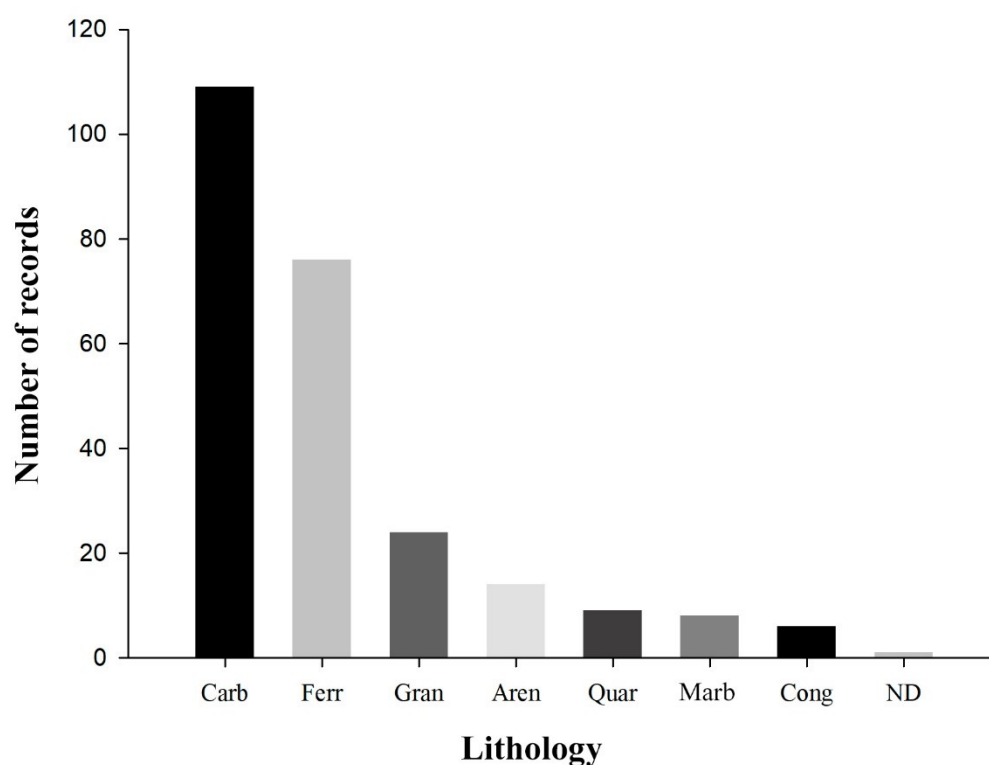


Figure 4: Number of records by type of lithology. Lithologies: Aren = sandstone; Carb = carbonate; Cong = conglomerate; Ferr = ferruginous; Gran = granitic; Quar = quartzite; Marb = marble; ND = Not available.

The two most frequent lithologies in records are associated with the geology of the region (including the administrative area of one or more states) where the caves are located. In Brazil, areas with ferruginous characteristics are more frequent in the iron quadrangle in Minas Gerais, in regions with Cerrado-type vegetation cover, in ecotones between Cerrado/Atlantic Forest and the

Carajás iron region in the state of Pará with Amazonian dominance. In turn, carbonate regions form large masses (groups) of much larger extensions that develop across several regions and different neotropical biomes, such as the Bambuí formation that passes through different biomes (Caatinga, Cerrado, Atlantic Forest, in addition to the ecotonal zones between them) and states (Minas Gerais, Goiás, Tocantins, Bahia; Rubioli et al. 2019, Dos Santos 2022b). Furthermore, the predominance of records (109) in carbonate rocks found in this study is related to the higher rate of speleogenesis favored by this type of lithology (Rubioli et al. 2019).

Records by type of scientific literature

Records of anuran amphibians in Brazilian natural cavities are distributed in four publication formats: Complete (*Full Article*; 11 works; 61.1% of total works), Scientific notes (*Short Communication*; 4; 22.2%), book chapter (2; 11.1%), master's dissertation (1; 5.6%).

Regarding the area of knowledge, most of the works (14 works; 77.8%) address community ecology, including in some cases other taxonomic groups in addition to anurans, that is, they cover endemic or troglobite species. In three publications (16.6%), population records are focused on one species: i) the permanence and occupation of ferruginous cavities of *Bookermannolynna martinsi* in Minas Gerais (Martins de Andrade et al. 2021), ii) in the vocalization activity of *Cycloramphus eleutherodactylus* in carbonate caves of São Paulo (Lima et al. 2012) and iii) in increasing the distribution and seasonal activity of the *Oreobates frog antrum* in carbonate caves in southeastern Tocantins (Motta et al. 2020). In the area of taxonomy, only one study (5.6%) recorded anurans inside cavities. This is a description of a species from Bolivia of the same genus as the Brazilian species *Oreobates antrum*; in the comparison made between the two species it is mentioned that *O. antrum* is found in natural underground cavities in the Brazilian Cerrado (Pansonato et al. 2020, Vaz-Silva et al. 2020).

Since the first publication in 1980 that pointed out the presence of anurans in cavities by Dessen et al. (1980) until 2022, 42 years have passed. During this period, 18 scientific works were published (Figure 5). Between 1980 and 2008, four studies were published with records of anurans inside natural cavities in the Brazilian Neotropical region (22.2% of the total), one per year and spaced apart

(5 to 10 years between publications). A specific and important milestone for the study of the underground environment was Normative 6640 of 2008, which specifies studies for the environmental licensing of natural cavities and studies of speleological relevance (BRASIL 2008). This situation and effect is notable when from 2009 to 2022, we have a total of 14 works (77.8%), including the first works in the area of populations and taxonomy. The last three years is the first period in which more than one work is published in this area, per year, demonstrating a recent understanding of the need for recording and scientific communication of the occupation and presence of anurans in Brazilian neotropical caves, added to the facts that globally we have had a significant increase in scientific publication and a greater number of researchers in Brazil.

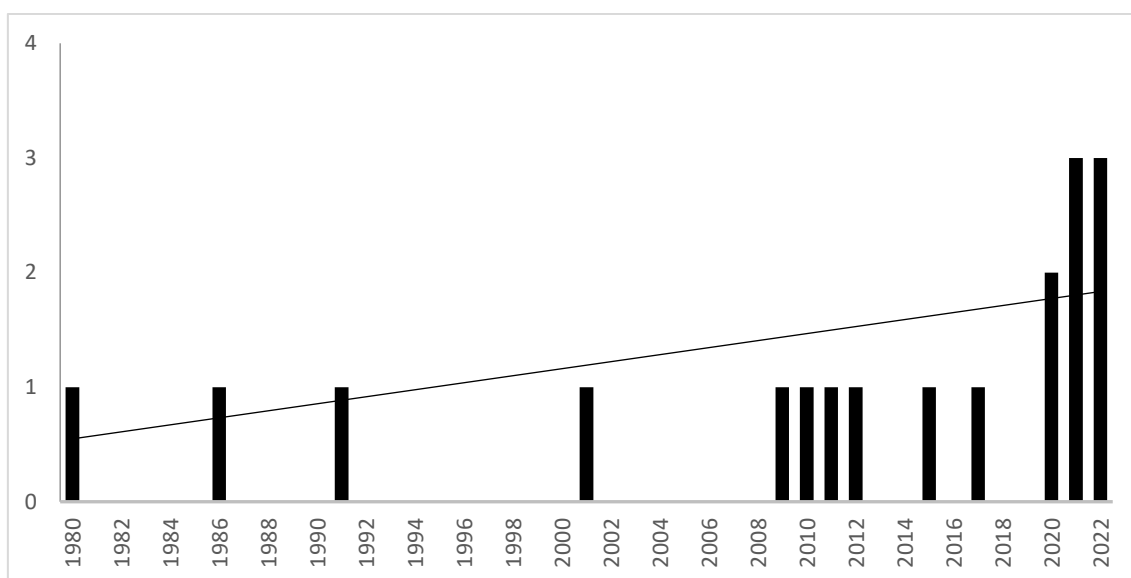


Figure 5: Number of scientific publications with records of anurans in Brazilian neotropical cavities per year from 1980 to 2022.

Conclusion

The study demonstrates a significant increase since 2008, the year in which legislation was implemented that provides for the environmental survey of Brazilian caves and their speleological classification for environmental licensing, as well as the increase in researchers and scientific articles worldwide. The records were concentrated in carbonate and ferruginous lithologies that have the largest number of caves in the region and have commercial appeal, mainly in the states of Minas Gerais and São Paulo and are in biomes of the Atlantic Forest

and Cerrado (ecotonal zone). The families with more species recorded in caves follow those with greater richness in the surface environment, indicating that there is a maintenance of comparative richness and there is no apparent predilection. It is recommended to supplement studies with anurans in Brazilian neotropical caves in regions still without records to reinforce the list of occurrences and legal parameters for data collection, whether specimens for comparison and identification in reference collections or specialized photographs to assist in identifications to reduce the Linnean and Wallacean gaps.

Acknowledgments

We thank the Postgraduate Program in Ecology and Natural Resources at the Federal University of São Carlos. This work is partially financed by the Coordination of Improvement of Higher Education Personnel – Brazil (CAPES) – Code 001.

Authors' Contribution

Vinícius F. Sperandei: contributed to data collection; data analysis and interpretation; and manuscript preparation. Willian Vaz-Silva: contribution to manuscript preparation; critical revision, adding intellectual content. Francisco L. Tejerina-Garro: contributed to the concept and design of the study; manuscript preparation; critical revision and adding intellectual content.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest related to this manuscript.

References

- ARAUJO, C.D.O., CONDEZ, T.H., BOVO, R.P., CENTENO, F.D.C. & LUIZ, A.M. 2010. Amphibians and reptiles of the Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), SP: an Atlantic Forest remnant of Southeastern Brazil. *Biota Neotrop.* 10(4):257–274. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032010000400031>
- ARCHAMBAULT, É., CAMPBELL, D., GINGRAS, Y. & LARIVIÈRE, V. 2009. Comparing bibliometric statistics obtained from the Web of Science and Scopus. *J. Am. Soc. Inf. Sci.* 60(7):1320–1326. <https://doi.org/10.1002/asi.21062>
- BARR, T.C. 1968. Cave Ecology and the Evolution of Troglobites. In *Evolutionary Biology* (T. Dobzhansky, M. K. Hecht, & W. C. Steere, eds) Springer US, Boston, MA, p.35–102. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-8094-8_2

BERNARDE, P.S. 2012. Anfíbios e répteis: introdução ao estudo da herpetofauna brasileira. 1a edição ed. Anolis Books, Curitiba, Brazil. ISBN: 9788565622004

BICHUETTE, M.E., SPERANDEI, V.F., BERTOLINI, D.L.V., SIMÃO, P.X. & SABBAG, A.F. 2022. Frogs of seven granitic caves on Santa Catarina Island, Florianópolis Municipality, Santa Catarina State, southern Brazil. *Herpetology Notes* 15. 353-359.

BOULTON, A.J., FENWICK, G.D., HANCOCK, P.J. & HARVEY, M.S. 2008. Biodiversity, functional roles and ecosystem services of groundwater invertebrates. *Invert. Systematics* 22(2):103. <https://doi.org/10.1071/IS07024>.

BRASIL. 2008. Decreto-lei no 6.640 de sete de novembro. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm Retrieved February 22, 2023.

BRASIL. 2009. Instrução Normativa No2, de 20 de agosto de 2009. Ministério do Meio Ambiente, Brasil. <https://www legisweb.com.br/legislacao/?id=78153> Retrieved February 22, 2023.

BRASIL. 2017. Instrução Normativa nº 01, de 24/01/2017. Instituto Chico Mendes de Biodiversidade, Brasil. https://www.gov.br/icmbio/pt-br/acesso-a-informacao/institucional/legislacao/instrucoes-normativas/arquivos/intrucao_normativa_01_2017.pdf Retrieved February 22, 2023.

COHEN, G.J., PAREDERO, R.C.B., KANASIRO, A. & SUGIHARA, V.S. 2020. Herpetofauna da cuesta paulista. Anolis Books, São Paulo, Brazil. ISBN: 978-65-992458-0-0

COSTA, J.C.R., MARCHI, G.H., SANTOS, C.S., ANDRADE, M.C.M., CHAVES JUNIOR, S.P., SILVA, M.A.N., MELO, M.N. & ANDRADE, A.J. 2021. First molecular evidence of frogs as a food source for sand flies (Diptera: Phlebotominae) in Brazilian caves. *Parasitol Res* 120(5):1571–1582. <https://doi.org/10.1007/s00436-021-07154-3>

COUTO, H., MADEIRA, M.M., HERNÁNDEZ ORDÓÑEZ, O., REYNOSO, V.H. & ROSA, G.M. 2023. Cave-Dwelling Populations of the Monstrous Rainfrog

(*Craugastor pelorus*) from Mexico. *Diversity* 15(2):189.
<https://doi.org/10.3390/d15020189>

CULVER, D.C. 1982. *Cave Life: Evolution and Ecology*. Massachusetts and London: Harvard University Press. Cambridge. ISBN: 9780674330214

CULVER, D.C. & PIPAN, T. 2009. *The biology of caves and other subterranean habitats*. Oxford University Press, New York. ISBN: 9780199219933
 9780199219926

DE ARAÚJO, J.P.M., BASÍLIO, G.H.N., DE FREITAS KRAMER, M.A., MOURA, T.H.S., NETO, M.R. & DA SILVA, M. 2017. Fauna cavernícola e os impactos ambientais ao patrimônio espeleológico do município de Martins, Rio Grande do Norte, Brasil. *Espeleo-Tema*. 28(2), 107-123.

DELGADO-LÓPEZ-CÓZAR, E. & REPISO-CABALLERO, R. 2013. The impact of scientific journals of communication: Comparing Google Scholar Metrics, Web of Science and Scopus. *Comunicar: Revista Científica de Comunicación y Educación* 21(41):45–52. <https://doi.org/10.3916/C41-2013-04>

DELGADO-JARAMILLO, M., BARBIER, E. & BERNARD, E. 2018. New records, potential distribution, and conservation of the Near Threatened cave bat *Natalus macrourus* in Brazil. *Oryx* 52(3):579–586.
<https://doi.org/10.1017/S0030605316001186>

DESSEN, E.M.B., ESTON, V.R., SILVA, M.S., TEMPERINI-BECK, M.T., TRAJANO E. 1980. Levantamento preliminar da fauna de cavernas de algumas regiões do Brasil. *Ciência e Cultura* 32(6): 714–725.

DONATO, C.R. 2011. *Análise de impacto sobre as cavernas e seu entorno no município de Laranjeiras, Sergipe*. Universidade Federal de Sergipe. Master's Thesis.

DOS SANTOS, T., MARQUES DE SOUZA, A., BONDEZAN, F.L. & ETEROVICK, P.C. 2022. Going Underground: What the Natural History Traits of Cave Users Can Tell Us about Cave Use Propensity. *Journal of Herpetology* 56(2).
<https://doi.org/10.1670/20-055>

- DOS SANTOS, T., FERREIRA, R.L., DE SOUZA, A.M., ANDRADE, M.C.M., Costa, J.C.R., ETEROVICK., P.C. 2022b. Anfíbios e Répteis em cavernas. In: ZAMPAULO, R. de A. 2022. Fauna Cavernícola do Brasil. Rupestre, BELO HORIZONTE, MG. p. 492-508. ISBN: 9786587674056
- DUELLMAN, W. E. 1999. Distribution patterns of amphibians in the South America. 255-327. In: Patterns of distribution of amphibians: a global perspective. Baltimore, Johns Hopkins University Press. ISBN: 9780801861154
- ETEROVICK, P.C., RIEVERS, C.R., KOPP, K., WACHLEVSKI, M., FRANCO, B.P., DIAS, C.J., BARATA, I.M., FERREIRA, A.D.M. & AFONSO, L.G. 2010. Lack of phylogenetic signal in the variation in anuran microhabitat use in southeastern Brazil. *Evol Ecol* 24(1):1–24. <https://doi.org/10.1007/s10682-008-9286-9>
- FALAGAS, M.E., PITSOUNI, E.I., MALIETZIS, G.A. & PAPPAS, G. 2008. Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: strengths and weaknesses. *FASEB j.* 22(2):338–342. <https://doi.org/10.1096/fj.07-9492LSF>
- FREITAS, M. A. 2015. Herpetofauna no nordeste brasileiro: guia de campo. Technical Books. ISBN: 8561368500
- FERREIRA, R.L., SOUZA-SILVA, M., ZAMPAULO, R.A. 2022. A vida subterrânea no Carste de Pains: biodiversidade, ameaças e conservação de fauna em uma notável paisagem cárstica tropical. in: A Região Cárstica de Pains. Instituto Chico Mendes - ICMBio, Brasília, DF. ISBN: 9786556930367
- GALLÃO, J.E. & BICHUETTE, M.E. 2018. Brazilian obligatory subterranean fauna and threats to the hypogean environment. *ZK* 7461–23. <https://doi.org/10.3897/zookeys.746.15140>
- GIBERT, J., DANIELOPOL, D. & STANFORD, J.A., eds. 1994. Groundwater ecology. Academic Press, San Diego. ISBN: 9780122821103
- GIBERT, J. & DEHARVENG, L. 2002. Subterranean Ecosystems: A Truncated Functional Biodiversity. *BioScience* 52(6):473. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0473:SEATFB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0473:SEATFB]2.0.CO;2)

- GOUVEIA, S.F., ROCHA, P.A., MIKALAUSKAS, J.S., & SILVEIRA, V.V. 2009. *Rhinella jimi* (Cururu toad) and *Leptodactylus vastus* (Northeastern pepper frog). Predation on bats. *Herpetological review*, 40(2), 210.
- GUERRA, V., LLUSIA, D., GAMBALE, P.G., MORAIS, A.R.D., MÁRQUEZ, R. & BASTOS, R.P. 2018. The advertisement calls of Brazilian anurans: Historical review, current knowledge and future directions T. Robillard, ed. PLoS ONE 13(1):e0191691. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191691>
- HADDAD, C.F.B., TOLEDO, L.F. & PRADO, C.P.A. 2008. Anfíbios da Mata Atlântica: guia dos anfíbios anuros da Mata Atlântica = guide for the Atlantic forest anurans. Editora Neotropica, São Paulo, SP. ISBN: 8599049038
- HADDAD, N.M. et al. 2015. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Sci. Adv.* 1(2):e1500052. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052>
- HOLTEN, B. & STERLL, M. 2017. Peter Wilhelm Lund: Life and Work. In *Archaeological and Paleontological Research in Lagoa Santa* (P. Da-Gloria, W. A. Neves, & M. Hubbe, eds) Springer International Publishing, Cham, p.11–26. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57466-0_2
- HORTAL, J., DE BELLO, F., DINIZ-FILHO, J.A.F., LEWINSOHN, T.M., LOBO, J.M. & LADLE, R.J. 2015. Seven Shortfalls that Beset Large-Scale Knowledge of Biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 46(1):523–549. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054400>
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). 2023. Anuário estatístico do patrimônio espeleológico brasileiro 2023. <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/cecav/anuario-estatistico-do-patrimonio-espeleologico-brasileiro/cecav-anuario-estatistico-espeleologico-2022.pdf> Retrieved January 25, 2024.
- JUAN, C., GUZIK, M.T., JAUME, D. & COOPER, S.J.B. 2010. Evolution in caves: Darwin's 'wrecks of ancient life' in the molecular era. *Molecular Ecology* 19(18):3865–3880. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2010.04759.x>

LIMA, A.M.X. DE, ARAUJO, C. DE O., VERDADE, V.K. 2012. *Cycloramphus eleutherodactylus* (alto button frog): calling among rocks and caves. *Herpetological Bulletin* 120: 39–42.

LUNGI, E., BRUNI, G., FICETOLA, F.G. & MANENTI, R. 2018. Is the Italian stream frog (*Rana italica* Dubois, 1987) an opportunistic exploiter of cave twilight zone? *SB* 2549–60. <https://doi.org/10.3897/subtbiol.25.23803>

MARTÍN-MARTÍN, A., THELWALL, M., ORDUNA-MALEA, E. & DELGADO LÓPEZ-CÓZAR, E. 2021. Google Scholar, Microsoft Academic, Scopus, Dimensions, Web of Science, and OpenCitations' COCI: a multidisciplinary comparison of coverage via citations. *Scientometrics* 126(1):871–906. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03690-4>

MARTINS DE ANDRADE, M. C., ROCHA COSTA, J. C., & CABRAL ETEROVICK, P. A. U. L. A. 2021. Fidelity in the use of iron caves by *Bokermannohyla martinsi* (Anura: Hylidae): a step further in unveiling the importance of Brazilian caves for the herpetofauna. *Salamandra*, 57(4).

MATAVELLI, R., MARTINS CAMPOS, A., NEVES FEIO, R. & LOPES FERREIRA, R. 2015. Occurrence of anurans in brazilian caves. *AC* 44(1):.

MEDELLIN, R.A., WIEDERHOLT, R. & LOPEZ-HOFFMAN, L. 2017. Conservation relevance of bat caves for biodiversity and ecosystem services. *Biological Conservation* 21145–50. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.01.012>

MONGEON, P. & PAUL-HUS, A. 2016. The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. *Scientometrics* 106(1):213–228. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5>

MOTTA, A., LYRA, M., GAZONI, T., PARISE-MALTEMPI, P.P., & HADDAD, C.F. 2020. New distribution records of *Oreobates antrum* Vaz-Silva, Maciel, Andrade and Amaro, 2018, a cave-associated species from the Seasonally Dry Tropical Forest in the Brazilian Cerrado (Anura: Brachycephaloidea: Craugastoridae). *Herpetology Notes*, 13, 561-563.

PANSONATO, A., MOTTA, A., CACCIALI, P., HADDAD, C.F.B., STRÜSSMANN, C. & JANSEN, M. 2020. On the Identity of Species of *Oreobates* (Anura: Craugastoridae) from Central South America, with the Description of a New

Species from Bolivia. *Journal of Herpetology* 54(4):. <https://doi.org/10.1670/20-001>

PARIZOTTO, D.R., PIRES, A.C., MISE, K.M. & FERREIRA, R.L. 2017. Troglobitic invertebrates: improving the knowledge on the Brazilian subterranean biodiversity through an interactive multi-entry key. *Zootaxa* 4365(4). <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4365.4.1>

PELLEGRINI, T., SALES, L.P., AGUIAR, P. & LOPES FERREIRA, R. 2016. Linking spatial scale dependence of land-use descriptors and invertebrate cave community composition. *SB* 1817–38. <https://doi.org/10.3897/subtbiol.18.8335>.

PINTO-DA-ROCHA, R., SESSEGOLO, G.C. 2001. Estudo da fauna de Gruta de São Miguel I, Serra da Bodoquena (MS), como subsídio para o plano de manejo. In: ROCHA, L.F.S., OLIVEIRA, SESS, G.C. *Conservando Cavernas. Quinze anos de espeleologia GEEPAçungi*, 125-135.

POULSON, T.L. & WHITE, W.B. 1969. The Cave Environment: Limestone caves provide unique natural laboratories for studying biological and geological processes. *Science* 165(3897):971–981. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.165.3897.971>

REIS, E.A., REIS I.A. 2002. *Análise Descritiva de Dados. Relatório Técnico do Departamento de Estatística da UFMG.* www.est.ufmg.br Retrieved July 15, 2023.

ROMERO DÍAZ, A. 2009. *Cave biology: life in darkness.* Cambridge University Press, Cambridge, UK ; New York. ISBN: 0521828465

RUBBIOLI, E., AULER, A., MENIN, D., & BRANDI, R. 2019. *Cavernas-Atlas do Brasil Subterrâneo.* Brasília, ICMBio/CECAV. 370p. ISBN: 9786550240011

SILVA, J.A.D. & BIANCHI, M.D.L.P. 2001. Cientometria: a métrica da ciência. *Paidéia* (Ribeirão Preto) 11(21):5–10. <https://doi.org/10.1590/S0103-863X2001000200002>

SILVESTRE, A. 2007. *Análise de dados e estatística descritiva.* Editora Escola. ISBN: 9789725922088

- SIMÕES, M.H., SOUZA-SILVA, M. & LOPES FERREIRA, R. 2015. Cave physical attributes influencing the structure of terrestrial invertebrate communities in Neotropics. SB 16103–121. <https://doi.org/10.3897/subtbiol.16.5470>
- SIMON K.S., PIPAN T., CULVER D.C. 2007. A conceptual model of the flow and distribution of organic carbon in caves. *Journal of Cave and Karst Studies* 69(2), 279-284.
- SKET, B. 2008. Can we agree on an ecological classification of subterranean animals? *Journal of Natural History* 42(21–22):1549–1563. <https://doi.org/10.1080/00222930801995762>
- SOUZA SILVA, M., MARTINS, R.P. & FERREIRA, R.L. 2015. Cave Conservation Priority Index to Adopt a Rapid Protection Strategy: A Case Study in Brazilian Atlantic Rain Forest. *Environmental Management* 55(2):279–295. <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0414-8>
- SILVA, M., PARENTONI MARTINS, R. & LOPES FERREIRA, R. 2011. Trophic Dynamics in a Neotropical Limestone Cave. SB 9127–138. <https://doi.org/10.3897/subtbiol.9.2515>
- STANELY, L., MURRAY, C.M., MURRAY, J.J. & CROTHER, B.I. 2021. Areas of endemism of Jamaica: inferences from Parsimony Analysis of Endemism based on amphibian and reptile distributions. BG 36(0):a006. <https://doi.org/10.21426/B636052803>
- 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. IJS 42(3):203–214. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.42.3.4>.
- TRAJANO, E. 1987. Fauna cavernícola brasileira: composição e caracterização preliminar. *Revista Brasileira de Zoologia* 3(8): 533-561.
- TRAJANO, E., GNASPINI, P.N. 1991. Composição da fauna cavernícola brasileira, com uma análise da distribuição dos táxons. *Revista Brasileira de Zoologia* 7(3): 383–407.

TREVELIN, L.C., SIMÕES, M.H., PROUS, X., PIETROBON, T., BRANDI, I.V. & JAFFÉ, R. 2021. Optimizing speleological monitoring efforts: insights from long-term data for tropical iron caves. PeerJ 9e11271. <https://doi.org/10.7717/peerj.11271>

VAZ-SILVA, W., MACIEL, N.M., NOMURA, F., MORAIS, A.R.D., BATISTA, V.G., SANTOS, D.L., ANDRADE, S.P., OLIVEIRA, A.Â.B.D., BRANDÃO, R.A. & BASTOS, R.P. 2020. Guia de identificação das espécies de anfíbios (Anura e Gymnophiona) do estado de Goiás e do Distrito Federal, Brasil Central. Sociedade Brasileira de Zoologia. <https://doi.org/10.7476/9786587590011>

Appendix I: Data from independent records and variables listed in publications.

RECORD	ORDER	FAMILY	GENUS	SPECIFIC EPITHE	CAVE	STATE	COUNTY	LITOLOGY	ZONE- FOOTIC	BIOME	PRESENCE OF WATER	PUBLICATION YEAR	PUBLICATION FOCUS	PUBLICATION TYPE	CITED IN (Appendix II)
1	Anura	Aromobatidae	Allobates	marchesianus	ND	ND	ND	Ferruginous	ND	Amazon	ND	2015	Communities	Full Article	9
2	Anura	Aromobatidae	Allobates	sp.	ND	ND	ND	Ferruginous	ND	Amazon	ND	2015	Communities	Full Article	9
3	Anura	Aromobatidae	Allobates	sp.1	ND	ND	ND	Ferruginous	ND	Amazon	ND	2015	Communities	Full Article	9
4	Anura	Aromobatidae	Allobates	sp.	ND	PA	Curionópolis	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
5	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	guentheri	ND	MG	Itabirito	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
6	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	izecksohni	ND	MG	Pains	Carbonatic	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
7	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	juipoca	ND	MG	Moeda	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
8	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	juipoca	ND	MG	São Joaquim	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
9	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	sp.	ND	MG	Pains	Carbonatic	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
10	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	sp.	ND	MG	São Joaquim	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
11	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	sp.1	ND	MG	Pains	Carbonatic	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2022	Communities	Book chapter	17
12	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	sp.2	ND	MG	Pains	Carbonatic	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
13	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	sp.2	ND	MG	Pains	Carbonatic	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2022	Communities	Book chapter	17
14	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	sp.3	ND	MG	Pains	Carbonatic	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2022	Communities	Book chapter	17
15	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	juipoca	ND	ND	ND	Carbonatic	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9

16	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	juipoca	ND	ND	ND	Conglomerate	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9
17	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	juipoca	ND	ND	ND	Ferruginous	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9
18	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	juipoca	ND	ND	ND	Quartzite	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9
19	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	sp.	ND	ND	ND	Arenitic	ND	Brazilian savanna	ND	2015	Communities	Full Article	9
20	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	sp.1	ND	ND	ND	Carbonatic	ND	Brazilian savanna	ND	2015	Communities	Full Article	9
21	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	sp.2	ND	ND	ND	Granitic	ND	Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9
22	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	sp.3	ND	ND	ND	Quartzite	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9
23	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	sp.4	ND	ND	ND	Quartzite	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9
24	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	sp.5	ND	ND	ND	Ferruginous	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9
25	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	manezinho	Caverna Lage	SC	Florianópolis	Granitic	ND	Atlantic Forest	Perennial	2022	Communities	Short communication	16
26	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	manezinho	Caverna Monte Verde	SC	Florianópolis	Granitic	ND	Atlantic Forest	Intermittent	2022	Communities	Short communication	16

27	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	manezinho	Caverna Monte Verde	SC	Florianópolis	Granitic	ND	Atlantic Forest	Intermittent	2022	Communities	Short communication	16
28	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	manezinho	Caverna Pedras Grandes	SC	Florianópolis	Granitic	ND	Atlantic Forest	Perennial	2022	Communities	Short communication	16
29	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	manezinho	Caverna Praia Brava	SC	Florianópolis	Granitic	ND	Atlantic Forest	Perennial	2022	Communities	Short communication	16
30	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	manezinho	Caverna Saco dos Limões	SC	Florianópolis	Granitic	ND	Atlantic Forest	Ausente	2022	Communities	Short communication	16
31	Anura	Brachycephalidae	Ischnocnema	manezinho	Sistema Água Corrente	SC	Florianópolis	Granitic	ND	Atlantic Forest	Perennial	2022	Communities	Short communication	16
32	Anura	Bufo	Rhinella	ornata	ND	MG	ND	Ferruginous	ND	Atlantic Forest	ND	2021	Communities	Full Article	13
33	Anura	Bufo	Rhinella	rubescens	ND	MG	ND	Ferruginous	ND	Atlantic Forest	ND	2021	Communities	Full Article	13
34	Anura	Bufo	Rhinella	crucifer	ND	MG	Pains	Carbonatic	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2022	Communities	Book chapter	17
35	Anura	Bufo	Rhinella	diptycha	ND	MG	Arcos	Carbonatic	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
36	Anura	Bufo	Rhinella	diptycha	ND	MG	Montes Claros	Carbonatic	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
37	Anura	Bufo	Rhinella	diptycha	ND	MG	Pains	Carbonatic	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
38	Anura	Bufo	Rhinella	diptycha	ND	MG	Pains	Carbonatic	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2022	Communities	Book chapter	17
39	Anura	Bufo	Rhinella	ornata	ND	MG	Conceição do Mato Dentro	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
40	Anura	Bufo	Rhinella	ornata	ND	MG	Itabirito	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
41	Anura	Bufo	Rhinella	ornata	ND	MG	Mariana	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
42	Anura	Bufo	Rhinella	ornata	ND	MG	Dores de Campos	Granitic	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
43	Anura	Bufo	Rhinella	ornata	ND	MG	Congonhas	Quartzite	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
44	Anura	Bufo	Rhinella	rubescens	ND	MG	Bárbara	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
45	Anura	Bufo	Rhinella	rubescens	ND	MG	Itabirito	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
46	Anura	Bufo	Rhinella	rubescens	ND	MG	Mariana	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
47	Anura	Bufo	Rhinella	rubescens	ND	MG	Moeda	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18

48	Anura	Bufo	Rhinella	rubescens	ND	MG	Morro do Pilar	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
49	Anura	Bufo	Rhinella	margaritifera	Gruta de São Miguel	MS	Bonito	Carbonatic	ND	Brazilian savanna	ND	2001	Communities	Book chapter	4
50	Anura	Bufo	Rhinella	crucifer	ND	ND	ND	Granitic	ND	Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9
51	Anura	Bufo	Rhinella	diptycha	ND	ND	ND	Arenitic	ND	Brazilian savanna	ND	2015	Communities	Full Article	9
52	Anura	Bufo	Rhinella	granulosa	ND	ND	ND	Carbonatic	ND	Caatinga	ND	2015	Communities	Full Article	9
53	Anura	Bufo	Rhaebo	guttatus	ND	ND	ND	Arenitic	ND	Amazon	ND	2015	Communities	Full Article	9
54	Anura	Bufo	Rhaebo	guttatus	ND	ND	ND	Ferruginous	ND	Amazon	ND	2015	Communities	Full Article	9
55	Anura	Bufo	Rhinella	magnussoni	ND	ND	ND	Ferruginous	ND	Amazon	ND	2015	Communities	Full Article	9
56	Anura	Bufo	Rhinella	marina	ND	ND	ND	Ferruginous	ND	Brazilian savanna	ND	2015	Communities	Full Article	9
57	Anura	Bufo	Rhinella	rubescens	ND	ND	ND	Quartzite	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9
58	Anura	Bufo	Rhinella	sp.	ND	ND	ND	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9
59	Anura	Bufo	Rhinella	sp.1	ND	ND	ND	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9
60	Anura	Bufo	Rhaebo	guttatus	ND	PA	Curionópolis	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
61	Anura	Bufo	Rhinella	marina	ND	PA	Curionópolis	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
62	Anura	Bufo	Rhinella	sp.1	Caverna Apartamento de Pedra	RN	Martins	Marble	ND	Caatinga	ND	2017	Communities	Full Article	10
63	Anura	Bufo	Rhinella	sp.1	Caverna Dorminhoco	RN	Martins	Marble	ND	Caatinga	ND	2017	Communities	Full Article	10
64	Anura	Bufo	Rhinella	sp.1	Caverna Três Inchus	RN	Martins	Marble	ND	Caatinga	ND	2017	Communities	Full Article	10
65	Anura	Bufo	Rhinella	sp.2	Caverna Apartamento de Pedra	RN	Martins	Marble	ND	Caatinga	ND	2017	Communities	Full Article	10
66	Anura	Bufo	Rhinella	ornata cf.	Caverna Lage	SC	Florianópolis	Granitic	ND	Atlantic Forest	Perennial	2022	Communities	Short communication	16

67	Anura	Bufo	Rhinella	diptycha	Caverna Casa de Pedra	SE	Itabaiana	Carbonatic	ZE	Atlantic Forest	ND	2009	Communities	Short communication	5
68	Anura	Bufo	Rhinella	crucifer	Abismo das Ossadas (SP-133)	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	ND	1980	Communities	Full Article	1
69	Anura	Bufo	Rhinella	sp.	Caverna do Betari	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	ND	1980	Communities	Full Article	1
70	Anura	Bufo	Rhinella	sp.	Gruta Itambé (SP-179)	SP	Altinópolis	Arenitic	ZE	Atlantic Forest	Intermittent	1986	Communities	Full Article	2
71	Anura	Bufo	Rhinella	sp.	Gruta Olho de Cabra (SP-178)	SP	Altinópolis	Arenitic	ZE	Atlantic Forest	Intermittent	1986	Communities	Full Article	2
72	Anura	Bufo	Rhinella	sp.	Gruta dos Paiva (SP-42)	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	Intermittent	1991	Communities	Full Article	3
73	Anura	Bufo	Rhinella	icterica	ND	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	ND	2010	Communities	Full Article	6
74	Anura	Bufo	Rhinella	icterica	ND	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	ND	2010	Communities	Full Article	6
75	Anura	Cerato	Cerato	sp.	Caverna Marreca (SP-50)	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	ND	1980	Communities	Full Article	1
76	Anura	Cerato	Cerato cf.	sp.	Gruta do Tufo (SP-248)	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	Perennial	1991	Communities	Full Article	3
77	Anura	Craugastor	Oreobates	antrum	Gruta dos Revolucionários	GO	Posse	Carbonatic	ND	Brazilian savanna	ND	2020	Population	Short communication	11
78	Anura	Craugastor	Haddadus	binotatus	ND	MG	São Joaquim	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
79	Anura	Craugastor	Haddadus	binotatus	ND	MG	Congonhas	Quartzite	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
80	Anura	Craugastor	Oreobates	heterodactylus	Caverna do Cadeado	MT	Cáceres	Carbonatic	ND	Brazilian savanna	ND	2020	Taxonomy	Full Article	12
81	Anura	Craugastor	Oreobates	heterodactylus	Gruta Fazendinha	MT	Cáceres	Carbonatic	ND	Brazilian savanna	ND	2020	Taxonomy	Full Article	12
82	Anura	Craugastor	Oreobates	heterodactylus	Gruta Fazendinha	MT	Cáceres	Carbonatic	ND	Brazilian savanna	ND	2020	Taxonomy	Full Article	12
83	Anura	Craugastor	Pristimantis	fenestratus	ND	MT	Primavera do Leste	Conglomerate	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
84	Anura	Craugastor	Pristimantis	fenestratus	ND	ND	ND	Ferruginous	ND	Amazon	ND	2015	Communities	Full Article	9
85	Anura	Craugastor	Pristimantis	fenestratus	ND	PA	Parauapebas	Ferruginous	ND	Amazon	ND	2021	Communities	Full Article	14
86	Anura	Craugastor	Pristimantis	fenestratus	ND	PA	Curionópolis	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
87	Anura	Craugastor	Pristimantis	fenestratus	ND	PA	Curionópolis	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18

88	Anura	Craugastoridae	Oreobates	antrum	Gruta das Rãs	TO	Aurora do Tocantins	Carbonatic	ND	Brazilian savanna	ND	2020	Population	Short communication	11
89	Anura	Cycloramphidae	Thoropa	megatympanum	ND	MG	Moeda	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
90	Anura	Cycloramphidae	Thoropa	megatympanum	ND	MG	Morro do Pilar	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
91	Anura	Cycloramphidae	Thoropa	miliaris	ND	MG	Conceição do Mato Dentro	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
92	Anura	Cycloramphidae	Thoropa	miliaris	ND	MG	Itabirito	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
93	Anura	Cycloramphidae	Thoropa	miliaris	ND	MG	Antônio Dias	Granitic	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
94	Anura	Cycloramphidae	Thoropa	miliaris	ND	MG	Dores de Guanhães	Granitic	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
95	Anura	Cycloramphidae	Thoropa	miliaris	ND	MG	Virginópolis	Granitic	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
96	Anura	Cycloramphidae	Thoropa	miliaris	ND	MG	Congonhas	Quartzite	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
97	Anura	Cycloramphidae	Thoropa	taophora	ND	ND	ND	Granitic	ND	Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9
98	Anura	Cycloramphidae	Thoropa	taophora	ND	ND	ND	Marble	ND	Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9
99	Anura	Cycloramphidae	Thoropa	taophora	ND	ND	ND	Quartzite	ND	Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9
100	Anura	Cycloramphidae	Cycloramphus	eleutherodactylus	Caverna Fazenda Morungava	PR	Sengés	ND	ND	Atlantic Forest	ND	2012	Population	Short communication	8
101	Anura	Cycloramphidae	Cycloramphus	sp.	Caverna Ouro Grosso (SP-54)	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	ND	1980	Communities	Full Article	1
102	Anura	Cycloramphidae	Cycloramphus	sp.	Caverna Santana (SP-41)	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	ND	1980	Communities	Full Article	1
103	Anura	Cycloramphidae	Cycloramphus	sp.	Caverna Ouro Grosso (SP-54)	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	Intermittent	1986	Communities	Full Article	2
104	Anura	Cycloramphidae	Cycloramphus	sp.	Gruta do Chapéu (SP-13)	SP	Apiai	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	Intermittent	1991	Communities	Full Article	3
105	Anura	Cycloramphidae	Cycloramphus	eleutherodactylus	Caboclo (Centro/Estação)	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	ND	2010	Communities	Full Article	6
106	Anura	Cycloramphidae	Cycloramphus	eleutherodactylus	Caverna Cafezal	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	ND	2010	Communities	Full Article	6
107	Anura	Cycloramphidae	Cycloramphus	eleutherodactylus	Ouro Grosso (Centro/Estação)	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	ND	2010	Communities	Full Article	6

108	Anura	Cycloramphidae	Cycloramphus	eleutherodactylus	Caverna Cafezal	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	Intermittent	2012	Population	Short communication	8
109	Anura	Cycloramphidae	Cycloramphus	eleutherodactylus	Caverna Morro Preto (SP-21)	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	Intermittent	2012	Population	Short communication	8
110	Anura	Dendrobatidae	Ameerega	flavopicta	ND	ND	ND	Arenitic	ND	Amazon	ND	2015	Communities	Full Article	9
111	Anura	Dendrobatidae	Ameerega	flavopicta	ND	ND	ND	Ferruginous	ND	Amazon	ND	2015	Communities	Full Article	9
112	Anura	Dendrobatidae	Adelphobates	galactonotus	ND	ND	ND	Ferruginous	ND	Amazon	ND	2015	Communities	Full Article	9
113	Anura	Dendrobatidae	Ameerega	flavopicta	ND	PA	Curionópolis	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
114	Anura	Dendrobatidae	Adelphobates	galactonotus	ND	PA	Curionópolis	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
115	Anura	Hylidae	ND	sp.	Conjunto São Mateus - Imbira (GO-11)	GO	São Domingos	Carbonatic	ND	Brazilian savanna	ND	1980	Communities	Full Article	1
116	Anura	Hylidae	Scinax	fuscovarius	SG-030	MG	Santa Bárbara	Ferruginous	ND	Atlantic Forest	ND	2021	Communities	Full Article	13
117	Anura	Hylidae	Bokermannohyla	martinsi	RM 33	MG	Belo Horizonte	Ferruginous	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2021	Communities	Full Article	13
118	Anura	Hylidae	Bokermannohyla	martinsi	Gand-0008	MG	Rio Acima	Ferruginous	ND	Atlantic Forest	ND	2021	Communities	Full Article	13
119	Anura	Hylidae	Bokermannohyla	martinsi	Gand-0096	MG	Rio Acima	Ferruginous	ND	Atlantic Forest	ND	2021	Communities	Full Article	13
120	Anura	Hylidae	Bokermannohyla	martinsi	SG-051	MG	Rio Acima	Ferruginous	ND	Atlantic Forest	ND	2021	Communities	Full Article	13
121	Anura	Hylidae	Bokermannohyla	martinsi	Gand_0008	MG	Nova Lima	Ferruginous	ND	Brazilian savanna	Intermittent	2021	Population	Full Article	15
122	Anura	Hylidae	Bokermannohyla	martinsi	Gand_0056	MG	Nova Lima	Ferruginous	ND	Brazilian savanna	Intermittent	2021	Population	Full Article	15
123	Anura	Hylidae	Bokermannohyla	martinsi	Gand_0096	MG	Nova Lima	Ferruginous	ND	Brazilian savanna	Intermittent	2021	Population	Full Article	15
124	Anura	Hylidae	Bokermannohyla	martinsi	Apol_25	MG	Nova Lima	Ferruginous	ND	Atlantic Forest	Intermittent	2021	Population	Full Article	15
125	Anura	Hylidae	Bokermannohyla	martinsi	SG_016	MG	Nova Lima	Ferruginous	ND	Atlantic Forest	Intermittent	2021	Population	Full Article	15
126	Anura	Hylidae	Bokermannohyla	martinsi	SG_017	MG	Nova Lima	Ferruginous	ND	Atlantic Forest	Intermittent	2021	Population	Full Article	15

127	Anura	Hylidae	Bokermannohyla	martinsi	SG_018	MG	Nova Lima	Ferruginous	ND	Atlantic Forest	Intermittent	2021	Population	Full Article	15
128	Anura	Hylidae	Bokermannohyla	martinsi	SG_019	MG	Nova Lima	Ferruginous	ND	Atlantic Forest	Intermittent	2021	Population	Full Article	15
129	Anura	Hylidae	Bokermannohyla	martinsi	SG_020	MG	Nova Lima	Ferruginous	ND	Atlantic Forest	Intermittent	2021	Population	Full Article	15
130	Anura	Hylidae	Bokermannohyla	martinsi	SG_051	MG	Nova Lima	Ferruginous	ND	Atlantic Forest	Intermittent	2021	Population	Full Article	15
131	Anura	Hylidae	Boana	albopunctata	ND	MG	Pains	Carbonatic	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2022	Communities	Book chapter	17
132	Anura	Hylidae	Scinax	eurydice	ND	MG	Montes Claros	Carbonatic	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
133	Anura	Hylidae	Boana	faber	ND	MG	Pains	Carbonatic	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2022	Communities	Book chapter	17
134	Anura	Hylidae	Scinax	fuscovarius	ND	MG	Arcos	Carbonatic	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
135	Anura	Hylidae	Scinax	fuscovarius	ND	MG	Iguatama	Carbonatic	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
136	Anura	Hylidae	Scinax	fuscovarius	ND	MG	Matozinhos	Carbonatic	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
137	Anura	Hylidae	Scinax	fuscovarius	ND	MG	Montes Claros	Carbonatic	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
138	Anura	Hylidae	Scinax	fuscovarius	ND	MG	Pains	Carbonatic	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
139	Anura	Hylidae	Scinax	fuscovarius	ND	MG	Pedro Leopoldo	Carbonatic	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
140	Anura	Hylidae	Scinax	fuscovarius	ND	MG	Conceição do Mato Dentro	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
141	Anura	Hylidae	Scinax	fuscovarius	ND	MG	Igarapé	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
142	Anura	Hylidae	Scinax	fuscovarius	ND	MG	Itabirito	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
143	Anura	Hylidae	Scinax	fuscovarius	ND	MG	Mariana	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
144	Anura	Hylidae	Scinax	fuscovarius	ND	MG	Pains	Carbonatic	ZE	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2022	Communities	Book chapter	17

145	Anura	Hylidae	Scinax	fuscovarius	ND	MG	Pains	Carbonatic	ZD	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2022	Communities	Book chapter	17
146	Anura	Hylidae	Scinax	fuscovarius	ND	MG	Pains	Carbonatic	ZA	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2022	Communities	Book chapter	17
147	Anura	Hylidae	Scinax	ruber	Gruta de São Miguel	MS	Bonito	Carbonatic	ZE	Brazilian savanna	ND	2001	Communities	Book chapter	4
148	Anura	Hylidae	Scinax	fuscovarius	ND	MT	Primavera do Leste	Arenitic	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
149	Anura	Hylidae	Scinax	fuscovarius	ND	MT	Primavera do Leste	Conglomerat e	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
150	Anura	Hylidae	Boana	boans	ND	ND	ND	Ferruginous	ND	Amazon	ND	2015	Communities	Full Article	9
151	Anura	Hylidae	Phyllomedusa	burneisteri	ND	ND	ND	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9
152	Anura	Hylidae	Scinax	fuscovarius	ND	ND	ND	Carbonatic	ND	Caatinga	ND	2015	Communities	Full Article	9
153	Anura	Hylidae	Scinax	fuscovarius	ND	ND	ND	Ferruginous	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9
154	Anura	Hylidae	Bokermannohyla	martinsi	ND	ND	ND	Ferruginous	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9
155	Anura	Hylidae	Dendropsophus	nanus	ND	ND	ND	Arenitic	ND	Brazilian savanna	ND	2015	Communities	Full Article	9
156	Anura	Hylidae	Bokermannohyla	sp.	ND	ND	ND	Ferruginous	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9
157	Anura	Hylidae	Bokermannohyla	sp.1	ND	ND	ND	Ferruginous	ND	Ecotone - Brazilian savanna /	ND	2015	Communities	Full Article	9

										Atlantic Forest					
158	Anura	Hylidae	Scinax	catharinae	Caverna Pedras Grandes	SC	Florianópolis	Granitic	ND	Atlantic Forest	Perennial	2022	Communities	Short communication	16
159	Anura	Hylidae	Scinax	catharinae	Caverna Praia Brava	SC	Florianópolis	Granitic	ND	Atlantic Forest	Perennial	2022	Communities	Short communication	16
160	Anura	Hylidae	Scinax	catharinae	Sistema Água Corrente	SC	Florianópolis	Granitic	ND	Atlantic Forest	Perennial	2022	Communities	Short communication	16
161	Anura	Hylidae	Bokermannohyla	hylax	Caverna Saco Grande	SC	Florianópolis	Granitic	ND	Atlantic Forest	Perennial	2022	Communities	Short communication	16
162	Anura	Hylidae	Bokermannohyla	hylax	Caverna Saco Grande	SC	Florianópolis	Granitic	ND	Atlantic Forest	Perennial	2022	Communities	Short communication	16
163	Anura	Hylidae	Bokermannohyla	hylax	Sistema Água Corrente	SC	Florianópolis	Granitic	ND	Atlantic Forest	Perennial	2022	Communities	Short communication	16
164	Anura	Hylidae	Bokermannohyla	hylax	Sistema Água Corrente	SC	Florianópolis	Granitic	ND	Atlantic Forest	Perennial	2022	Communities	Short communication	16
165	Anura	Hylidae	Scinax	x-signatus	Gruta da Janela	SE	Laranjeiras	Carbonatic	ND	Ecotone Caatinga / Atlantic Forest	Intermittent	2011	Communities	Master's Thesis	7
166	Anura	Hylidae	Scinax	x-signatus	Gruta da Pedra Furada	SE	Laranjeiras	Carbonatic	ND	Ecotone Caatinga / Atlantic Forest	Intermittent	2011	Communities	Master's Thesis	7
167	Anura	Hylidae	Scinax	x-signatus	Gruta da Raposa	SE	Laranjeiras	Carbonatic	ND	Ecotone Caatinga / Atlantic Forest	Intermittent	2011	Communities	Master's Thesis	7
168	Anura	Hylidae	Scinax	x-signatus	Gruta da Raposinha	SE	Laranjeiras	Carbonatic	ND	Ecotone Caatinga / Atlantic Forest	Intermittent	2011	Communities	Master's Thesis	7
169	Anura	Hylidae	Scinax	x-signatus	Gruta do Tramandai	SE	Laranjeiras	Carbonatic	ND	Ecotone Caatinga / Atlantic Forest	Intermittent	2011	Communities	Master's Thesis	7
170	Anura	Hylidae	Scinax	x-signatus	Gruta dos Aventureiros	SE	Laranjeiras	Carbonatic	ND	Ecotone Caatinga / Atlantic Forest	Perennial	2011	Communities	Master's Thesis	7

171	Anura	Hylidae	ND	sp.	Gruta Colorida (SP-129)	SP	Iporanga	Carbonatic	ZE	Atlantic Forest	Intermittent	1991	Communities	Full Article	3
172	Anura	Hylidae	ND	sp.	Gruta do Bôcão (SP-241)	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	Intermittent	1991	Communities	Full Article	3
173	Anura	Hylidae	Bokermannohyla	hylax	Caverna Chapéu Mirim II (SP-15)	SP	Apiai	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	ND	2010	Communities	Full Article	6
174	Anura	Hylodidae	Hylodes	sp.	ND	ND	ND	Conglomerate	ND	Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9
175	Anura	Hylodidae	Crossodactylus	sp.	Caverna Ouro Grosso (SP-54)	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	Intermittent	1986	Communities	Full Article	2
176	Anura	Hylodidae	Hylodes	sp.	Caverna Ouro Grosso (SP-54)	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	Intermittent	1986	Communities	Full Article	2
177	Anura	Hylodidae	Crossodactylus	sp.	Gruta dos Paiva (SP-42)	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	Intermittent	1991	Communities	Full Article	3
178	Anura	Hylodidae	Hylodes	cardosoi	Caverna Chapéu Mirim I (SP-14)	SP	Apiai	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	ND	2010	Communities	Full Article	6
179	Anura	Hylodidae	Hylodes	heyeri	ND	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	ND	2010	Communities	Full Article	6
180	Anura	Leptodactylidae	Physalaemus	cuvieri	ND	BA	Lajedinho	Carbonatic	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
181	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	sp.	Conjunto São Mateus - Imbira (GO-11)	GO	São Domingos	Carbonatic	ND	Brazilian savanna	Intermittent	1986	Communities	Full Article	2
182	Anura	Leptodactylidae	Physalaemus	cuvieri	ND	MG	Iguatama	Carbonatic	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
183	Anura	Leptodactylidae	Physalaemus	cuvieri	ND	MG	Conceição do Mato Dentro	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
184	Anura	Leptodactylidae	Physalaemus	cuvieri	ND	MG	Pains	Carbonatic	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2022	Communities	Book chapter	17
185	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	labyrinthicus	ND	MG	Conceição do Mato Dentro	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
186	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	labyrinthicus	ND	MG	Mariana	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
187	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	labyrinthicus	ND	MG	Pains	Carbonatic	ND	Ecotone - Brazilian savanna /	ND	2022	Communities	Book chapter	17

										Atlantic Forest					
188	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	latrans	ND	MG	Pains	Carbonatic	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2022	Communities	Book chapter	17
189	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	mystacinus	ND	MG	Iguatama	Carbonatic	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
190	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	mystacinus	ND	MG	Igarapé	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
191	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	mystacinus	ND	MG	Morro do Pilar	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
192	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	mystacinus	ND	MG	Pains	Carbonatic	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2022	Communities	Book chapter	17
193	Anura	Leptodactylidae	Physalaemus	nattereri	ND	MG	Itabirito	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
194	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	sp.	ND	MG	Montes Claros	Carbonatic	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
195	Anura	Leptodactylidae	ND	sp.	Gruta de São Miguel	MS	Bonito	Carbonatic	ZE	Brazilian savanna	ND	2001	Communities	Book chapter	4
196	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	labyrinthicus	ND	MT	Primavera do Leste	Conglomerate	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
197	Anura	Leptodactylidae	Physalaemus	sp.	ND	MT	Primavera do Leste	Arenitic	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
198	Anura	Leptodactylidae	Physalaemus	cuvieri	ND	ND	ND	Carbonatic	ND	Caatinga	ND	2015	Communities	Full Article	9
199	Anura	Leptodactylidae	Physalaemus	cuvieri	ND	ND	ND	Carbonatic	ND	Brazilian savanna	ND	2015	Communities	Full Article	9
200	Anura	Leptodactylidae	Physalaemus	ephippifer	ND	ND	ND	Ferruginous	ND	Amazon	ND	2015	Communities	Full Article	9
201	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	labyrinthicus	ND	ND	ND	Carbonatic	ND	Brazilian savanna	ND	2015	Communities	Full Article	9
202	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	macrosternum	ND	ND	ND	Carbonatic	ND	Caatinga	ND	2015	Communities	Full Article	9
203	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	macrosternum	ND	ND	ND	Carbonatic	ND	Brazilian savanna	ND	2015	Communities	Full Article	9
204	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	mystacinus	ND	ND	ND	Carbonatic	ND	Brazilian savanna	ND	2015	Communities	Full Article	9
205	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	sp.	ND	ND	ND	Carbonatic	ND	Caatinga	ND	2015	Communities	Full Article	9
206	Anura	Leptodactylidae	Physalaemus	sp.	ND	ND	ND	Arenitic	ND	Brazilian savanna	ND	2015	Communities	Full Article	9
207	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	sp.1	ND	ND	ND	Carbonatic	ND	Caatinga	ND	2015	Communities	Full Article	9

208	Anura	Leptodactylidae	Physalaemus	sp.1	ND	ND	ND	Arenitic	ND	Brazilian savanna	ND	2015	Communities	Full Article	9
209	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	sp.2	ND	ND	ND	Ferruginous	ND	Amazon	ND	2015	Communities	Full Article	9
210	Anura	Leptodactylidae	Physalaemus	sp.2	ND	ND	ND	Carbonatic	ND	Caatinga	ND	2015	Communities	Full Article	9
211	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	sp.3	ND	ND	ND	Ferruginous	ND	Amazon	ND	2015	Communities	Full Article	9
212	Anura	Leptodactylidae	Physalaemus	sp.3	ND	ND	ND	Ferruginous	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9
213	Anura	Leptodactylidae	Physalaemus	sp.4	ND	ND	ND	Quartzite	ND	Ecotone - Brazilian savanna / Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9
214	Anura	Leptodactylidae	Physalaemus	sp.5	ND	ND	ND	Conglomerate	ND	Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9
215	Anura	Leptodactylidae	Physalaemus	sp.6	ND	ND	ND	Carbonatic	ND	Caatinga	ND	2015	Communities	Full Article	9
216	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	syphax	ND	ND	ND	Carbonatic	ND	Amazon	ND	2015	Communities	Full Article	9
217	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	syphax	ND	ND	ND	Carbonatic	ND	Caatinga	ND	2015	Communities	Full Article	9
218	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	trogodytes	ND	ND	ND	Carbonatic	ND	Caatinga	ND	2015	Communities	Full Article	9
219	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	pentadactylus	ND	PA	Parauapebas	Ferruginous	ND	Amazon	ND	2021	Communities	Full Article	14
220	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	pentadactylus	ND	PA	Curionópolis	Ferruginous	ND	ND	ND	2022	Communities	Full Article	18
221	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	labyrinthicus	Caverna Casa de Pedra	RN	Martins	Marble	ND	Caatinga	ND	2017	Communities	Full Article	10
222	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	labyrinthicus	Caverna Dorminhoco	RN	Martins	Marble	ND	Caatinga	ND	2017	Communities	Full Article	10
223	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	sp.	Caverna Três Inchus	RN	Martins	Marble	ND	Caatinga	ND	2017	Communities	Full Article	10
224	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	paranuru cf.	Caverna Pedras Grandes	SC	Florianópolis	Granitic	ND	Atlantic Forest	Perennial	2022	Communities	Short communication	16
225	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	vastus	Caverna Casa de Pedra	SE	Itabaiana	Carbonatic	ZE	Atlantic Forest	ND	2009	Communities	Short communication	5
226	Anura	Leptodactylidae	Physalaemus	cuvieri	Gruta da Raposinha	SE	Laranjeiras	Carbonatic	ND	Ecotone Caatinga / Atlantic Forest	Intermittent	2011	Communities	Master's Thesis	7
227	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	vastus	Gruta da Janela	SE	Laranjeiras	Carbonatic	ND	Ecotone Caatinga /	Intermittent	2011	Communities	Master's Thesis	7

										Atlantic Forest					
228	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	vastus	Gruta da Raposa	SE	Laranjeiras	Carbonatic	ZA	Ecotone Caatinga / Atlantic Forest	Intermittent	2011	Communities	Master's Thesis	7
229	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	vastus	Gruta dos Orixás	SE	Laranjeiras	Carbonatic	ND	Ecotone Caatinga / Atlantic Forest	Intermittent	2011	Communities	Master's Thesis	7
230	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	flavopictus	Abismo das Ossadas (SP-133)	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	ND	1980	Communities	Full Article	1
231	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	mystacinus	Caverna Alambari de cima (SP-11)	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	ND	1980	Communities	Full Article	1
232	Anura	Leptodactylidae	ND	ND	Gruta Sertãozinho de Baixo (SP-181)	SP	Altinópolis	Arenitic	ND	Atlantic Forest	Intermittent	1986	Communities	Full Article	2
233	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	sp.	Caverna Ouro Grosso (SP-54)	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	Intermittent	1986	Communities	Full Article	2
234	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus	sp.	Gruta Itambê (SP-179)	SP	Altinópolis	Arenitic	ND	Atlantic Forest	Intermittent	1986	Communities	Full Article	2
235	Anura	Leptodactylidae	ND	sp.	Cinco Bocas (SP-184)	SP	Altinópolis	Arenitic	ZE	Atlantic Forest	Intermittent	1986	Communities	Full Article	2
236	Anura	Leptodactylidae	Leptodactylus cf.	ND	Gruta dos Paiva (SP-42)	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	Intermittent	1991	Communities	Full Article	3
237	Anura	Leptodactylidae	ND	sp.	Gruta da Aegla (SP-210)	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	Intermittent	1991	Communities	Full Article	3
238	Anura	ND	ND	sp.	Gruta da Janela	SE	Laranjeiras	Carbonatic	ND	Ecotone Caatinga / Atlantic Forest	Intermittent	2011	Communities	Master's Thesis	7
239	Anura	ND	ND	sp.	Gruta da Pedra Furada	SE	Laranjeiras	Carbonatic	ND	Ecotone Caatinga / Atlantic Forest	Intermittent	2011	Communities	Master's Thesis	7
240	Anura	ND	ND	sp.	Gruta da Raposa	SE	Laranjeiras	Carbonatic	ND	Ecotone Caatinga /	Intermittent	2011	Communities	Master's Thesis	7

										Atlantic Forest					
241	Anura	ND	ND	sp.1	Gruta da Pedra Furada	SE	Laranjeiras	Carbonatic	ND	Ecotone Caatinga / Atlantic Forest	Intermittent	2011	Communities	Master's Thesis	7
242	Anura	ND	ND	sp.2	Gruta da Pedra Furada	SE	Laranjeiras	Carbonatic	ND	Ecotone Caatinga / Atlantic Forest	Intermittent	2011	Communities	Master's Thesis	7
243	Anura	ND	ND	sp.3	Gruta da Pedra Furada	SE	Laranjeiras	Carbonatic	ND	Ecotone Caatinga / Atlantic Forest	Intermittent	2011	Communities	Master's Thesis	7
244	Anura	ND	ND	sp.	Gruta do Tatu (SP-233)	SP	Iporanga	Carbonatic	ND	Atlantic Forest	Intermittent	1991	Communities	Full Article	3
245	Anura	Odontophrynidae	Proceratophrys	boiei	ND	ND	ND	Granitic	ND	Atlantic Forest	ND	2015	Communities	Full Article	9
246	Anura	Odontophrynidae	Proceratophrys	sp.	ND	ND	ND	Ferruginous	ND	Amazon	ND	2015	Communities	Full Article	9
247	Anura	Pipidae	Pipa	carvalhoi	ND	ND	ND	Ferruginous	ND	Amazon	ND	2015	Communities	Full Article	9

- 1 **Appendix II:** Scientific publications found in the literature review with records of
 2 anurans in Brazilian natural cavities until December 2022.

Publication number	Authors	Original Title	Periodical/Book	Year	Type/Section	Publication focus
01	Dessen, E. M. B.; Eston, V. R.; Silva, M. S.; Temperini-Beck, M. T. & Trajano, E.	Levantamento preliminar da fauna de cavernas de algumas regiões do Brasil.	Ciência & Cultura	1980	Full Article	Communities
02	Trajan, E.	Fauna cavernícola brasileira: composição e caracterização preliminar.	Revista Brasileira de Zoologia	1986	Full Article	Communities
03	Trajan, E., & Gnaspini-Netto, P.	Composição da fauna cavernícola brasileira, com uma análise preliminar da distribuição dos táxons.	Revista Brasileira de Zoologia	1991	Full Article	Communities
04	Pinto-da-Rocha, R., & Sessegolo, G. C.	Estudo da fauna da gruta de São Miguel I, Serra da Bodoquena (MS), como subsídio para o plano de manejo.	Conservando Cavernas	2001	Book chapter	Communities
05	Gouveia, S. F., Rocha, P.A., Mikalauskas, J.S. & Silveira, V.V.	<i>Rhinella jimi</i> (Cururu Toad) and <i>Leptodactylus vastus</i> (Northeastern Pepper Frog) predation on bats.	Herpetological Review	2009	Short Communication	Communities
06	Araujo, C. D. O., Condez, T. H., Bovo, R. P., Centeno, F. D. C., & Luiz, A. M.	Amphibians and reptiles of the Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), SP: an Atlantic	Biota Neotropica	2010	Full Article	Communities

		Forest remnant of southeastern Brazil.				
07	Donato, C. R.	Análise de impacto sobre as cavernas e seu entorno no município de Laranjeiras, Sergipe.	ND	2011	Master's Thesis*	Communitie s
08	Lima, A. D., Araujo, C. D. O., & Verdade, V. K.	<i>Cycloramphus eleutherodactylus</i> (Alto button frog): Calling among rocks and caves.	Herpetological Bulletin	2012	Short Communication	Population
09	Matavelli, R., Campos, A. M., Feio, R. N., & Ferreira, R. L.	Occurrence of anurans in Brazilian caves.	Acta Carsologica	2015	Full Article	Communitie s
10	de Araújo, J. P. M., Basílio, G. H. N., de Freitas Kramer, M. A., Moura, T. H. S., Neto, M. R., & da Silva, M.	Fauna cavernícola e os impactos ambientais ao patrimônio espeleológico do município de Martins, Rio Grande do Norte, Brasil.	Espelo-Tema	2017	Full Article	Communitie s
11	Motta, A., Lyra, M., Gazoni, T., Parise-Maltempi, P., & Haddad, C. F.	New distribution records of <i>Oreobates antrum</i> Vaz-Silva, Maciel, Andrade and Amaro, 2018, a cave-associated species from the Seasonally Dry Tropical Forest in the Brazilian Cerrado (Anura: Brachycephaloidea : Craugastoridae).	Herpetology Notes	2020	Short Communication	Population

12	Pansonato, A., Motta, A., Cacciali, P., Haddad, C. F., Strüssmann, C., & Jansen, M.	On the identity of species of <i>Oreobates</i> (Anura: <i>cragastoridae</i>) from Central South America, with the description of a new species from Bolivia.	Journal of Herpetology	2020	Short Communication	Taxonomy
13	Costa, J. C. R., Marchi, G. H., Santos, C. S., Andrade, M. C. M., Chaves Junior, S. P., Silva, M. A. N., ... & Andrade, A. J.	First molecular evidence of frogs as a food source for sand flies (Diptera: Phlebotominae) in Brazilian caves.	Parasitology Research	2021	Full Article	Communities
14	Trevelin, L. C., Simões, M. H., Prous, X., Pietrobon, T., Brandi, I. V., & Jaffé, R.	Optimizing speleological monitoring efforts: insights from long-term data for tropical iron caves.	. PeerJ	2021	Full Article	Communities
15	de Andrade, M. C. M., Costa, J. C. R., & Eterovick, P. C.	Fidelity in use of iron caves by <i>Bokermannohyla martinsi</i> (Bokermann, 1964) (Anura, Hylidae): a step further in unveiling the importance of Brazilian caves.	Salamandra	2021	Full Article	Population
16	Bichuette, M. E., Sperandei, V. D. F., Bertolini, D.	Frogs of seven granitic caves on Santa Catarina Island, Florianópolis	Herpetology Notes	2022	Short Communication	Communities

	L. V., Simão, P. X., & Sabbag, A. F.	Municipality, Santa Catarina State, southern Brazil.				
17	Ferreira, R. L., Souza-Silva, M., Zampaulo, R. A.	A vida subterrânea no Carste de Pains: biodiversidade, ameaças e conservação de fauna em uma notável paisagem cárstica tropical.	A Região Cárstica de Pains	2022	Book chapter	Communitie s
18	dos Santos, T., de Souza, A. M., Bondezan, F. L., & Eterovick, P. C.	Going Underground: What the Natural History Traits of Cave Users Can Tell Us about Cave Use Propensity.	Journal of Herpetology	2022	Full Article	Communitie s

3 * In the case of the master's Thesis, the absence of the journal/book was noted
4 because it is a scientific production not linked to an editorial board but rather to a
5 postgraduate program.

6

7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27

CAPÍTULO II

Abiotic characteristics that influence the occupation of Brazilian neotropical caves by anurans

Submetido em *International Journal of Speleology* (Qualis A4 - Quadriênio
2017-2020; Fator de Impacto: 1.30 - 2023)

Normas e diretrizes para submissão em
https://digitalcommons.usf.edu/ijss/submission_guidelines.pdf

Abiotic characteristics that influence the occupation of Brazilian neotropical caves by anurans

Vinícius da Fontoura Sperandei¹, Willian Vaz Silva², Francisco Leonardo Tejerina-Garro^{1,2,3}

¹ Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, 13565-905, Km 235, Rodovia Washington Luís, São Carlos, SP, Brazil.

² Programa de Pós-Graduação em Ciências ambientais e saúde, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Av. Universitária 1.440, Setor Universitário, 74605-010 - Goiânia, Goiás, Brazil.

³ Programa de Pós-Graduação em Sociedade, tecnologia e meio ambiente, Universidade Evangélica de Goiás, 75083-515, Av. Universitária km 3,5 Cidade Universitária – Anápolis, Goiás, Brazil.

ORCID:

Vinícius da Fontoura Sperandei: 0000-0002-3093-706X

Willian Vaz Silva: 0000-0001-6235-5331

Francisco Leonardo Tejerina-Garro: 0000-0002-5159-8108

Abstract:

Despite the increasing study of the Neotropical underground environment, anurans are still little known in this habitat. Records in the scientific literature of anurans in neotropical natural underground cavities in Brazil were analyzed and a multivariate analysis of multiple components (MCA) was carried out which environmental, taxonomic, geographic, geological and use and coverage variables influence the occupation of the cave environment by anurans. 247 records were covered, totaling 83 morphotypes and indicate two groups with significant probability for the occupation of the cave habitat by these animals, the first formed by caves in biomes of the Atlantic Forest and Ecotone between the Atlantic Forest and Caatinga, in carbonate and marble lithologies, in an altitudinal variation of 23m to 246m, inserted in a matrix composed of natural plant formations (forest, countryside and savannah) and making up the anuran diversity some endemic species. The second group was formed by cavities in ferruginous, quartzite and granitic lithologies, with the presence of a forest, rural landscape and rocky outcrops with perennial water, this scenario is occupied by *Bokermannohyla martinsi*

(restricted to the Iron Quadrangle region of Minas Gerais state) and *Ischnocnema manezinho* endemic in Santa Catarina state. In this way, it was possible to identify scenarios with a high probability of recording anurans in neotropical natural underground cavities, mainly in areas where there is an absence of human activities in the surrounding area and the conservation of the natural environment within a radius of 500 meters from the analyzed cavities.

Keywords: amphibians, caving, ecological niche, habitat.

1 – INTRODUCTION

Natural subsurface environments present physical and functional structural characteristics (Ortuño et al., 2013; Culver & Pipan, 2019) that shape biotic and abiotic interactions. This environment includes human-accessible caves, rocky passages, groundwater, subterranean habitats, and other formations (Culver & Pipan, 2019).

Caves are composed of simplified biological communities when compared to those in the surface environment (Peck, 1976; Badino, 2010; Tobin et al., 2013). These environments share some ecological characteristics, such as high stability of average temperature and relative humidity, permanent lack of natural light and scarcity of nutritional resources (Culver & Pipan, 2019; Mammola, 2019; Mammola et al., 2020). These characteristics act as a filter about the external environment, favoring mortality in the subsurface environment, shaping the ability of organisms that do not have habits or physiological conditions adapted to the subsurface environment or favoring the return of the organism to the surface environment (Zerba & Collins, 1992; Culver & Pipan, 2009; Simões et al., 2015). The energy supply in caves is allochthonous and oligotrophic, as there is little or no primary production, that is, particulate nutrients of animal and vegetable origin are transported from the outside to the inside of the cave by recharge water (Souza-Silva et al., 2012; Souza-Silva & Ferreira, 2022).

The presence and density of caves is associated with the lithological type of the studied location (Jensen & Pereira, 2014). Outcrops of carbonate rocks (karst) have physical-chemical characteristics such as solubility and porosity (Lepsch, 2010; Rubioli et al., 2019) that enable the formation of caves in greater numbers and extensions (Culver & Pipan, 2019). Ferruginous lithology also has high rates of speleological density and has its formations below the surface layer of the soil (Dutra, 2015). Both lithologies are exploited by mining, affecting the caves, which present habitats that are among the most

threatened in the Neotropical region (Ferreira et al., 2018; Mammola et al., 2019; Ferreira et al., 2022a).

In caves there are microclimatic changes and niches available in the environment from areas close to the entrance to deeper areas, which generates a gradient of abiotic conditions and variation in available resources (Tobin et al., 2013; Prous et al., 2015; Mammola & Isaia; 2018). In this way, the incidence of natural light favors a gradient represented by a photic region in areas closer to the entrances (direct incidence of light), another dysphotic region (indirect incidence of natural light) and a deeper aphotic region (without incidence of light), this situation favors habitat and community heterogeneity (Lunghi & Manenti, 2020; Souza-Silva et al., 2021).

The most studied vertebrates in caves are fish, flying mammals (chiropterans) and birds that nest at the cavity entrances. There are also records of anurans, which are classified as accidental animals in caves, that is, they eventually enter this environment and, as they do not have survival skills, return to the surface or die, constituting available organic matter (Trajano & Bichuette, 2006). This classification is not a consensus considering that certain anuran species have habits that classify them as troglomenes, that is, they use the cave environment at some period of their lives (Luría-Manzano & Ramírez-Bautista 2017; Suwannapoom et al. 2018; Dos Santos et al., 2022a).

Brazil has 1,114 species of anurans, one of the greatest global diversities of this animal group (Segalla et al., 2021). Of this total, 41 are listed in the Red Book of threatened species (ICMBio, 2018), and between 45 and 67 species are recorded within natural cavities (Matavelli et al., 2015; Bichuette et al., 2022; Dos Santos et al., 2022a). The presence of these species in caves is related to the high level of humidity necessary to support various physiological activities, such as breathing, through the permeable integument characteristic of amphibians, of which anurans are a part (Eterovick et al., 2010; Matavelli et al., 2015). In the case of Brazilian caves, the relationship between the presence of species and the humidity rate is >90%, even in the driest times of the year (Ferreira, 2005).

In temperate regions with harsh winters and negative temperatures, caves are used as a natural refuge that presents mild temperatures due to the stability of the underground environment and the availability of food (Niemiller & Miller, 2009; Biswas, 2014). In the Neotropical region, areas with high temperatures and low relative humidity may favor the occupation of caves by anurans (Eterovick et al., 2010). This would be the case of the Caatinga biome (semi-arid tropical climate; BSh in the Köppen-Geiger classification;

Trajano & Bichuette, 2006; Alvares, 2013) and the Cerrado (climates Am, Aw, Cwa and Cwb, all with similar winter characteristics seco; Alvares, 2013). Additionally, caves favor a lower predation rate on anurans when compared to the external environment (Pough et al., 2008; Andrade et al., 2021; Dos Santos et al., 2022). Additionally, caves, in this case Brazilian, are influenced by anthropogenic activities such as mineral exploration, increased urbanization and the side effects of use and change in soil cover, even though they are classified as Brazilian cultural, biological and geological heritage (Ferreira et al., 2022).

The present work aims to investigate and determine which abiotic factors in Brazilian neotropical caves composed of environmental, geographic and geological variables positively influence the occupation of anurans in the cave environment and thus identify whether there are areas with a greater probability for this occupation.

MATERIALS AND METHODS

Data collect

Species occurrences

It was carried out by searching for records of anurans in Brazilian natural caves in scientific publications using the Google Scholar search engine and the SCOPUS, Web of Science, and AmphibiaWeb repositories. Google Scholar is a scientific search engine that covers several repositories in different languages, encompassing different types of scientific literature (Falagas et al., 2008; Delgado & Repiso, 2013; Martín-Martín et al., 2021). The SCOPUS and Web of Science repositories have search engines in their database and are used for scientometric studies (Oliveira & Gracio, 2011; Mongeon & Paul-Hus, 2016), but they do not index local or regional Brazilian journals. Combining searches in more than one repository avoids bias in data collected from scientific literature (Archambault et al., 2009; Mongeon & Paul-Hus, 2016).

Table I - Variables, categories and subcategories used in the multivariate Multiple Component Analysis for records of anurans in Neotropical underground cavities.

<i>Variable</i>	<i>Categorie</i>	<i>Subcategorie</i>
<i>Taxonomy</i>	Family	Anuran family
	Morphospecie	Anuran Morphospecie
<i>Geografic</i>	Biome	Amazon
		Caatinga

<i>Environmental</i>		Cerrado
		Ecotone - Cerrado / Fl Atlantic
		Ecotone - Caatinga / Fl Atlantic
	Altitude	13 m
		21 m
		26 m
		62 m
		198 m
		269 m
		290 m
		297 m
		343 m
		348 m
		476 m
		595 m
		600 m
		640 m
		651 m
		655 m
		794 m
		825 m
		1437 m
		1571 m
		1600 m
		1602 m
		1606 m
		1608 m
		1614 m
		1623 m
	Presence of Water	Absent
		Perenial
		Intermittent
	Light Zone	Photic zone
		Disphotic zone
		Dark zone
<i>Geology</i>	Lithology	Sandstone
		Carbonatic
		Conglomerate

Use and Coverage

	Ferruginous
	Granitic
	Marble
	Quartzitic
MapBiomas classification (at the cave entrance point)	Agriculture and pasture mosaic
	Cane
	Grassland formation
	Forest formation
	Rocky outcrop
	Savannah formation
	Pasture
Forest formation <i>buffer</i>	Presence/Absence
Savannah formation <i>buffer</i>	Presence/Absence
Grassland formation <i>buffer</i>	Presence/Absence
Rocky Outcrop <i>buffer</i>	Presence/Absence
Rocky Outcrop <i>buffer</i>	Presence/Absence
Water <i>buffer</i>	Presence/Absence
Ocean <i>buffer</i>	Presence/Absence
Pasture <i>buffer</i>	Presence/Absence
Agriculture <i>buffer</i>	Presence/Absence
Cane <i>buffer</i>	Presence/Absence
Coffee <i>buffer</i>	Presence/Absence
Eucalyptus forest <i>buffer</i>	Presence/Absence
Agriculture and pasture mosaic <i>buffer</i>	Presence/Absence
Urban <i>buffer</i>	Presence/Absence

155

156 For the systematic search in the aforementioned repositories, the keyword method
157 was used independently and combined (Silva & Bianchi, 2001; da Silva et al., 2011) in
158 Portuguese and English, with a deadline of December 2022. The keywords key was:
159 “Brazilian caves”, “anurans”, “amphibians”, “frogs”, “underground cavities”,
160 “underground habitat”, “underground environment”, “grotto”, “gruna”, “burrow”,
161 “brazilian caves”, “frogs”, “subterranean cavities”, “subterranean habitat”, “subterranean
162 environment”, “grotto”, “grune”, “burrow”. All articles found were read and interpreted
163 for data extraction without time limitations per researcher.

From the publications found according to the criteria above, the following information was extracted from each text and constituting a categorical variable: “Taxonomy” (family, species/morphotype), “Geography” (municipality, federative unit, biome, altitude and classification of land use and cover), “Environmental” (light zone in the cave and presence of water) and “Geology” (lithology). The cavity registration data, such as name, registration acronym, and coordinate, were collected for the geographic location of the cavity and subsequent characterization of land use, thus not forming a group of categorical data for statistical analysis. The nomenclature of each species was checked and, when necessary, updated using the database on the Amphibian Species of the World 6.1 website (Frost, 2023).

Caves environmental variables

The environmental quality and characterization (Table 1) of land use and cover surrounding the cavity were evaluated using the online platform of the Annual Mapping and Land Use and Cover Project in Brazil - Mapbiomas (Souza et al., 2020). To this end, the geographic coordinates of each cave mentioned in the scientific literature or by consulting the National Registry of Speleological Information (CANIE), maintained by the National Center for Research and Conservation of Caves (ICMBio/CECAV) (CECAV, 2023) were used. All coordinates were standardized in latitude and longitude format in decimal degrees Datum SIRGAS2000. From the registration of the cavity reported in CANIE, it was also possible to determine the altitude about sea level, a category of the Geographic variable.

Using the centralized geographic coordinate, 500m radius buffers were delimited and the percentage of land cover and use was calculated. The classifications of land use and coverage adopted were the same as those measured by Mapbiomas: forest formation, savanna formation, grassland formation, rocky outcrop, pasture, agriculture, forestry, mosaic of uses (agriculture + pasture), and urbanized area.

The geographical coordinate of the cave plotted by Mapbiomas generated a buffer of 500m radius that was used to point out the presence and absence of categorical types of land occupation according to the database using the ImageJ software (Rasband, 1997).

Data analysis

Based on the data collected from scientific publications and the type of land cover and use for each cave, a data matrix in each line we have an independent anulum record was created referring to the variables considered and their respective categories, that is, environmental variable (categories: luminous zone and presence of water), taxonomic (family, and specific epithet), geographic (biome, altitude, and classification of land use and cover) and geological (lithology). The matrix was subjected to a multivariate statistical analysis of multiple components (MCA) appropriate for the analysis of qualitative categorical data (Leps & Smilauer, 1999) aiming to verify the presence of significant groupings or not (Le Roux & Rouanet, 2010). In this analysis, the formation of clusters and the geometric proximity between the graphically expressed categories demonstrate how the result varies about the combination of variables (Hoffman & Leeuw, 1992). This helps to indicate which categories, of the variables considered in this case, are most representative in explaining the occupation of the cave environment by anurans. The analysis was performed in R 4.3.1 software. (R Core Team, 2023) and using the FactorMineR package (Le et al., 2008).

RESULTS

We found 247 independent records of anurans in Brazilian caves, covering a total of 83 morphospecies (54 species identified to the specific epithet and 29 morphospecies identified to the genus) distributed in 12 families of the Order Anura. (Table 2).

Table 2: List of anuran morphospecies found inside Brazilian caves according to scientific literature and records of the federative units found, biome, lithology and number of records per morphospecies. Lithology (Sand = Sandstone; Carb = Carbonate; Cong = Conglomerate; Gran = Granite; Quar = Quartzite; Ferr = Ferruginous; Marm = Marble). Biome (Ama = Amazon; Caa = Caatinga; Cerr = Cerrado; Atl = Atlantic Forest; Ecot (Caa – Atl) = Ecoton Caatinga and Atlantic Forest; Ecot (Cerr – Atl) = Ecotone Cerrado and Atlantic Forest); ND = not described.

Family	Morphospecie	State	Lithology	Biome	Record's
Aromobatidae					
	<i>Allobates marchesianus</i>		Ferr	Ama	1
	<i>Allobates</i> sp.	PA	Ferr	Ama	2
	<i>Allobates</i> sp.1		Ferr	Ama	1
Brachycephalidae					
	<i>Ischnocnema guentheri</i>	MG	Ferr	-	1

	<i>Ischnocnema izecksohni</i>	MG	Carb	-	1
	<i>Ischnocnema juipoca</i>	MG	Carb - Ferr - Cong	Ecot (Cerr - Atl)	6
	<i>Ischnocnema manezinho</i>	SC	Gran	Atl	7
	<i>Ischnocnema</i> sp.	MG	Carb – Ferr - Sand	Cerr	3
	<i>Ischnocnema</i> sp.1		Carb	Cerr	1
	<i>Ischnocnema</i> sp.2	MG	Carb		2
	<i>Ischnocnema</i> sp.3		Quar	Ecot (Cerr - Atl)	1
	<i>Ischnocnema</i> sp.4		Quar	Ecot (Cerr – Atl)	1
	<i>Ischnocnema</i> sp.5		Ferr	Ecot (Cerr - Atl)	1
Bufonidae					
	<i>Rhaebo guttatus</i>	PA	Ferr - Sand	Ama	3
	<i>Rhinella crucifer</i>	SP	Carb - Gran	Atl	3
	<i>Rhinella diptycha</i>	MG-SE	Carb - Sand	Cerr - Atl	6
	<i>Rhinella granulosa</i>		Carb	Caa	1
	<i>Rhinella icterica</i>	SP	Carb	Atl	2
	<i>Rhinella magnussoni</i>		Ferr	Ama	1
	<i>Rhinella marina</i>	PA	Ferr	Cerr	2
	<i>Rhinella ornata</i>	MG-SC	Gran - Ferr - Quar	Atl	7
	<i>Rhinella rubescens</i>	MG	Ferr - Quar	Atl - Ecot (Cerr - Atl)	7
	<i>Rhinella thyphonius</i>	MS	Carb	Cerr	1
	<i>Rhinella</i> sp.	SP-SE	Carb - Sand	Atl - Ecot (Caa - Atl)	8
	<i>Rhinella</i> sp.1	RN	Carb - Marm	Caa - Atl	4
	<i>Rhinella</i> sp.2	RN	Marm	Caa	1
Ceratophryidae					
	<i>Ceratophrys</i> sp.	SP	Carb	Atl	2
Craugastoridae					
	<i>Haddadus binotatus</i>	MG	Ferr - Quar	ND	2
	<i>Oreobates antrum</i>	GO-TO	Carb	Cerr	2
	<i>Oreobates heterodactylus</i>	MT	Carb	Cerr	3
	<i>Pristimantis fenestratus</i>	MT-PA	Cong - Ferr	Ama	5
Cycloramphidae					

	<i>Cycloramphus eleutherodactylus</i>	SP-PR	Carb	Atl	6
	<i>Cycloramphus</i> sp.	SP	Carb	Atl	4
	<i>Thoropa megatympanum</i>	MG	Ferr	ND	2
	<i>Thoropa miliaris</i>	MG	Ferr - Gran - Quar	ND	6
	<i>Thoropa taophora</i>	SP	Marm - Quar - Gran	Atl	3
Dendrobatidae					
	<i>Adelphobates galactonotus</i>	PA	Ferr	Ama	2
	<i>Ameerega flavopicta</i>	PA	Ferr - Sand	Ama	3
Hylidae					
	<i>Boana albopunctata</i>	MG	Carb	Ecot (Cerr - Atl)	1
	<i>Boana boans</i>		Ferr	Ama	1
	<i>Boana faber</i>	MG	Carb	Ecot (Cerr - Atl)	1
	<i>Bokermannohyla hylax</i>	SP-SC	Carb - Gran	Atl	5
	<i>Bokermannohyla martinsi</i>	MG	Ferr	Cerr - Atl - Ecot (Cerr - Atl)	15
	<i>Bokermannohyla</i> sp.		Ferr	Ecot (Cerr - Atl)	1
	<i>Bokermannohyla</i> sp.1		Ferr	Ecot (Cerr - Atl)	1
	<i>Dendropsophus nanus</i>		Sand	Cerr	1
	<i>Phyllomedusa burmeisteri</i>		Carb	Atl	1
	<i>Scinax catharinae</i>	SC	Gran	Atl	3
	<i>Scinax eurydice</i>	MG	Carb	ND	1
	<i>Scinax fuscovarius</i>	MG-MT	Carb - Cong - Ferr - Sand	Caa - Atl - Ecot (Cerr - Atl)	18
	<i>Scinax ruber</i>	MS	Carb	Cerr	1
	<i>Scinax x-signatus</i>	SE	Carb	Ecot (Caa - Atl)	6
Hylodidae					
	<i>Crossodactylus</i> sp.	SP	Carb	Atl	2
	<i>Hylodes cardosoi</i>	SP	Carb	Atl	1
	<i>Hylodes heyeri</i>	SP	Carb	Atl	1
	<i>Hylodes</i> sp.	SP	Carb - Cong	Atl	2
Leptodactylidae					
	<i>Leptodactylus flavopictus</i>	SP	Carb	Atl	1

<i>Leptodactylus labyrinthicus</i>	MT-MG- RN	Carb - Cong - Ferr - Marm	Cerr - Caa	7
<i>Leptodactylus latrans</i>	MG	Carb	Ecot (Cerr - Atl)	1
<i>Leptodactylus macrosternum</i>		Carb	Cerr - Caa	2
<i>Leptodactylus mystacinus</i>	SP-MG	Carb - Ferr	Cerr - Atl	6
<i>Leptodactylus paranuru</i>	SC	Gran	Atl	1
<i>Leptodactylus pentadactylus</i>	PA	Ferr	Ama	2
<i>Leptodactylus syphax</i>		Carb	Ama - Caa	2
<i>Leptodactylus troglodytes</i>		Carb	Caa	1
<i>Leptodactylus vastus</i>	SE	Carb	Atl - Ecot (Caa - Atl)	4
<i>Leptodactylus</i> sp.	SP-GO- MG-RN	Carb - Marm - Sand	Caa - Cerr - Atl	6
<i>Leptodactylus</i> sp.1		Carb	Caa	1
<i>Leptodactylus</i> sp.2		Ferr	Ama	1
<i>Leptodactylus</i> sp.3		Ferr	Ama	1
<i>Physalaemus cuvieri</i>	SE-BA- MG	Carb - Ferr	Caa - Cerr - Ecot (Caa - Atl)	7
<i>Physalaemus ephippifer</i>		Ferr	Ama	1
<i>Physalaemus nattereri</i>	MG	Ferr	ND	1
<i>Physalaemus</i> sp.	MT	Sand	Cerr	2
<i>Physalaemus</i> sp.1		Sand	Cerr	1
<i>Physalaemus</i> sp.2		Carb	Caa	1
<i>Physalaemus</i> sp.3		Ferr	Ecot (Cerr - Atl)	1
<i>Physalaemus</i> sp.4		Quar	Ecot (Cerr - Atl)	1
<i>Physalaemus</i> sp.5		Cong	Atl	1
<i>Physalaemus</i> sp.6		Carb	Caa	1
Odontophrynidae				
<i>Proceratophrys boiei</i>		Gran	Atl	1
<i>Proceratophrys</i> sp.		Ferr	Ama	1
Pipidae				
<i>Pipa carvalhoi</i> *		Ferr	Ama	1

The three AMC dimensions considered explain 12.91% of the data variability. The categories “Mapbiomas classification” (land use and cover); “altitude”, “biome” and “lithology” (geographical variable); “morphotype” and “Family” (taxonomic); “Light zone” (environmental) is those that discriminate in all axes of analysis the records of Brazilian anurans in Neotropical caves (Figure 1 - Appendix II).

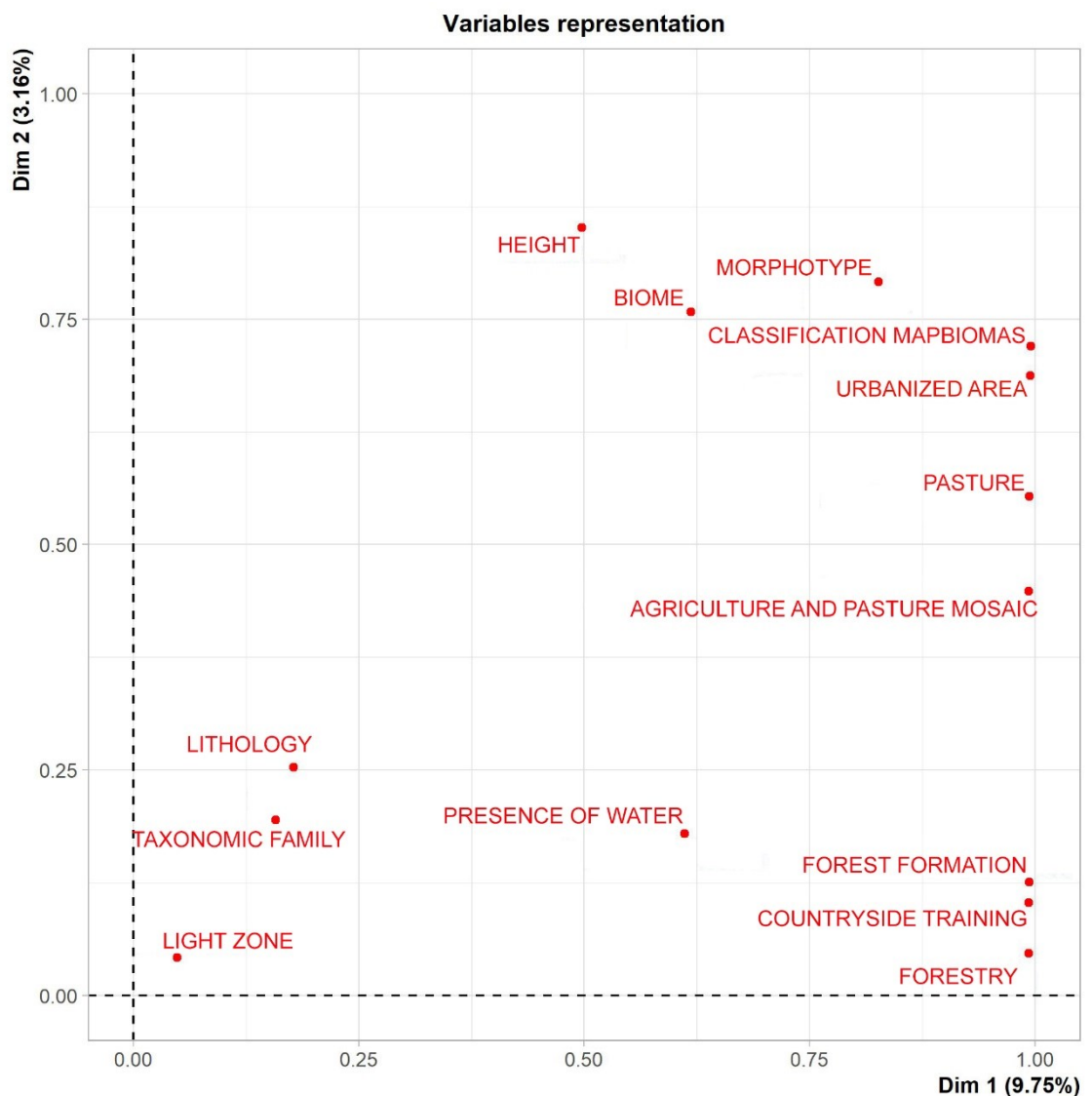


Figure 1: dispersion of categorical variables explaining 12.91% of data variability of records of occurrence of anurans in neotropical caves.

The AMC indicates the formation of two groups of caves in Brazil. The first is formed by caves characterized by being in the Atlantic Forest biome, and Ecotone Caatinga/Atlantic Forest, with altitude, varying from 21 to 246 m above sea level, with carbonate, granite, and marble lithology, presence of intermittent water, inserted in a

landscape matrix with the presence of plant formations (forest, countryside and savanna), pasture cultivation and a mosaic of agriculture with pasture. The species and morphotypes *Scinax x-signatus*, *Ischnocnema manezinho*, *Leptodactylus vastus*, *Leptodactylus labyrinthicus*, *Rhinella* sp., *Rhinella* sp.2, and *Oreobates antrum*, and individuals from the taxonomic families Leptodactylidae and Bufonidae are associated with this type of cave. from the cave entrance (Appendix I).

The second grouping is composed of natural cavities in quartzite and ferruginous lithology, present in the Amazon, Caatinga, and ecotone biomes between Cerrado and Atlantic Forest. They are immersed in a matrix with the presence of pine/eucalyptus plantations (forestry), forest formation, countryside, and rocky outcrops, in addition to the presence of perennial water. This profile is associated with the species *Bokermannohyla hylax*, *Bokermannohyla martinsi*, *Scinax fuscovarius*, *Ischnocnema juipoca*, *Rhinella rubescens*, and *Rhinella ornata*, as well as individuals from the Hylidae and Cycloramphidae families in caves with altitude variations between 1571m and 1608m (Appendix I)

DISCUSSION

The formation of scenarios with the probability of encountering anurans in the cave environment by the ACM indicates that, despite the scarcity of data with scientific or even spatial spaces between them, it allows us to point out in which direction of conservation we can head in the next steps of advancement scientific.

Some categorical variables that could help us understand the use of the physical space of the cavities still have low recording rates, such as the exact location of the luminosity zone or the presence of water. Despite this, there is a probability that most anurans in neotropical caves are found in the entrance zone, which is an indication that the cave serves as a shelter or refuge during the animal's rest period (Bichuette et al., 2022; Dos Santos, 2022a). This last fact is in line with the classification adopted by Sket (2008) adapted from Schiner-Racovitza's initial classification as troglaxene, that is, animals that can live in caves for reproduction, foraging and/or use as shelter and refuge.

In the formation of two groups forming scenarios in which there is a greater probability of finding anurans in caves, there is evidence of favorable conditions for the occupation of the neotropical underground environment by anurans in the Atlantic Forest biome, in carbonate lithology, inserted in a matrix of use and soil cover with forest and countryside formation, and altitude around 246 m above sea level, conditions that take us

to locations such as the south of the state of São Paulo where there is a concentration of carbonate caves protected by parks in the Ribeira Valley, mainly in the state parks of Caverna do Diabo, Turístico do Alto Ribeira and Intervalos (Karmann & Sánchez, 1979; Trajano, 1987; Trajano & Gnaspini, 1991; Bichuette & Santos, 1998). A region located in an ecotone of biomes of the Atlantic Forest and Caatinga is also highlighted, with an altitude relative to the height of the sea between 23 and 26 m, immersed in a region of carbonate rocks, which is the “typical” scenario of karst in northeastern Brazil, where we have human occupation very close to the cavities mainly due to the use of water that comes from underground through drainage, so in this scenario we have the presence of urban occupation, pasture and a mosaic of agriculture and landscape within a 500 m radius of the cavity entrance (Donato, 2011; Gallão & Bichuette, 2015).

Furthermore, we have a high probability of occurrence of *Ischnocnema manezinho* in granite caves with the presence of perennial water (Bichuette et al., 2022), this species has a restricted geographic distribution and occupies the underground environment as a refuge, the city being in expansion undergoes severe environmental impacts on the *I. manezinho* environment. The data also point to a set of variables that refer to another region with a high density of caves and favorable conditions, in the northeast of the state of Goiás and south of the state of Tocantins, pointing to the presence and occupation of the species *Oreobates antrum* in limestone caves and in turn already related to the systematic use of cavities (Motta et al., 2020; Vaz-Silva et al., 2020).

In this first group, anurans from the families Leptodactylidae and Bufonidae are found with significant probability in cavities. In the Brazilian caatinga, cavities can be an “island” of mild conditions compared to extreme surface temperatures and sun exposure, thus providing an environment for maintaining the homeostasis of these anurans during the day (Dos Santos, 2022a), such families are represented by species with many sizes above 50 mm and terrestrial or cryptozoic habits (Bernarde, 2012; Haddad et al. 2013, Vaz-Silva et al. 2020). The entry zone (photic zone) with the greatest probability of finding anurans was also pointed out, indicating its use as a refuge and shelter during the day.

The second grouping demonstrates the grouping of variables in Amazon biomes, Caatinga, and ecotone between Cerrado and Atlantic Forest, located in landscape environments such as pine/eucalyptus cultivation, forest and countryside formation, and the presence of rocky outcrops. The presence of perennial water was also pointed out, which indicates that these locations have times of the year with abundant rainfall or water

recharge, such as the ferruginous Cangas that accumulate water on their plateau and are drained to points for the half underground or lower (Rubbioli et al., 2019).

In this scenario, we can point to the species *Bokermannohyla martinsi* with a restricted and endemic distribution, but a usual inhabitant of cavities in the “Iron Quadrilateral”, cavities in rock with a ferruginous lithological classification (Ferreira et al., 2018; de Andrade et al., 2021). These cavities have the characteristics of being in the rocky outcrop, often just below the Canga in the case of ferruginous lithologies or below rock fields as in the case of carbonate lithologies (campestrian formation - surface layer of the geological formation). According to Andrade et al. (2021), in addition to systematic occupation, there is also regular movement between caves by individuals. These cavities are located inside Parque do Gandarela in the municipality of Nova Lima/MG. It is notable that although it is understood that the geological aspect, mainly about the lithological characterization of where the cave is located, is proportional to the greater number of cavities in rocks with physical-chemical characteristics favorable to speleogenesis such as carbonates (Frisia & Borsato, 2010), however, what is seen about the distribution of data and scenarios is that there is a variation and scope in the occupation of caves in different lithologies (carbonate, ferruginous, granitic and marble).

In general, the categories that indicated anthropogenic changes (types of crops or production and urbanized areas) were mostly pointed out as their absence influencing the occupation of the underground habitat by anuran amphibians. On the other hand, the “present” categories analyzed that were influential in our results were “forest formation”, “rocky outcrop” and “countryside formation”, which indicates that a natural environment preserved around the cavity interferes with the presence of anurans in that location and the consequent entry of these animals in the cave. This result is in line with what is understood to happen in most wild animals, anuran communities tend to reduce their diversity in places with changes as the entire niche realized will be altered (Ernst & Rödel, 2008; Dos Santos et al., 2022a).

The expansion of cultivable areas and environmental impacts directly and indirectly affect the ecological dynamics in natural environments, especially in underground environments due to their environmental stability (Souza-Silva et al., 2011; Ferreira et al., 2015), thus preserving the native vegetation around the cavity, provided for by law, proves to be of utmost importance for this animal group (Dos Santos, 2022a). Despite the growing increase in scientific records in recent years about the occupation of the habitat by anurans, there are still many gaps to be filled, especially if we think about

population studies or studies aimed at some target species with the aim of more assertive biospeleological classifications and that the correct evaluation of these animals is taken into consideration in biological studies, as well as the assessment of speleological relevance in environmental licensing.

CONCLUSION

Our findings point to the formation of groups and scenarios that influence the occupation of underground habitat by anurans, guiding us to investigate the probability of this occupation and areas that can serve as studies in the next steps of science in this field of knowledge. Increasing the scientific framework based on the two scenarios described and finding “spots” of cave anurofauna in the Neotropical region is fundamental for a more assertive understanding of the classification of this group in terms of its life history and ecology. Anurans, as they are animals sensitive to climate and environmental changes, are more likely to occupy caves inserted in a matrix of use without anthropogenic changes, thus also demonstrating that the underground environment is an instrument of a bioindicator species for impacts on cavities and evidence for the conservation of native vegetation in the vicinity of a neotropical cave.

ACKNOWLEDGMENTS

We thanks Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais – UFSCar. This study was partially financed by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001. The first author is a CAPES scholarship holder.

Authorship statement: VFS, WVS and FLTG declare that they participated in the entire preparation of this article, from the conception of the idea to statistical tests and preparation of the text.

BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., de Moraes, G., Leonardo, J., Sparovek, G., 2013. Köppen’s climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 711-728.

- 369 Araujo, C. D. O., Condez, T. H., Bovo, R. P., Centeno, F. D. C., Luiz, A. M., 2010.
 370 Amphibians and reptiles of the Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), SP:
 371 an Atlantic Forest remnant of southeastern Brazil. *Biota Neotropica*, 10, 257-274.
- 372 Archambault, É., Campbell, D., Gingras, Y., Larivière, V., 2009. Comparing bibliometric
 373 statistics obtained from the Web of Science and Scopus. *Journal of the American Society*
 374 *for Information Science and Technology*, 60, 1320-1326.
- 375 Andrade, M.C.M., Costa, J.C.R., Eterovick, P.C., 2021. Fidelity in the use of iron caves
 376 by *Bokermannohyla martinsi* (Anura: Hylidae): a step further in unveiling the importance
 377 of Brazilian caves for the herpetofauna. *Salamandra*, 57, 502-512.
- 378 Badino, G., 2010. Underground meteorology- “what’s the weather underground?” *Acta*
 379 *Carsologica*, 39, 427-448.
- 380 Barr, T.C., Jr., R.A. Kuehne. 1971. Ecological studies in the Mammoth Cave System of
 381 Kentucky, II: The ecosystem. *Annales de Spéléologie* 26, 47-96.
- 382 Bichuette, M.E., Santos, F.H.S., 1998. Levantamento e dados ecológicos da fauna de
 383 invertebrados da Gruta dos Paiva, Iporanga, SP. *O Carste*, 10, 14-19.
- 384 Bichuette, M.E., Sperandei, V.F., Bertolini, D.L.V., Simão, P.X., Sabbag, A.F., 2022.
 385 Frogs of seven granitic caves on Santa Catarina Island, Florianópolis Municipality, Santa
 386 Catarina State, southern Brazil. *Herpetology Notes*, 15, 353-359.
- 387 Birkle, C., Pendlebury, D.A., Schnell, J., Adams, J., 2020. Web of Science as a data source
 388 for research on scientific and scholarly activity. *Quantitative Science Studies*, 1, 363-376.
- 389 Brasil., 2008. Decreto nº 6.640, de 7 de novembro de 2008. Modifica o Decreto
 390 99556/1990. Diário Oficial da União, de 10/11/2008.
 391 http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm
 392 [Acessado em : 11 de setembro de 2023].
- 393 Brasil., 2017. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa Nº2 de 30 de agosto,
 394 2017. <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/IN0002-300817.pdf>.
 395 [Acessado em : 11 de setembro de 2023].
- 396 CECAV., 2023. Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas.
 397 [https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/cecav/cadastro-nacional-](https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/cecav/cadastro-nacional-de-informacoes-espeleologicas/canie)
 398 [de-informacoes-espeleologicas/canie](https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/cecav/cadastro-nacional-de-informacoes-espeleologicas/canie) . [Acessado em 20 de março de 2023].

- 399 Cohen, G.J., Paredero, R.C.B., Kanasiro, A., Sugihara., V.S., 2020. Herpetofauna da
400 Cuesta Paulista : Guia de Campo. São Paulo, SP, 348 p.
- 401 Cohn, A.S., Bhattarai, N., Campolo, J., Crompton, O., Dralle, D., Duncan, J., Thompson,
402 S., 2019. Forest loss in Brazil increases maximum temperatures within 50
403 km. Environmental Research Letters, 14, 084047.
- 404 Costa, J.C.R., Marchi, G.H., Santos, C.S., Andrade, M.C.M., Chaves Junior, S.P., Silva,
405 M.A.N., Melo, M.N., Andrade, A.J., 2021. First molecular evidence of frogs as a food
406 source for sand flies (Diptera: Phlebotominae) in Brazilian caves. Parasitology Research,
407 120, 1571-1582.
- 408 Crouzeilles, R., Santiami, E., Rosa, M., Pugliese, L., Brancalion, P.H., Rodrigues, R.R.,
409 Metzger, J.P., Calmon, M., Scaramuzza, C.A.M., Marsumoto, M.H., Padovezi, A.,
410 Benini., R.M., Chaves, R.B., Metzker, T., Fernandes, R.B., Scarano., F.R., Schmitt, J.,
411 Lui, G., Christ, P., Vieira, R.M., Pinto, S., 2019. There is hope for achieving ambitious
412 Atlantic Forest restoration commitments. Perspectives in Ecology and Conservation, 17,
413 80-83.
- 414 Culver, D.C., 1970. Analysis of simple cave communities I. Caves as islands. Evolution,
415 463-474.
- 416 Culver, D.C., Wilkens, H., 2000. Critical review of the relevant theories of the evolution
417 of subterranean animals. Ecosystems of the World, 381-398.
- 418 Culver, D.C., Pipan, T., 2009. The biology of caves and other subterranean habitats.
419 Oxford, UK. 274 p.
- 420 Culver, D.C., Pipan, T., 2019. The biology of caves and other subterranean habitats.
421 Oxford, UK. 336 p.
- 422 da Silva, M.R., Hayashi, C.R.M., Hayashi, M.C.P.I., 2011. Análise bibliométrica e
423 cientométrica: desafios para especialistas que atuam no campo. Revista de ciência da
424 informação e documentação, 2, 110-129.
- 425 de Araújo, J.P.M., Basílio, G.H.N., de Freitas Kramer, M.A., Moura, T.H.S., Neto, M.R.,
426 da Silva, M., 2017. Fauna cavernícola e os impactos ambientais ao patrimônio
427 espeleológico do município de Martins, Rio Grande do Norte, Brasil. Espeleo-Tema, 28,
428 107-123.

- 429 Delgado, E., Repiso, R., 2013. El impacto de las revistas de comunicación: comparando
430 Google Scholar Metrics, Web of Science y Scopus. *Comunicar*, 21, 45-52.
- 431 Dessen, E.M.B., Eston, V.R., Beck, M.T.T., Trajano, E., 1980. Levantamento preliminar
432 da fauna de cavernas de algumas regiões do Brasil. *Ciência e Cultura*, 32, 714-725.
- 433 Do Brasil, C.S.G. 2004. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, escala 1:1.000.000.
434 Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Brasília.
- 435 Donato, C.R., 2011. Análise de impacto sobre as cavernas e seu entorno no município de
436 Laranjeiras, Sergipe. Unpublished MS Thesis, Universidade Federal de Sergipe, 199 p.
- 437 dos Santos, T., de Souza, A.M., Bondezan, F.L., Eterovick, P.C., 2022a. Going
438 Underground: What the Natural History Traits of Cave Users Can Tell Us about Cave Use
439 Propensity. *Journal of Herpetology*, 56, 153-163.
- 440 dos Santos, T., Ferreira, R.L., de Souza, A.M., Andrade, M.C.M., Costa, J.C.R.,
441 Eterovick., P.C. 2022b. Anfíbios e Répteis em cavernas. In: Zampaulo, R.A., Prous, X.
442 (Eds.) *Fauna cavernícola do Brasil*, Belo Horizonte, MG, p. 492-508.
- 443 Dutra, G. 2015. Gênese e desenvolvimento de cavidades naturais subterrâneas em
444 formações ferríferas. In: Ruchkys, U.A., Travassos, L.E.P., Rasteiro, M.A., Faria, L.E.
445 Patrimônio espeleológico em rochas ferruginosas: propostas para sua conservação no
446 quadrilátero ferrífero, Minas Gerais. Campinas, SP. p 158-173.
- 447 Ernst, R., Rödel, M.O. 2008. Patterns of community composition in two tropical tree frog
448 assemblages: separating spatial structure and environmental effects in disturbed and
449 undisturbed forests. *Journal of tropical ecology*, 24, 111-120.
- 450 Eterovick, P.C., Rievers, C.R., Kopp, K., Wachlevski, M., Franco, B.P., Dias, C.J.,
451 Afonso, L.G., 2010. Lack of phylogenetic signal in the variation in anuran microhabitat
452 use in southeastern Brazil. *Evolutionary Ecology*, 24, 1-24.
- 453 Faivovich, J., Haddad, C.F.B., Garcia, P.C.A., Frost, D.R., Campbell, J.A., Wheeler, W.C.
454 2005. Systematic review of the frog family Hylidae, with special reference to Hylineae:
455 phylogenetic analysis and taxonomic revision. *Bulletin of the American Museum of*
456 *Natural History*, 294, 1-240.

- 457 Falagas, M.E., Pitsouni, E.I., Malietzis, G.A., Pappas, G., 2008. Comparison of PubMed,
458 Scopus, web of science, and Google scholar: strengths and weaknesses. The FASEB
459 journal, 22, 338-342.
- 460 Ferreira, A.R., 1849. Viagem à gruta das Onças. Revista do Instituto Histórico e
461 Geográfico Brasileiro, 12, 87-95.
- 462 Ferreira R.L., de Oliveira M.P.A., Souza-Silva M., 2018. Subterranean biodiversity in
463 ferruginous landscapes. In: Moldovan O.T., Kováč L. & Halse S. (Eds.), Cave Ecology.
464 p. 435-447.
- 465 Ferreira, R.L., Bernard, E., da Cruz Júnior, F.W., Piló, L.B., Calux, A., Souza-Silva, M.,
466 Barlow, J., Pompeu, P.S., Cardoso, P., Mammola, S., García, A.M., Jeffery, W.R., Shear,
467 W., Medellín, R.A., Wynne, J.J., Borges, P.A.V., Kimimura, Y., Pipan, T., Hanja, N.Z.,
468 Sendra, A., Peck, S., Onac, B.P., Culver, D.C., Hoch, H., Flot, J.F., Stoch, F., Pavlek, M.,
469 Niemiller, M.L., Manchi, S., 2022. Brazilian cave heritage under siege. Science, 375,
470 1238-1239.
- 471 Ferreira, R.L., Zampaulo, R.A., Souza-Silva, M., 2022b. A vida subterrânea no casrte de
472 Pains. In: Piló L.B., Cruz, J.B. A região cárstica de Pains. Brasília, DF. p. 152-177.
- 473 Frisia, S., Borsato, A., 2010. Karst. Developments in sedimentology, 61, 269-318.
- 474 Frost, Darrel R. 2023. Amphibian Species of the World: an Online Reference. Version
475 6.2 <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/index.php>. [Acessado em 10 de setembro de
476 2023].
- 477 Gallão, J.E.; Bichuette, M.E., 2015. Taxonomic Distinctness and Conservation of a New
478 High Biodiversity Subterranean Area in Brazil. Academia Brasileira de Ciências, 87,
479 209–217.
- 480 Gouveia, S.F., Rocha, P.A., Mikalauskas, J.S., Silveira, V.V., 2009. *Rhinella jimi* (Cururu
481 Toad) and *Leptodactylus vastus* (Northeastern Pepper Frog) pedation on bats.
482 Hertological Review, 40, 1.
- 483 Haddad, C.F., Toledo, L.F., Prado, C.P., Loebmann, D., Gasparini, J.L., Sazima, I., 2013.
484 Guia dos anfíbios da Mata Atlântica: diversidade e biologia. Anolis books. 544 p.
- 485 Hoffman, D.L., De Leeuw, J., 1992. Interpreting multiple correspondence analysis as a
486 multidimensional scaling method. Marketing letters, 3, 259-272.

- 487 Holsinger, J.R., Culver, D.C., 1988. The invertebrate cave fauna of virginia and a part of
488 eastern tennessee-zoogeography and ecology. *Brimleyana*, 14, 1-162.
- 489 Hortal, J., de Bello, F., Diniz-Filho, J.A.F., Lewinsohn, T.M., Lobo, J.M., Ladle, R.J.,
490 2015. Seven shortfalls that beset large-scale knowledge of biodiversity. *Annual Review*
491 *of Ecology, Evolution, and Systematics*, 46, 523-549.
- 492 ICMBio., 2018. Livro vermelho da fauna Brasileira ameaçada de extinção – Volume I.
493 ICMBio/MMA, Brasília, DF, 492 p.
- 494 Itescu, Y., 2019. Are island-like systems biologically similar to islands? A review of the
495 evidence. *Ecography*, 42, 1298-1314.
- 496 Jansen, D.C., do Nascimento Pereira, K., 2015. Distribuição e caracterização das cavernas
497 brasileiras segundo a base de dados do CECAV. *Revista Brasileira de Espeleologia*, 2, 47-
498 70.
- 499 Karmann, I.; Sánchez, L.E., 1979. Distribuição das rochas carbonáticas e províncias
500 espeleológicas do Brasil. *Espeleo-Tema*, 13, 105-167.
- 501 Lê, S., Josse, J., Husson, F., 2008. FactoMineR: an R package for multivariate
502 analysis. *Journal of statistical software*, 25, 1-18.
- 503 Le Roux, B., Rouanet, H., 2010. Multiple correspondence analysis, Sage. 126 p.
- 504 Lepsch, I.F., 2016. Formação e conservação dos solos. São Paulo, SP, 334 p.
- 505 Lima, A.D., Araujo, C.D.O., Verdade, V.K., 2012. *Cycloramphus eleutherodactylus* (Alto
506 button frog): Calling among rocks and caves. *Herpetological Bulletin*, 120, 39-42.
- 507 Lourenço-de-Moraes, R., Campos, F.S., Ferreira, R.B., Beard, K.H., Solé, M., Llorente,
508 G.A., Bastos, R.P., 2020. Functional traits explain amphibian distribution in the Brazilian
509 Atlantic Forest. *Journal of biogeography*, 47, 275-287.
- 510 Lunghi, E., Manenti, R., 2020. Cave communities: from the surface border to the deep
511 darkness. *Diversity*, 12, 167.
- 512 Luría-Manzano, R., Ramírez-Bautista, A., 2017. Diet comparison between rainforest and
513 cave populations of *Craugastor alfredi* (Anura: Craugastoridae): does diet vary in
514 contrasting habitats? *Journal of Natural History*, 51, 2345-2354.

- 515 Mammola, S., Isaia, M., 2018. Day-night and seasonal variations of a subterranean
516 invertebrate community in the twilight zone. *Subterranean Biology*, 27, 31-51.
- 517 Mammola, S., 2019. Finding answers in the dark: caves as models in ecology fifty years
518 after Poulson and White. *Ecography*, 42, 1331-1351.
- 519 Mammola, S., Cardoso, P., Culver, D.C., Deharveng, L., Ferreira, R.L., Fiser, C., Galassi,
520 D.M.P., Griebler, C., Halse, S., Humphreys, W.F., Isaia, M., Malard, F., Martinez, A.,
521 Moldovan, O.T., Niemiller, M.L., Pavlek, M., Reboleira, A.S.P.S., Souza-Silva, M.,
522 Teeling, E.C., Wynne, J.J., Zagnajster, M., 2019. Scientists' warning on the conservation
523 of subterranean ecosystems. *BioScience*, 69, 641-650.
- 524 Mammola, S., Arnedo, M.A., Fišer, C., Cardoso, P., Dejanaz, A.J., Isaia, M., 2020.
525 Environmental filtering and convergent evolution determine the ecological specialization
526 of subterranean spiders. *Functional Ecology*, 35, 1064-1077.
- 527 Mammola, S., Cardoso, P., 2022. Caves as simplified settings for testing ecological
528 theory. Conference: 18th International Congress of Speleology - UIS 2022. 1, 305-308.
- 529 Martín-Martín, A., Thelwall, M., Orduna-Malea, E., Delgado López-Cózar, E., 2021.
530 Google Scholar, Microsoft Academic, Scopus, Dimensions, Web of Science, and
531 OpenCitations' COCI: a multidisciplinary comparison of coverage via citations.
532 *Scientometrics*, 126, 871-906.
- 533 Matavelli, R., Campos, A.M., Feio, R.N., Ferreira, R.L., 2015. Occurrence of anurans in
534 Brazilian caves. *Acta Carsologica*, 44, 107-120.
- 535 Mongeon, P., Paul-Hus, A., 2016. The journal coverage of Web of Science and Scopus: a
536 comparative analysis. *Scientometrics*, 106, 213-228.
- 537 Montgomery, D.C., Runger, G.C., 2012. Applied statistics and probability for engineers.
538 New York, NY. 822 p.
- 539 Motta, A., Lyra, M., Gazoni, T., Parise-Maltempi, P.P., Haddad, C.F., 2020. New
540 distribution records of *Oreobates antrum* Vaz-Silva, Maciel, Andrade and Amaro, 2018,
541 a cave-associated species from the Seasonally Dry Tropical Forest in the Brazilian
542 Cerrado (Anura: Brachycephaloidea: Craugastoridae). *Herpetology Notes*, 13, 561-563.

- 543 Oliveira, E.F.T.D., Gracio, M.C.C., 2011. Indicadores bibliométricos em ciência da
544 informação: análise dos pesquisadores mais produtivos no tema estudos métricos na base
545 Scopus. *Perspectivas em Ciência da Informação*, 16, 16-28.
- 546 Ortuño, V.M., Gilgado, J.D., Jiménez-Valverde, A., Sendra, A., Pérez-Suárez, G.,
547 Herrero-Borgoñón, J.J., 2013. The “alluvial mesovoid shallow substratum”, a new
548 subterranean habitat. *PLoS One*, 8, e76311.
- 549 Pansonato, A., Motta, A., Cacciali, P., Haddad, C.F., Strüssmann, C., Jansen, M., 2020.
550 On the identity of species of *Oreobates* (Anura: *craugastoridae*) from Central South
551 America, with the description of a new species from Bolivia. *Journal of Herpetology*, 54,
552 393-412.
- 553 Peck, S.B., 1976. The effect of cave entrances on the distribution of cave-inhabiting
554 terrestrial arthropods. *International Journal of Speleology*, 8, 309-321.
- 555 Pinto-da-Rocha, R., Sessegolo, G.C., 2001. Estudo da fauna da gruta de São Miguel I,
556 Serra da Bodoquena (MS), como subsídio para o plano de manejo. *Conservando Caverna*:
557 Quinze anos de espeleologia, 123-134.
- 558 Pough, F.H., Janis, C.M., Heiser, J.B., 2008. *A Vida dos Vertebrados*. São Paulo, SP, 684
559 p.
- 560 Pough, F.H., Andrews, R.M., Crump, M.L., Savitzky, A.H., Wells, K.D., Brandley, M. C.
561 2015. *Herpetology*. Massachusetts, 744 p.
- 562 R Core Team., 2023. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R
563 Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (<https://www.R-project.org/>)
- 564 Rasband, W.S., 1997. *ImageJ*. Bethesda, MD: US National Institutes of Health.
565 (<https://imagej.nih.gov/ij/index.html>)
- 566 Rubbioli, E., Auler, A., Menin, D., & Brandi, R. (2019). *Cavernas-Atlas do Brasil*
567 *Subterrâneo*. Brasília, *ICMBio/CECAV*. 370p.
- 568 Segalla, M.V., Berneck, B., Canedo, C., Caramaschi, U., Cruz, C. A. G., Garcia, P. C.,
569 Grant, T., Haddad, C.F.B., Lourenço, A.C.C., Mângia, S., Mott, T., Nascimento, L.B.,
570 Toledo, L.F., Werneck, F.P., Langone, J.A., 2021. List of Brazilian amphibians.
571 *Herpetologia Brasileira*, 10, 121-216.

- 572 Simões, M.H., Souza-Silva, M., Ferreira, R.L., 2015. Cave physical attributes influencing
573 the structure of terrestrial invertebrate communities in Neotropics. *Subterranean Biology*,
574 16, 103-121.
- 575 Silva, J.A.D., Bianchi, M.D.L.P., 2001. Cientometria: a métrica da ciência. *Paidéia*, 11,
576 5-10.
- 577 Silvestre, A., 2007. *Análise de dados e estatística descritiva*. Lisboa, 352 p.
- 578 Sket, B., 2008. Can we agree on an ecological classification of subterranean animals?
579 *Journal of Natural History*, 42, 1549-1563.
- 580 SBE – Sociedade Brasileira de Espeleologia., 2024. CNC - Cadastro Nacional de
581 Cavernas do Brasil: banco de dados digital. c. 2001. Disponível em: <https://sbecnc.org.br/>
582 . Acesso em: 01 de março de 2024.
- 583 Souza Jr, C.M., Z. Shimbo, J., Rosa, M.R., Parente, L.L., A. Alencar, A., Rudorff, B.F.,
584 Hasenack, H., Matsumoto, M., Ferreira, L.G., Souza-Filho, P.W.M., de Oliveira, S.W.,
585 Rocha, W.F., Fonseca, A.V., Marques, C.B., Diniz, C.G., Costa, D., Monteiro, D., Rosa,
586 E.R., Vélez-Martin, E., Weber, E.J., Lenti, F.E.B., Pasternost, F.F., Pareyn., Siqueira, J.V.,
587 Viera, J.L., Neto, L.C.F., Saraiva, M.M., Sales, M.H., Salgado, M.P.G., Vasconcelos, R.,
588 Galano, S., Mesquita, V.V., Azevedo, T. (2020). Reconstructing three decades of land use
589 and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. *Remote*
590 *Sensing*, 12, 2735.
- 591 Souza-Silva, M., Cerqueira, R.F.V., Pellegrini, T.G., Ferreira, R.L., 2021. Habitat
592 selection of cave-restricted fauna in a new hotspot of subterranean biodiversity in
593 Neotropics. *Biodiversity and Conservation*, 30, 4223-4250.
- 594 Souza-Silva, M., Ferreira, R.L. 2022. Dinâmica trófica em ambientes de cavernas. In:
595 Zampaulo, R.A., Prous, X. (Eds.) *Fauna cavernícola do Brasil*, Belo Horizonte, MG, p.
596 59-81.
- 597 Suwannapoom, C., Sumontha, M., Tunprasert, J., Ruangsuwan, T., Pawangkhanant, P.,
598 Korost, D.V., Poyarkov, N.A., 2018. A striking new genus and species of cave-dwelling
599 frog (Amphibia: Anura: Microhylidae: Asterophryinae) from Thailand. *PeerJ*, 6, e4422.

- 600 Tobin, B.W., Hutchins, B.T., Schwartz, B.F., 2013. Spatial and temporal changes in
601 invertebrate assemblage structure from the entrance to deep-cave zone of a temperate
602 marble cave. *International Journal of Speleology*, 42, 203-214.
- 603 Trajano, E., 1986. Fauna cavernícola brasileira: composição e caracterização preliminar.
604 *Revista brasileira de Zoologia*, 3, 533-561.
- 605 Trajano, E., Gnaspini-Netto, P., 1991. Composição da fauna cavernícola brasileira, com
606 uma análise preliminar da distribuição dos táxons. *Revista brasileira de Zoologia*, 7, 383-
607 407.
- 608 Trajano, E., Bichuette, M., 2006. *Biologia subterrânea*. São Paulo, SP, 138 p.
- 609 Trevelin, L.C., Simões, M.H., Prous, X., Pietrobon, T., Brandi, I.V., Jaffé, R., 2021.
610 Optimizing speleological monitoring efforts: insights from long-term data for tropical
611 iron caves. *PeerJ*, 9, e11271.
- 612 Vaz-Silva, W., Maciel, N.M., Nomura, F., Morais, A.R.D., Batista, V.G., Santos, D.L.,
613 Andrade, S.P., de Oliveira, A.A.B., Brandão, R.A., Bastos, R.P., 2020. Guia de
614 identificação das espécies de anfíbios (Anura e Gymnophiona) do estado de Goiás e do
615 Distrito Federal, Brasil Central. Curitiba, PR, 223 p.
- 616 Vidal, M.M., Banks-Leite, C., Tambosi, L.R., Hasui, É., Develey, P.F., Silva, W.R.,
617 Guimarães Jr, P.R., Metzger, J.P. 2019. Predicting the non-linear collapse of plant–
618 frugivore networks due to habitat loss. *Ecography*, 42, 1765-1776.
- 619 Vitt, L.J., Caldwell, J.P. 2013. *Herpetology. An Introductory Biology of Amphibians and*
620 *Reptiles*. Amsterdam, 757 p.
- 621 White, W.B., 2002. Karst hydrology: recent developments and open questions.
622 *Engineering geology*, 65, 85-105.
- 623 Zerba, K.E., Collins, J.P., 1992. Spatial heterogeneity and individual variation in diet of
624 an aquatic top predator. *Ecology*, 73, 268-279.
- 625

Appendix I: Representative variables and categories in Multiple Correspondence Analysis (ACM). R^2 is the coefficient of determination of the adjustment to the applied model, p-value $p < 0.05$. Significant values for each dimension are indicated in bold.

Variable	Category	Dimension 1		Dimension 2		Dimension 3	
		R^2	p-value	R^2	p-value	R^2	p-value
Use and Coverage	MapBiomes classification	9.950e⁻⁰¹	1.200e⁻²⁷⁰	7.200e ⁻⁰¹	1.837e ⁻⁶²		
Use and Coverage	Coffee - Abstense	5.964e⁻⁰¹	3.863e⁻¹⁹⁸	e ⁻⁰¹	e ⁻⁵¹	e ⁻⁰¹	e ⁻⁶⁵
Use and Coverage	Water - Abstense	5.620e⁻⁰¹	2.448e⁻¹⁹⁴	-	-	-	-
Use and Coverage	Ocean - Abstense	6.184e⁻⁰¹	1.927e⁻¹⁷²	-	-	-	-
Use and Coverage	Flooded field - Abstense	6.090e⁻⁰¹	1.461e⁻¹³⁹	-	-	-	-
Use and Coverage	Cane – Abstense	5.911e⁻⁰¹	4.051e⁻¹³⁷	-	-	-	-
Use and Coverage	Agriculture – Abstense	6.431e⁻⁰¹	1.217e⁻¹⁰⁵	-	-	-	-
Use and Coverage	Forest formation – Presence	6.492e⁻⁰¹	2.110e⁻¹⁰¹	-	-	-6.331e ⁻⁰¹	1.962e ⁻⁰⁵
Use and Coverage	Eucalypto forest – Abstense	6.081e ⁻⁰¹	9.727e ⁻⁹⁶	-	-	-	-

Use and Coverage	Rocky Outcrop – Abstense	6.287e⁻⁰¹	2.408e⁻⁸²	-	-	5.254e-01	2.439e ⁻⁰⁶
Use and Coverage	Urban – Abstense	5.585e⁻⁰¹	1.491e⁻⁷⁷	-7.717e⁻⁰¹	-2.108e⁻¹¹	-	-
Geografic	Altitude	4.975e ⁻⁰¹	3.769e ⁻²⁰	8.513e⁻⁰¹	8.525e⁻⁷⁵	8.003e ⁻⁰¹	3.528e ⁻⁶¹
Geografic	Biome	6.184e ⁻⁰¹	1.764e ⁻⁴⁷	7.582e⁻⁰¹	4.363e⁻⁷¹	4.046e ⁻⁰¹	1.170e ⁻²⁴
Use and Coverage	Savannah formation – Abstense	6.546e⁻⁰¹	7.324e⁻⁵⁸	-	-	-3.283e ⁻⁰¹	2.710e ⁻⁰⁵
Use and Coverage	Grassland formation – Abstense	6.125e⁻⁰¹	2.423e⁻⁵⁷	-2.694e ⁻⁰¹	6.008e ⁻⁰⁴	-	-
Geografic	Biome – Ecotone Caatinga / Fl. Atlantic	1.292e ⁻⁰¹	8.991e ⁻¹⁰	1.431e⁺⁰⁰	1.654e⁻⁵⁷	1.895e ⁻⁰¹	3.956e ⁻⁰³
Geografic	Biome – Ecotone Caatinga / Fl. Atlantic	1.292e ⁻⁰¹	8.991e ⁻¹⁰	1.431e⁺⁰⁰	1.654e⁻⁵⁷	1.895e ⁻⁰¹	3.956e ⁻⁰³
Use and Coverage	Urban – Presence	7.134e ⁻⁰¹	5.589e ⁻⁰⁸	1.225e⁺⁰⁰	2.275e⁻⁵¹	2.224e ⁻⁰¹	1.793e ⁻⁰²
Use and Coverage	Pasture – Abstense	5.890e⁻⁰¹	5.489e⁻⁴⁵	-5.995e ⁻⁰¹	8.991e ⁻¹⁸	-2.610e ⁻⁰¹	3.552e ⁻⁰⁴
Environmental	Presence de Water	6.110e⁻⁰¹	1.457e⁻⁴⁹	1.795e ⁻⁰¹	1.951e ⁻¹⁰	5.162e ⁻⁰²	4.844e ⁻⁰³
Environmental	Presence de Water – intermittent	4.357e⁻⁰¹	1.424e⁻³¹	3.419e ⁻⁰¹	5.351e ⁻⁰⁸	-4.873e ⁻⁰²	2.830e ⁻⁰²

Use and Coverage	MapBiomes classification – Forest formation	2.001e⁻⁰¹	8.399e⁻³⁰	-6.204e ⁻⁰¹	2.932e ⁻⁰⁸	-2.126e ⁻⁰¹	3.886e ⁻⁰³
Taxonomic	Morphospecie	8.261e⁻⁰¹	1.566e⁻³⁰	7.913e ⁻⁰¹	4.158e ⁻²⁵	7.822e ⁻⁰¹	7.278e ⁻²⁴
Use and Coverage	Pasture – Presence	6.539e ⁻⁰¹	4.948e ⁻¹⁶	7.417e⁻⁰¹	9.840e⁻³⁰	3.387e ⁻⁰¹	5.297e ⁻⁰⁷
Use and Coverage	Agliculture and Pasture mosaic – Presence	6.296e⁻⁰¹	1.604e⁻²⁸	5.438e ⁻⁰¹	5.507e ⁻¹⁷	-	-
Use and Coverage	Agliculture and Pasture mosaic – Abstense	6.051e⁻⁰¹	3.039e⁻²⁶	-	-	-	-
Geografic	Biome – Fl. Atlantic	7.254e⁻⁰¹	1.202e⁻²⁰	-4.157e ⁻⁰¹	2.666e ⁻⁰⁹	-4.053e ⁻⁰¹	4.168e ⁻⁰⁹
Use and Coverage	Grassland formation – Presence	6.242e ⁻⁰¹	1.197e ⁻¹¹	3.473e ⁻⁰¹	1.186e ⁻⁰⁵	-5.318e⁻⁰¹	6.716e⁻¹⁴
Use and Coverage	Savannah formation – Presence	5.666e⁻⁰¹	3.068e⁻¹¹	e ⁻⁰¹	e ⁻¹⁰	4.509e ⁻⁰¹	1.003e ⁻¹⁰
Geologic	Lithology	1.780e ⁻⁰¹	4.805e ⁻⁰⁸	2.531e ⁻⁰¹	1.186e ⁻¹²	5.628e⁻⁰¹	1.3557e⁻³⁹
Environmental	Presence de Water – perene	3.868e⁻⁰¹	1.159e⁻⁰⁷	-6.032e ⁻⁰¹	3.213e ⁻⁰⁶	-2.152e ⁻⁰¹	1.146e ⁻⁰²
Use and Coverage	MapBiomes classification - Agliculture and Pasture mosaic	3.502e ⁻⁰¹	1.830e ⁻⁰⁷	1.232e+00	1.775e-32	2.912e ⁻⁰¹	1.793e ⁻⁰²

Use and Coverage	Rocky Outcrop – Presence	5.991e ⁻⁰¹	8.312e ⁻⁰⁷	e ⁻⁰¹	e ⁻⁰⁶	-8.412e ⁻⁰¹	3.207e ⁻²⁴
Taxonomic	Morphospecie – <i>Bokermannohyla martinsi</i>	1.142e ⁺⁰⁰	5.316e ⁻⁰⁶	e ⁻⁰¹	e ⁻¹⁷	-1.147e ⁺⁰⁰	1.093e ⁻²²
Use and Coverage	MapBiomes classification – Savannah formation	1.240e ⁻⁰¹	8.361e ⁻⁰⁶	8.752e ⁻⁰¹	9.259e ⁻⁰⁶	1.335e ⁺⁰⁰	2.896e ⁻³³
Use and Coverage	Eucalypto forest – Presence	6.333e ⁻⁰¹	1.887e ⁻⁰⁵	-3.752e ⁻⁰¹	6.739e ⁻⁰⁴	-3.476e ⁻⁰¹	9.863e ⁻⁰⁴
Geografic	Altitude – 26m	1.794e ⁻⁰¹	8.226e ⁻⁰⁵	1.889e ⁺⁰⁰	9.053e ⁻²⁶	-	-
Taxonomic	Family	1.580e ⁻⁰¹	4.716e ⁻⁰⁵	1.948e ⁻⁰¹	6.829e ⁻⁰⁷	2.631e ⁻⁰¹	9.075e ⁻¹¹
Use and Coverage	Agriculture – Presence	5.727e ⁻⁰¹	1.861e ⁻⁰⁴	-	-	2.798e ⁻⁰¹	1.169e ⁻⁰²
Use and Coverage	MapBiomes classification – Grassland formation	1.931e ⁻⁰¹	2.538e ⁻⁰⁴	-	-	-9.140e ⁻⁰¹	9.520e ⁻⁰⁸
Taxonomic	Morphospecie – <i>Scinax x-signatus</i>	1.430e ⁺⁰⁰	3.160e ⁻⁰⁴	1.502e ⁺⁰⁰	8.647e ⁻¹⁵	-	-
Taxonomic	Family - Hylidae	3.943e ⁻⁰¹	4.948e ⁻⁰⁴	e ⁻⁰¹	e ⁻¹⁸	-3.394e ⁻⁰¹	1.197e ⁻¹¹
Taxonomic	Morphospecie – <i>Ischnocnema manezinho</i>	1.270e ⁺⁰⁰	6.408e ⁻⁰⁴	-5.466e ⁻⁰¹	5.449e ⁻⁰³	-	-

Environmental	Light zone - Entrance	8.430e ⁻⁰¹	7.776e ⁻⁰⁴	-	-	-	-
Environmental	Light zone	4.869e⁻⁰²	6.875e⁻⁰³	4.226e ⁻⁰²	1.467e ⁻⁰²	-	-
Geografic	Altitude – 23 m	1.616e ⁻⁰¹	1.143e ⁻⁰³	1.882e⁺⁰⁰	2.142e⁻¹⁷	-	-
Geologic	Lithology – Granitic	6.608e ⁻⁰¹	1.419e ⁻⁰³	-2.830e⁻⁰¹	2.032e⁻⁰⁶	-4.155e ⁻⁰¹	9.155e ⁻⁰³
Taxonomic	Morphospecie – <i>Rhinella</i> sp.	1.119e ⁺⁰⁰	1.555e ⁻⁰³	-	-	-	-
Use and Coverage	MapBiomes classification – Rocky Outcrop	1.887e ⁻⁰¹	1.739e ⁻⁰³	-	-	-1.243e⁺⁰⁰	1.460e⁻¹⁰
Geografic	Altitude – 198 m	7.002e⁻⁰²	2.552e⁻⁰³	-	-		
Taxonomic	Morphospecie – <i>Bokermannohyla</i> <i>hyla</i>	3.959e⁺⁰⁰	4.543e⁻⁰³	-7.061e ⁻⁰¹	2.303e ⁻⁰³	-	-
Taxonomic	Morphospecie – <i>Leptodactylus</i> <i>vastus</i>	1.384e ⁺⁰⁰	4.931e ⁻⁰³	1.269e ⁺⁰⁰	2.395e ⁻⁰⁷	-	-
Geologic	Lithology – Carbonatic	2.864e ⁻⁰¹	5.126e ⁻⁰³	3.561e⁻⁰¹	1.225e⁻⁰⁶	-8.010e ⁻⁰²	8.457e ⁻⁰³
Use and Coverage	Cane – Presence	6.666e ⁻⁰¹	5.873e ⁻⁰³	-	-	4.420e⁻⁰¹	6.743e⁻⁰³

Geologic	Lithology – Marble	9.642e ⁻⁰¹	6.035e ⁻⁰³	8.139e ⁻⁰¹	9.607e ⁻⁰⁹	1.559e ⁺⁰⁰	1.623e ⁻³¹
Use and Coverage	Flooded field – Presence	6.331e ⁻⁰¹	6.035e ⁻⁰³	-	-	-	-
Taxonomic	Morphospecie – <i>Cycloramphus</i> sp.	1.301e ⁺⁰⁰	8.750e ⁻⁰³	-	-	-	-
Taxonomic	Morphospecie – <i>Leptodactylus</i> sp.	8.847e ⁻⁰¹	1.058e ⁻⁰²	-	-	3.899e ⁻⁰¹	4.229e ⁻⁰³
Geografic	Altitude – 21m	1.296e ⁻⁰¹	1.488e ⁻⁰²	8.320e ⁻⁰¹	1.047e-02	-	-
Use and Coverage	MapBiomes classification – Pasture	3.108e ⁻⁰¹	1.516e ⁻⁰²	1.425e ⁺⁰⁰	2.897e-09	-	-
Taxonomic	Morphospecie – <i>Scinax catharinae</i>	1.303e ⁺⁰⁰	2.345e ⁻⁰²	-7.374e ⁻⁰¹	1.429e ⁻⁰²	-	-
Taxonomic	Morphospecie – <i>Hylidae</i> sp.	1.294e ⁺⁰⁰	2.460e ⁻⁰²	-	-	-	-
Taxonomic	Morphospecie – <i>Rhinella ornata</i>	-5.860e ⁻⁰¹	4.807e ⁻⁰²	-	-	-	-
Taxonomic	Morphospecie – <i>Ischnocnema juipoca</i>	-6.130e ⁻⁰¹	4.019e ⁻⁰²	-	-	-	-

Taxonomic	Morphospecie – <i>Rhinella rubescens</i>	-5.960e ⁻⁰¹	2.991e ⁻⁰²	-	-	-4.230e ⁻⁰¹	3.708e ⁻⁰²
Geologic	Lithology – Quartizítica	-6.459e ⁻⁰¹	1.054e ⁻⁰²	-	-	-	-
Taxonomic	Morphospecie – <i>Scinax fuscovarius</i>	-4.540e ⁻⁰¹	3.975e ⁻⁰³	-	-	-	-
Geografic	Biome – Amazon	-7.530e ⁺⁰⁰	1.253e ⁻⁰⁴	-	-	-	-
Geografic	Biome – Ecotone Cerrado / Fl. Atlantic	-6.481e ⁻⁰¹	2.870e ⁻⁰⁵	-	-	-	-
Geologic	Lithology – Ferruginous	-2.634e ⁻⁰¹	1.264e ⁻⁰⁵	-	-	-4.428e ⁻⁰¹	1.287e ⁻⁰⁹
Environmental	Light zone – Aphotic	-	-	7.883e ⁻⁰¹	-1.780e ⁻⁰³	-	-
Geografic	Altitude – 23 m	-	-	1.256e ⁺⁰⁰	2.149e ⁻⁰²	-	-
Taxonomic	Morphospecie – <i>Rhinella</i> sp.1	-	-	-9.532e ⁻⁰¹	2.048e ⁻⁰⁴	1.446e ⁺⁰⁰	1.393e ⁻¹¹
Taxonomic	Family – Cycloramphidae	-	-	-2.688e ⁻⁰¹	3.985e ⁻⁰²	-	-
Geografic	Biome – Caatinga	-	-	-6.063e ⁻⁰¹	8.171e ⁻⁰⁵	8.208e ⁻⁰¹	2.306e ⁻²⁰

Use and Coverage	Forest formation – Abstense	-	-	-6.129e ⁻⁰¹	1.647e ⁻⁰⁸	1.085e ⁺⁰⁰	3.082e ⁻³¹
Use and Coverage	Agriculture and Pasture mosaic – Abstense	-	-	-5.739e ⁻⁰¹	6.949e ⁻²¹	-	-
Geografic	Altitude – 476 m	-	-	-1.037e ⁺⁰⁰	1.893e ⁻⁰³	-	-
Geografic	Altitude – 348 m	-	-	-1.038e ⁺⁰⁰	1.883e ⁻⁰³	-	-
Geografic	Altitude – 343 m	-	-	-1.153e ⁺⁰⁰	5.926e ⁻⁰⁴	-	-
Use and Coverage	Grassland formation – Abstense	-	-	-	-	3.806e ⁻⁰¹	2.163e ⁻⁰⁶
Taxonomic	Morphospecie – <i>Rhinella</i> sp.2	-	-	-	-	2.040e ⁺⁰⁰	1.013e ⁻⁰⁵
Taxonomic	Morphospecie – <i>Leptodactylus labyrinthicus</i>	-	-	-	-	5.955e ⁻⁰¹	2.374e ⁻⁰⁴
Taxonomic	Family - Bufonidae	-	-	-	-	2.500e ⁻⁰¹	2.871e ⁻⁰⁴
Taxonomic	Morphospecie – <i>Oreobates antrum</i>	-	-	-	-	9.131e ⁻⁰¹	4.124e ⁻⁰³
Taxonomic	Family – Leptodactylidae	-	-	-	-	2.615e ⁻⁰¹	9.159e ⁻⁰⁶

Geografic	Altitude – 343 m	-	-	-	-	2.092e⁺⁰⁰	5.072e⁻¹⁰
Geografic	Altitude – 476 m	-	-	-	-	1.920e⁺⁰⁰	1.547e⁻⁰⁸
Geografic	Altitude – 348 m	-	-	-	-	1.895e⁺⁰⁰	2.451e⁻⁰⁸
Geografic	Altitude – 297 m	-	-	-	-	2.063e⁺⁰⁰	2.285e⁻⁰⁵
Geografic	Altitude – 640 m	-	-	-	-	7.559e⁻⁰¹	3.672e⁻⁰²
Geografic	Altitude – 1600 m	-	-	-	-	-1.100e⁺⁰⁰	1.793e⁻⁰²
Geografic	Altitude – 1608 m	-	-	-	-	-1.344e⁺⁰⁰	3.957e⁻⁰³
Geografic	Altitude – 1602 m	-	-	-	-	-1.344e⁺⁰⁰	3.957e⁻⁰³
Geografic	Altitude – 1606 m	-	-	-	-	-1.344e⁺⁰⁰	3.957e⁻⁰³
Geografic	Altitude – 1623 m	-	-	-	-	-1.398e⁺⁰⁰	2.742e⁻⁰³
Geografic	Altitude – 157 1m	-	-	-	-	-1.012e⁺⁰⁰	1.865e⁻⁰³
Geografic	Altitude – 1614 m	-	-	-	-	-1.245e⁺⁰⁰	1.371e⁻⁰⁴

CAPÍTULO III

Anuros e cavernas neotropicais: tópicos de história natural dos anuros habitantes do ambiente cavernícola

A ser submetido em *Brazilian Journal of Biology* (Qualis A3 - Quadriênio 2017-2020; Fator de Impacto: 1.651 - 2022)

Normas e diretrizes para submissão em <https://bjb.com.br/instructions-for-authors/>

Anuros e cavernas neotropicais: tópicos de história natural dos anuros habitantes do ambiente cavernícola

Vinícius da Fontoura Sperandei¹, Wilian Vaz-Silva², Francisco Leonardo Tejerina-Garro^{1,2,3}

¹ Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, 13565-905, Km 235, Rodovia Washington Luís, São Carlos, SP, Brazil.

² Programa de Pós-Graduação em Ciências ambientais e saúde, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Av. Universitária 1.440, Setor Universitário, 74605-010 - Goiânia, Goiás, Brazil.

³ Programa de Pós-Graduação em Sociedade, tecnologia e meio ambiente, Universidade Evangélica de Goiás, 75083-515, Av. Universitária km 3,5 Cidade Universitária – Anápolis, Goiás, Brazil.

ORCID:

Vinícius da Fontoura Sperandei: 0000-0002-3093-706X

Willian Vaz Silva: 0000-0001-6235-5331

Francisco Leonardo Tejerina-Garro: 0000-0002-5159-8108

Abstract: Anurans form a group with wide plasticity of habits and characteristics that distinguish the behavior of the species, in this way we list variables of conservation status, home range and natural history to identify whether there are data dispersion patterns, and any characteristic is essential for the occupation of anurans in Neotropical caves in the Brazilian region. A Multivariate Multiple Component Analysis was carried out with the categorical variables and their subcategories with the characteristics of 177 records of anurans identified to species in Brazilian cavities obtained through a bibliographic review. In this way, it was dispersed into two specific groups with antagonistic characteristics, in one of the groups was characterized by animals with a restricted distribution area, endemic and infrequent or rare in the local herpetological community, with daytime periods, habits associated with rocky outcrops and breeding sites, caves and burrows or river/stream or forest floor, in addition to the IUCN “endangered – EN” conservation status. The second group is formed by anurans with a wide and moderate distribution area, without endemism and frequent in the environment, predominantly nocturnal animals, with arboreal habits and in open and open or forested habitats, with a breeding site in swamps/lakes and river backwaters. , with no degree of threat to conservation by IUCN and MMA-BRAZIL. Indicating that from the data already recorded, there is no indication of just one group of characteristics that allows a group to occupy this environment to the detriment of another group of anurans, and all Brazilian neotropical anurofauna are essentially inhabitant of the coastal environment.

Keywords: Cave biology, speleology, life history, neotropical karst

Resumo: Anuros formam um grupo com ampla plasticidade de hábitos e características que distinguem os comportamentos das espécies, desta forma elencamos variáveis de status de conservação, área de vida e história natural com o objetivo de identificar se há padrões de dispersão de dados e se alguma característica é primordial para a ocupação de anuros em cavernas neotropicais da região brasileira. Foi realizada uma Análise Multivariada de Componentes Múltiplos para a identificação de agrupamentos com as variáveis categóricas e suas subcategorias com as características de 177 registros de anuros identificados até espécie em cavidades brasileiras obtidas por revisão bibliográfica. Desta forma foi disperso em dois agrupamentos significativos com características antagônicas, em um dos grupos caracterizado por animais de área de distribuição restrita, endêmicos e pouco frequente ou raro na comunidade herpetológica

local, de período diurno, hábitos associados á afloramentos rochosos e local de reprodução, grutas e tocas ou rio/riacho ou chão de mata, além de status de conservação “em perigo – EN” da IUCN. Já o segundo grupo é formado por anuros com área de distribuição ampla e moderada, sem endemismo e frequente no ambiente, animais predominantemente noturnos, com hábitos arborícolas e em habitat's aberto e aberto ou florestada, com local de reprodução brejo/lago e remanso de rios, sem grau de ameaça a conservação pela IUCN e MMA-BRASIL. A partir dos dados já registrados, não há o apontamento de apenas um grupo de características que permitem um grupo a ocupar este ambiente em detrimento a outro grupo de anuros, e toda a anurofauna neotropical brasileira é potencialmente habitante do meio subterrâneo.

Palavras-chave: Biologia subterrânea, espeleologia, história de vida, karst neotropical

1 – INTRODUÇÃO

Os organismos são complexas estruturas biológicas, com comportamentos inerentes ao seu modo de vida, estruturas fisiológicas adaptadas ao meio que vivem, situadas no tempo e espaço dentro de um nicho que lhe permite a sobrevivência e manutenção da vida (Culver & Pipan, 2019). Mas o indivíduo é apenas uma pequena parte de uma rede ampla de fatores bióticos e abióticos que lhe permitem se manter vivo dentro de um ambiente.

Um destes ambientes naturais são as cavidades subterrâneas, um componente da paisagem que possui características singulares que influenciam diretamente a dinâmica ecológica no seu interior até mesmo as comunidades em seu entorno (Trajano & Bichuette, 2006).

Características abióticas bem definidas e com elevada estabilidade são marcas do ambiente cavernícola. Cavidades naturais possuem ausência permanente de incidência direta de luz solar em suas zonas mais profundas e a taxa de luminosidade marca as zonas de desenvolvimento da cavidade gerando assim um gradiente a partir da entrada da caverna (entrada ou fótica, disfótica e afótica), temperatura média estável e umidade relativa tendendo a saturação (Culver e Pipan, 2009; Mejía-Ortíz et al., 2020; 2021).

Outras características que também moldam o ambiente cavernícola, tal como a escassez de recursos energéticos na maioria das cavidades naturais (Espino del Castillo et al., 2009), com o aporte energético do sistema ecológico majoritariamente de origem epígea e formada por detritos ou matéria orgânica dissolvida (MOD) carreados para o meio subterrâneo pela entrada de água, vento, ou por animais que transitam entre o meio

hipógeo e epígeo (Culver e Pipan, 2009, Silva et al., 2012, Souza-Silva e Ferreira, 2022). Estes atributos em conjunto são limitantes para a ocupação do meio subterrâneo pela grande maioria das espécies do meio superficial, formando um filtro ambiental (Gibert e Deharveng, 2002). As estruturas ecológicas de cavidades subterrâneas normalmente formam redes tróficas simplificadas (Poulson e Lavoie, 2000; Poulson, 2012), baseadas em detritívoros e invertebrados em sua grande maioria das cavidades.

No interior das cavidades naturais encontramos uma comunidade com uma grande variedade de táxons, predominantemente composta por espécies pré-adaptadas às condições abióticas e bióticas citadas, além de grupos epígeos com necessidades fisiológicas ou comportamentais de nichos ecológicos mais sombreados e/ou úmidos (Culver e Pipan, 2009). Normalmente estes organismos encontrados no interior do sistema cavernícola possuem hábitos alimentares detritívoros e/ou com dieta generalista (Ferreira et al., 2022).

A fauna cavernícola é composta por espécies que podem frequentar esse ambiente temporária ou permanentemente, e é esta relação que indica qual a classificação bio-espeleológica aquela espécie será incluída para fins de conservação e conhecimento, em categorias propostas por Schiner-Racovitza (1907) e adaptado por Sket (2008) na qual definem como é realizado o trânsito das espécies entre o ambiente epígeo de hipógeo e dependência do meio subterrâneo para sua sobrevivência. Troglóbios (“cavernícolas obrigatórios”) são os animais exclusivos do ambiente subterrâneo, que apresentam muitas vezes modificações morfofisiológicas e comportamentais, tais organismos possuem uma relação de dependência ao ambiente estável que uma cavidade pode proporcionar; troglófilos (afinidade ao ambiente cavernícola) formam uma classe de espécies que possuem a capacidade de ocupar o ambiente cavernícola, porém sem a relação de dependência, formando assim também populações no meio superficial; trogló xenos (transitórios entre a superfície e subterrâneo) são os animais que habitam o meio hipógeo em algum momento (refúgio, local de nidificação e reprodução por exemplo) mas precisam periodicamente ir ao ambiente externo para completar seu ciclo de vida, e em complemento ainda há a classificação dos “animais acidentais”, que por ventura acabam entrando em alguma cavidade, mas não possuem habilidades de forrageio para permanecer longos períodos acabam saindo ou em casos de não conseguir se localizar e superar obstáculos físicos acabam morrendo no interior da caverna (Sket, 2008; Culver e Pipan, 2009.).

Grande parte das espécies encontradas em cavernas são invertebrados e são eles que formam a base da cadeia trófica no ambiente subterrâneo (Souza-Silva e Ferreira, 2022). Por outro lado, entre os vertebrados encontrados no ambiente cavernícola, peixes e morcegos são os grupos com maior arcabouço científico, enquanto anfíbios possuem casos de estudos baseados principalmente em salamandras e situados em regiões da Europa e Ásia (Romero, 2009; Lunghi et al., 2014; Turbanov et al., 2019). O grupo taxonômico dos anuros tem sido cada vez mais estudado e por sua vez tem aumentado este arcabouço nos últimos anos ao redor do mundo, com relatos e estudos indicando o uso sistemático na ocupação do habitat subterrâneo principalmente em resposta à variação climática extrema do ambiente superficial (Luría-Manzano et al., 2017; Suwannapoom et al., 2018; Couto et al., 2023).

O ambiente Neotropical brasileiro se destaca como a maior riqueza de espécies de anfíbios anuros, com 1144 espécies registradas (Segalla et al., 2021), forma um grupo taxonômico com alta plasticidade ecológica quando comparados a outros grupos de vertebrados, e geralmente ocupa lugares de maiores diversidades em locais com levantamento faunístico (Dodd, 2010). Apesar da vasta quantidade de espécies e comportamentos, em geral anuros são conceituados por um “padrão ecológico”, majoritariamente de hábitos noturnos, dependente de um ambiente com altas taxas de umidade relativa e uma plasticidade em sua dieta (Bernarde, 2012; Lima et al., 2012). Em somatório ao fato da riqueza de espécies de anuros temos na região brasileira uma densidade de cavernas alta além de uma potencialidade que irá aumentar ainda mais a quantidade de cavidades naturais na região neotropical, devido às vastas áreas com potencialidade do solo e rochas susceptíveis a espeleogênese, mas que ainda não foram exploradas ou prospectadas (Piló e Auler, 2011; Jansen et al., 2012; Segalla, 2021).

As cavidades subterrâneas naturais formam um ambiente propício para o refúgio para anfíbios por suas condições abióticas (Eterovick et al., 2010; Matavelli et al., 2015) evitando assim a exposição a predadores visualmente orientados e a ressecamento do tegumento, além de manter condições para outras atividades fundamentais para o ciclo de vida dos anuros tais como alimentação (ambiente subterrâneo possuem grande gama de diversidade e abundância de invertebrados; Bernarde, 2012) e reprodução (uma vez que a presença de cursos d’água são frequentes em cavernas). Pela legislação em vigência para licenciamentos e estudos ambientais em cavernas brasileiras anuros são considerados animais acidentais no ambiente subterrâneo, ou seja, que eventualmente entram na cavidade e não se mantém, saindo em um curto espaço de tempo e não voltam; ou não

conseguindo sair e morrem no interior da caverna (Trajano and Bichuette, 2006; Brasil 2008; 2017).

Com a classificação espeleo-biológica de fauna accidental, anuros acabam formando um grupo taxonômico desamparado pela legislação ambiental para ambientes subterrâneos em vigor no Brasil (Brasil, 2008, 2017). Desta maneira, não há a obrigatoriedade legal de se coletar ou registrar os anuros em cavernas, sendo facultativo às empresas responsáveis pelos empreendimentos que envolvem cavidades naturais o registro dessas espécies nos estudos de relevância, impactos e monitoramento ambiental. Em contrapartida, grupos que tem sua relevância ecológica nominalmente citada pela legislação, como quirópteros, peixes e invertebrados, serviram de base para estudos que alavancaram pesquisas em biologia subterrânea a partir do Decreto 6640 (Brasil, 2008), o que indica que apesar do avanço significativo sobre a fauna subterrânea, a herpetofauna permaneceu a margem dos estudos mesmo que em conversas informais e visitas á cavernas é comum o avistamento e encontro ocasional com estes animais.

Temos por objetivo identificar quais variáveis de história natural e biologia dos anuros com registros no interior de cavidades subterrâneas brasileiras aumentam a probabilidade do anfíbio anuro a ocupar as cavernas e possibilitam sua permanência.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

Coleta de dados:

Foi realizada busca por registros científicos de anuros observados dentro de cavidades naturais da região neotropical. Esta etapa do trabalho foi realizada utilizando os buscadores de material científico Google Scholar e nos repositórios científicos SCOPUS e Web of Science. A combinação de mais de uma database foi realizada com objetivo de incluir o maior número possível abrangendo assim toda a literatura disponível, incluindo teses/dissertações e capítulos de livro, além dos periódicos convencionais indexados nas plataformas (Falagas et al., 2008; Delgado e Repiso, 2013; Martín-Martín et al., 2021).

As palavras-chaves foram utilizadas nos buscadores/repositórios de forma independente e combinadas entre si, em inglês e em português (Silva e Bianchi, 2001; da Silva et al., 2011). As palavras-chave utilizadas foram: “Anura”, “cavernas brasileiras”, “anuros”, “anfíbios”, “sapos”, “cavidades subterrâneas”, “habitat subterrâneo”, “ambiente subterrâneo”, “gruta”, “gruna”, “toca”. Todos as publicações foram

consideradas, com delimitação de tempo definida apenas pela data limite de incorporação nas plataformas de busca.

A partir dos registros de anuros em cavernas foram excluídos aqueles que não havia a identificação até o epíteto específico e consideradas as espécies com “identificação completa”. Foram atribuídas as variáveis de interesse e suas categorias, sendo variáveis de conservação (status da IUCN Red List e classificação brasileira pelo Ministério do Meio Ambiente – BRASIL 2022); variável área de vida (área de distribuição da espécie, endemismo e frequência no ambiente) e variável de história de vida (comprimento rostro-cloacal; período de atividade; hábito; habitat/nicho e local de reprodução). A exclusão dos morfótipos foi realizada pois dentro de alguns gêneros e até famílias taxonômicas há plasticidade de hábitos e história de vida entre as espécies.

Informações da história natural dos anuros foram pesquisados em chaves de identificação, livros de anurofauna de biomas brasileiros e descrições taxonômicas (Haddad et al. 2013; Freitas 2015; Pezzuti et al., 2019; Magalhães et al. 2020; Vaz-Silva et al., 2020). A nomenclatura de cada espécie foi conferida e, quando necessário, a atualização foi realizada utilizando a base de dados do site *Amphibian Species of the World 6.1* (Frost, 2023).

Para o comprimento rostro-cloacal (CRC) como variável de história de vida foi utilizado a média entre machos e fêmeas adultos (quando houvesse distinção) e conferido a partir das descrições das espécies e/ou guias ilustrados. Para a categorização foram atribuídas três categorias para modular os dados ordinais, tais como pequena (“P”) com variação até 49mm, média (“M”) de 50 a 99mm e grande (“G”) a partir de 100mm.

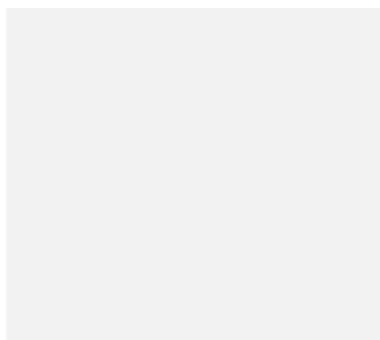
Análise de Dados:

Os dados categóricos coletados da revisão sistemática foram elencados seguindo as descrições taxonômicas e comportamentais das espécies encontradas no interior de cavidades registradas nas publicações levantadas pela revisão bibliográfica (Tabela 1). Os dados que fizeram parte da variável história de vida foram: período de atividade (diurno, noturno ou diurno/noturno), habitat (áreas florestadas, áreas abertas, áreas com distúrbios, e áreas com combinações), hábito de vida (arborícola, aquática, criptozóico, reofílico, terrícola e combinações), microambiente de reprodução (brejo/lago, chão de mata, grutas e tocas, paredão rochoso, poças, remanso de rio, rio, riacho, vegetação baixa, vegetação em geral e combinações). Variável de status de conservação pela IUCN (União Internacional para a Conservação da Natureza) e MMA (Ministério do Meio Ambiente–

BRASIL): LC – pouco preocupante; NT – quase ameaçada; VU – vulnerável; EN – em perigo; CR – em perigo crítico; EW – extinto na natureza e EX – extinto. Na ausência de informação foi utilizado ND -não descrito- para a categoria. A variável de área de vida será classificada em: frequência (pouco frequente, frequente e raro), área de distribuição (um ou dois estados brasileiros: restrita, três ou quatro estados: moderada e acima de quatro estados brasileiros: ampla) e presença de grau de endemismo (sim ou não). A partir da matriz de dados foi realizada análise estatística multivariada de componentes múltiplos (ACM) com o objetivo de encontrar (ou não) presença de agrupamentos de variáveis que explicam a dispersão dos dados (Leps e Smilauer, 1999; Le Roux e Rouanet, 2010; R Core Team, 2023)

Tabela 1 - Variáveis categóricas utilizadas na Análise de Correspondência Multivariável (ACM) para os fatores bióticos de anuros neotropicais registrados em cavernas brasileiras.

VARIÁVEL	CATEGORIA	SUB-CATEGORIAS
STATUS DE CONSERVAÇÃO	IUCN	Pouco preocupante – LC
		Quase ameaçada - NT
		Vulnerável – VU
ÁREA DE VIDA	MAPA	Pouco preocupante – LC
		Quase ameaçada - NT
		Vulnerável – VU
	Área de distribuição	Restrita
		Moderada
		Ampla
	Endemismo	Sim
		Não
	Frequência no Habitat	Pouco frequente
		Frequente
		Raro
HISTÓRIA DE VIDA	Comprimento rostro-cloacal (CRC)	Pequeno “P” - 1 a 49mm
		Médio “M” – 50 a 99mm
		Grande “G” – a partir de 100mm
	Período de atividade	Diurno (D)
		Noturno (N)
		Diurno-noturno (DN)
	Hábito	Arborícola
		Aquática
		Criptozóico
		Reofilico
		Terrícola
	Habitat/Nicho	Terrícola e Criptozóico
		Áreas florestadas
		Áreas abertas
		Áreas com distúrbios
		Áreas abertas e florestadas
		Áreas florestadas e com distúrbios
	Local de reprodução	Brejo/Lago
		Chão de mata



Grutas e tocas
 Paredão rochoso
 Poças
 Remanso de rio
 Rio/Riacho
 Vegetação baixa
 Vegetação em geral
 Chão de mata ou vegetação
 baixa
 Brejo/Lago ou Remanso de rio
 Rio/Riacho ou Remanso de rio

3 – RESULTADOS

A matriz de dados (Appendix 2) foi composta por 177 registros de anuros em cavidades neotropicais brasileiras, distribuídas em 54 espécies. A análise multivariada de componentes múltiplos obteve três dimensões com dados significativos para $p < 0,05$ e explicaram 11,59% da dispersão dos dados elencados. Todas as 10 variáveis categóricas utilizadas foram significativamente discriminatórias em todos os eixos da análise, indicando a assertividade da escolha (Figura 1 e Appendix 3).

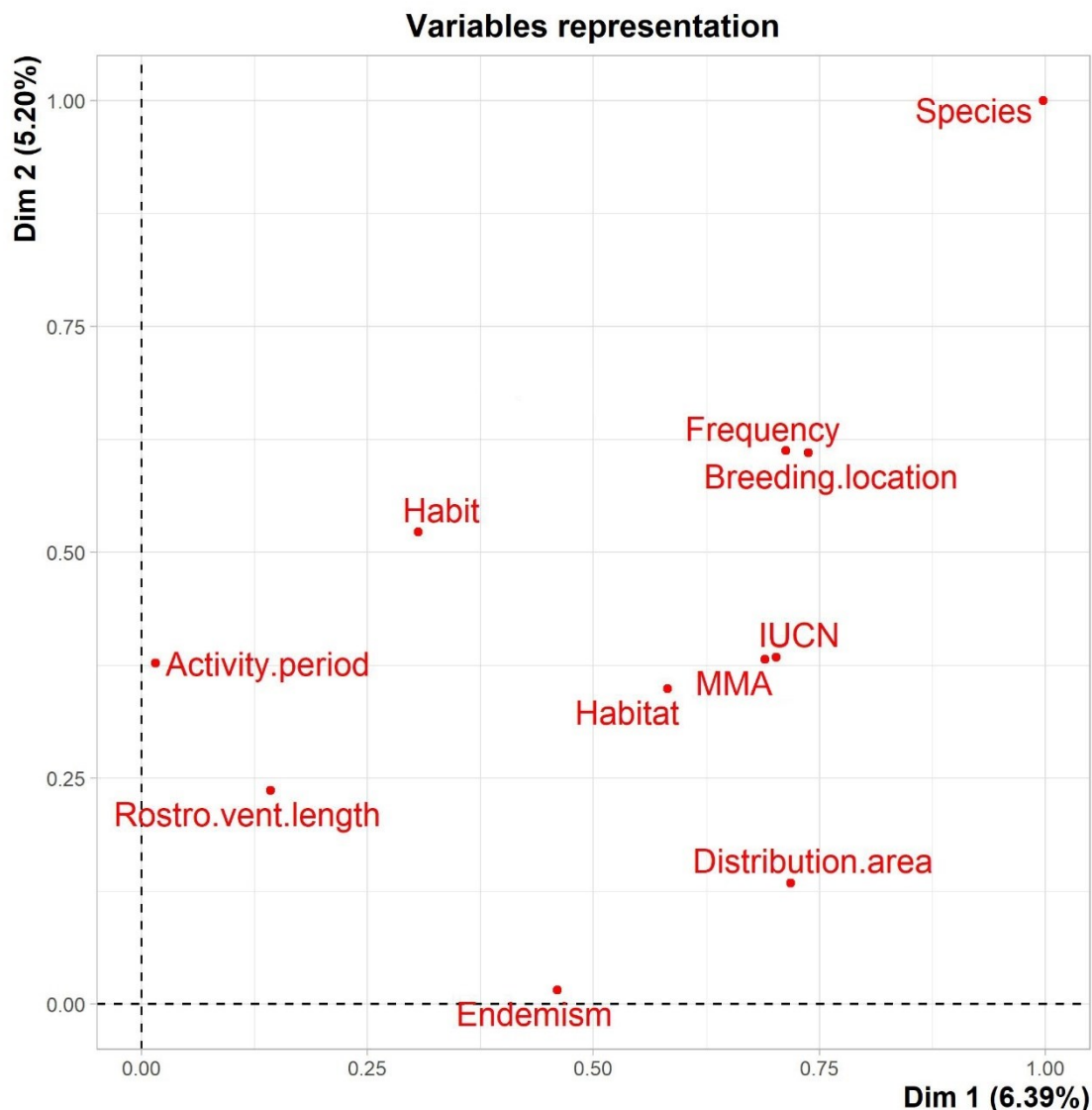


Figura 1: Dispersão dos dados significativos de ocorrência de anuros em cavernas neotropicais por Análise de Componentes Multivariada com explicação de 11,59% da variabilidade de dados.

A AMC separa as categorias em dois grupos, o primeiro caracterizado por animais com status de conservação MMA grau EN (em perigo), com área de vida reduzida com área de distribuição restrita (um ou dois estados), com endemismo na região e pouco frequente ou raro na comunidade. Entre as características da história de vida possuem período de atividade diurna, hábito criptozóico (associados a ambientes rochosos) e terrícola, e com local de reprodução em grutas e tocas, rio/riacho e chão das matas. As espécies já registradas em publicações e presentes neste cenário são *Adelphobates galactonotus* (Steindachner, 1864), *Ameerega flavopicta* (Lutz, 1925), *Cycloramphus eleutherodactylus* (Miranda-Ribeiro, 1920), *Ischnocnema manezinho* (Garcia, 1996),

Leptodactylus paranaru Magalhães, et al., 2020, *Oreobates heterodactylus* (Miranda-Ribeiro, 1937) e *Rhinella rubescens* (Lutz, 1925).

O segundo agrupamento forma um cenário com perfil com status de conservação variado na IUCN (graus LC, VU e NT) e MMA (graus LC); de área de distribuição ampla e moderada, frequente na comunidade e sem endemismo. Da variável categórica “história de vida” são animais com período de atividade noturno ou diurno-noturno, de todas as sub-categorias de comprimento rostró-cloacal (P, M e G), hábito arborícola, com habitat em áreas abertas ou abertas e florestadas, e se reproduz em local de brejo/lago ou brejo e remanso de rios. As espécies que respondem a este cenário são *Bokermannohyla martinsi* (Bokermann, 1964), *Ischnocnema juipoca* (Sazima & Cardoso, 1978), *Leptodactylus labyrinthicus* (Spix, 1824), *Leptodactylus mystacinus* (Burmeister, 1861), *Leptodactylus vastus* Lutz, 1930, *Physalaemus cuvieri* Fitzinger, 1826, *Rhinella diptycha* (Cope, 1862) e *Scinax fuscovarius* (Lutz, 1925).

4 – DISCUSSÃO

A indicação dos grupos com características diversas demonstra que há uma pré-disposição biológica de sub-grupos de anuros ocuparem cavidades naturais, desde animais com hábitos voltados ao ambiente cavernícola como habitat criptozóico e período de atividade noturno que pode inferir o caso dos animais utilizarem no turno diurno as cavidades para repouso (Sperandei et al. 2023). Tanto quanto animais de áreas abertas e hábitos arborícolas ocupam este ambiente na paisagem em que estão inseridos.

O nicho ambiental é caracterizado por fatores bióticos e abióticos, e a interação entre estas características do ambiente e a composição da comunidade no local vai definir quais espécies podem se manter ou não naquela determinada área. Os fatores abióticos de uma cavidade são definidos com variáveis geográficas e ambientais principalmente (Sperandei *in prep*, 2024) e a heterogeneidade destas características molda parte das condições necessárias para a ocupação do ambiente cavernícola por anuros neotropicais (Dos Santos et al., 2022; Oro et al., 2023)

Segundo a Lista Oficial do Ministério do Meio Ambiente brasileiro (BRASIL, 2022), a única espécie de anuro encontrada em cavidades neotropicais com algum grau de ameaça de extinção é a *Ischnocnema manezinho* (Garcia, 1996) avaliada como “Em perigo”, por se tratar de uma espécie com dispersão restrita, endêmica da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis/SC) e litoral norte catarinense (Bichuette et al., 2022); com sua população em declínio (Garcia e Silvano, 2004). A espécie é constada na Lista das

espécies ameaçadas de Santa Catarina (FATMA, 2011) e prevê maior atenção dos órgãos legisladores e executores de obras na região, bem como aliada a preservação do habitat subterrâneo na cidade de Florianópolis que demonstra ser um caminho positivo na conservação da “rã manezinha” símbolo do município.

A plasticidade dos anuros é uma das características mais marcantes deste grupo taxonômico em geral (Bernarde 2012), bem como no interior de cavidades foram registrados com variação significativa desde *Ischnocnema juipoca* (comprimento rostro-cloacal médio de 19mm) que são animais de espécies muito pequenas até espécies com indivíduos de grande porte como os *Leptodactylus labyrinthicus* e *L. vastus* (153mm e 145mm de CRC respectivamente). Isso demonstra que no interior das cavidades a plasticidade do grupo permanece e o filtro ambiental que a caverna e suas características abióticas impõe não agem em relação ao tamanho corporal por exemplo. A condição de ser um ambiente majoritariamente sombreado nas zonas de entrada e com nenhuma luz direta incidente nas zonas de penumbra e afóticas proporciona aos anfíbios um ambiente protegido de predadores visual-orientados o que pode lhe permitir não ficar necessariamente entocado ou camuflado como é normalmente no ambiente epígeo (Manenti et al. 2009 e observação pessoal VF. Sperandei).

O local de reprodução para os anuros é determinante para a ocupação e permanência pontual no ambiente, uma vez que seu tegumento já é fisiologicamente dependente de umidade (Eterovick .2010). Em ambos os cenários apontados pela análise estatística nos indicou o local de reprodução com corpos d'água presentes para as espécies habitantes de cavidades neotropicais brasileiras (brejo/lago, rio/riacho e brejo ou remanso de rios) caso que pode indicar uma afinidade com cavidades até mesmo para reprodução e postura, enfatizando ainda a potencialidade do ponto anterior com menor quantidade de predadores visualmente orientados.

A espécie *Scinax fuscovarius* (Lutz, 1925) foi a espécie com o maior número de registros científicos, 18 ao todo (7,72% dos registros totais), e única com registros desde as zonas de entrada até as zonas mais profundas da caverna (Ferreira et al., 2022b). Trata-se de uma espécie abundante e ampla distribuição territorial no Brasil encontrada em todos os estados do Sul, Sudeste, Centro-Oeste além dos estados da Bahia e Tocantins (Haddad et al., 2013). Além disso, sua plasticidade adaptativa permite sua sobrevivência em clareiras, brejos, em áreas florestadas e abertas e até mesmo em áreas antropizadas (Vaz-Silva et al., 2020; Dos Santos et al., 2022a). Por sua ampla distribuição e plasticidade, *S. fuscovarius* foi encontrada em praticamente todas as litologias

neotropicais (arenítico, conglomerado, ferro, calcário, granítico e quartzítico - Matavelli et al., 2015; Dos Santos et al., 2022a; Ferreira et al., 2022b).

CONCLUSÃO

Há a formação de dois grupos com variáveis independentes que norteiam quais características biológicas e de história de vida influenciam aos anuros neotropicais brasileiros a ocupação no ambiente singular como as cavidades subterrâneas. Os cenários antagônicos nos remetem ao fato de um grupo com tanta plasticidade e em sua maioria com hábitos generalistas podem ocorrer em quase a totalidade do grupo no interior das cavernas. O primeiro agrupamento, mais restritivo é formado por animais de área de vida restrita, com endemismo e frequência rara ou pouco frequente na comunidade, além de possuir grau de ameaça na escala da IUCN Red List (em perigo) e hábitos em afloramentos rochosos (criptozoicos) e terrícolas, com atividade noturna e local de reprodução associado á corpos d'água. No segundo grupo temos animais de ampla distribuição, sem endemismo e com pouca ou nenhuma ameaça das escalas do MMA e IUCN; em todas as categorias de comprimento rostro-cloacal, preferência por áreas abertas e hábito arborícola. Em ambos houve uma significância para muitas espécies com características muito amplas, sem uma variável singular entre elas. Nos remetendo ao fato que o grupo todo, por características morfofuncionais marcantes, é possível a ocupação e permanência no ambiente cavernícola.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais – UFSCar. Este estudo foi parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código Financeiro 001. O primeiro autor é bolsista CAPES.

5 - REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BERNARDE, Paulo Sérgio, 2012. Anfíbios e répteis: introdução ao estudo da herpetofauna brasileira. 1ª edição. Curitiba, Brazil : Anolis Books. ISBN 9788565622004.

Brasil. Decreto lei No. 6640 of November 7, 2008. (2008).

Brasil, Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa N°2 of August 30, 2017. (2017).

BRASIL. Portaria MMA n.º 148, de 7 de junho de 2022. Atualização da Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção. Diário Oficial da União. p.74. 8 jun. 2022. Seção 1.

COUTO, Henrique et al., 2023. Cave-Dwelling Populations of the Monstrous Rainfrog (*Craugastor pelorus*) from Mexico. *Diversity*. Vol. 15, nº 2, p. 189. DOI 10.3390/d15020189.

CULVER, David C. PIPAN, Tanja, 2009. The biology of caves and other subterranean habitats. New York: Oxford University Press. The biology of habitats series. ISBN 9780199219933.

Dodd, C. K. (Ed.). (2010). Amphibian ecology and conservation: a handbook of techniques. Oxford University Press.

DOS SANTOS, Thiago et al., 2022. Going Underground: What the Natural History Traits of Cave Users Can Tell Us about Cave Use Propensity. *Journal of Herpetology*. Vol. 56, nº2. DOI 10.1670/20-055.

ESPINO-DEL-CASTILLO, A., CASTAÑO-MENESES, G., DÁVILA-MONTES, M.J. MIRANDA-ANAYA, M., MORALES-MALACARA, J.B., PAREDES-LEÓN, R.. 2009. Seasonal distribution and circadian activity in the troglophile long-footed robber frog, *Eleutherodactylus longipes* (Anura: Brachycephalidae) at Los Riscos Cave, Querétaro, Mexico: Field and laboratory studies. – *Journal of Cave and Karst Studies*, Vol 71, pp. 24–31

ETEROVICK, Paula C. et al., 2010. Lack of phylogenetic signal in the variation in anuran microhabitat use in southeastern Brazil. *Evolutionary Ecology*. Vol. 24, n 1, p.1–24. DOI 10.1007/s10682-008-9286-9.

FATMA. (2011): Lista das espécies da fauna ameaçada de extinção em Santa Catarina – Relatório Técnico Final. Available at <https://www.ima.sc.gov.br/index.php/biodiversidade/biodiversidade/fauna>. Accessed on 2 February 2024.

FERREIRA, R.L., SOUZA-SILVA, M., ZAMPAULO, R.A. 2022. A vida subterrânea no Carste de Pains: biodiversidade, ameaças e conservação de fauna em uma notável paisagem cárstica tropical. In PILÓ L.B., CRUZ, J.B. A Região Cárstica de Pains. ISBN 978-65-5693-036-7.

- FREITAS, Marco Antonio de, 2015. Herpetofauna no Nordeste brasileiro: guia de campo. 1ª edição. Rio de Janeiro : Technical Books Editora. Série Manuais & guias TB. ISBN 9788561368500.
- GARCIA P., SILVANO, D. 2004. *Ischnocnema manezinho*. The IUCN Red List of Threatened Species 2004: e.T56740A11529088. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2004.RLTS.T56740A11529088.en>. Accessed on 18 October 2023.
- GIBERT, Janine e DEHARVENG, Louis, 2002. Subterranean Ecosystems: A Truncated Functional Biodiversity. *BioScience*. Vol. 52, n 6, p.473. DOI 10.1641/0006-3568(2002)052[0473:SEATFB]2.0.CO;2.
- HADDAD, Célio F. B., TOLEDO, Luís Felipe e PRADO, Cynthia P. A., 2008. Anfíbios da Mata Atlântica: guia dos anfíbios anuros da Mata Atlântica = guide for the Atlantic forest anurans. São Paulo, SP: Editora Neotropica. ISBN 9788599049037.
- Hoffman, D.L., De Leeuw, J., 1992. Interpreting multiple correspondence analysis as a multidimensional scaling method. *Marketing letters*, 3, 259-272.
- JANSEN, D.C., CAVALCANTI, L.F., LAMBLÉM, H.S. 2012. Mapa de potencialidade de ocorrência de cavernas no Brasil, na escala 1: 2.500. 000. *Revista Brasileira de Espeleologia*, Vol. , nº1, pp 42-57.
- LÊ, S., JOSSE, J., HUSSON, F. 2008. FactoMineR: an R package for multivariate analysis. *Journal of statistical software*, Vol.25, pp. 1-18.
- LE ROUX, Brigitte e ROUANET, Henry, 2010. Multiple correspondence analysis. Thousand Oaks, Calif: Sage Publications. Quantitative applications in the social sciences, 163. ISBN 9781412968973.
- LIMA, A. P., MAGNUSSON, W. E., MENIN, M., ERDTMANN, L. K., RODRIGUES, D. D. J., KELLER, C., E HÖDL, W. 2012. Guia de sapos da Reserva Adolpho Ducke- Amazônia Central. ISBN: 8599387014
- LUNGHI, Enrico et al., 2018. Is the Italian stream frog (*Rana italica* Dubois, 1987) an opportunistic exploiter of cave twilight zone? *Subterranean Biology*. Vol. 25, p. 49–60. DOI 10.3897/subtbiol.25.23803.
- LURÍA-MANZANO, Ricardo e RAMÍREZ-BAUTISTA, Aurelio, 2017. Diet comparison between rainforest and cave populations of *Craugastor alfredi* (Anura: Craugastoridae): does diet vary in contrasting habitats? *Journal of Natural History*. Vol.51, n 39–40, p.2345–2354. DOI 10.1080/00222933.2017.1366573.
- MAGALHÃES, Felipe De M. et al., 2020. Taxonomic Review of South American Butter Frogs: Phylogeny, Geographic Patterns, and Species Delimitation in the *Leptodactylus latrans* Species Group (Anura: Leptodactylidae). *Herpetological Monographs*. Vol. 34, no 1. DOI 10.1655/0733-1347-31.4.131.

- MANENTI R., FICETOLA G.F., BIANCHI B., DE BERNARDI F. 2009. Habitat features and distribution of *Salamandra salamandra* in underground springs. *Acta Herpetologica* Vol. 4, nº 2 143–151.
- MATAVELLI, Rodrigo et al., 2015. Occurrence of anurans in brazilian caves. *Acta Carsologica*. Vol. 44, n 1. DOI 10.3986/ac.v44i1.649.
- MEJÍA-ORTÍZ, Luis et al., 2021. What's the relative humidity in tropical caves? DHAKA, Mahendra Singh (org.), PLOS ONE. Vol. 16, no 9, p. e0250396. DOI 10.1371/journal.pone.0250396.
- ORO, Natalia et al., 2024. Landscape use and Habitat Configuration Effects on Amphibian Diversity in Southern Brazil Wetlands. *Wetlands*. Vol. 44, no 1, p. 12. DOI 10.1007/s13157-023-01766-4.
- PEZZUTI, T.L., PINHEIRO, D.P., LACERDA, J.V., LEAL, F., SANTOS, M.T., GARCIA, P.C.A., LEITE, F.S.F. 2019. [viewed 3 February 2024] Chave de identificação interativa para os anuros do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Sudeste do Brasil. Available from: <http://biodiversus.com.br/saglab/aqf/chave/adultos/>
- PILÓ, L. B.; AULER, A. S. 2011. Introdução à Espeleologia. In: PILÓ, L.B. et al. ed. *Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental*. Instituto Terra Brasilis, pp. 7-23.
- POULSON, Thomas L. e WHITE, William B., 1969. The Cave Environment: Limestone caves provide unique natural laboratories for studying biological and geological processes. *Science*. Vol. 165, n 3897, p. 971–981. DOI 10.1126/science.165.3897.971.
- POULSON, T. L., LAVOIE, K. H. 2000. The trophic basis of subsurface ecosystems. In WILKENS H., CULVER, D.C., HUMPHREYS, W.F. ed. *Ecosystems of the World*. Vol. 30. *Subterranean Ecosystems*, pp. 231–249.
- POULSON, T. L. 2012. Food sources. In WHITE, W.B., CULVER, D.C. ed. *Encyclopedia of caves*. Academic Press, pp 323-334.
- R CORE TEAM., 2023. R: A Language and Environment for Statistical Computing_. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (<https://www.R-project.org/>)
- RACOVITZA, E.G. Essai sur les problèmes biospéologiques. *Archives de Zoologie Expérimentale et Générale*, 4^a ser., v.6, p371-488, 1907. [Edición Facsímil. In: BELLÉS, X, (Ed.). 2004. Assaig sobre els problemes bioespeleològics. Institut d'Estudis Catalans, Barcelona].
- ROMERO DÍAZ, Aldemaro, 2009. *Cave biology: life in darkness*. Cambridge, UK; New York: Cambridge University Press. Ecology, biodiversity, and conservation. ISBN 9780521828468.
- SEGALLA, M; BERNECK, B.; CANEDO, C.; CARAMASCHI, U.; CRUZ, C.A.G.; GARCIA, P. C. A.; GRANT, T.; HADDAD, C. F. B.; LOURENÇO, A. C.; MANGIA, S.; MOTT, T.; NASCIMENTO, L. TOLEDO, L. F.; WERNECK, F.; LANGONE, J. A., 2022. List of Brazilian Amphibians. . DOI 10.5281/ZENODO.4716176.
- SILVA, Marconi Souza et al., 2012. Transport and consumption of organic detritus in a neotropical limestone cave. *Acta Carsologica*. Vol. 41, no 1. DOI 10.3986/ac.v41i1.54.

SKET, Boris, 2008. Can we agree on an ecological classification of subterranean animals? *Journal of Natural History*. Vol. 42, no 21–22, p. 1549–1563. DOI 10.1080/00222930801995762.

SOUZA-SILVA, M., FERREIRA, R.L. 2022. Dinâmica trófica em ambientes de cavernas. In: ZAMPAULO, R.A., PROUS, X. ed. *Fauna cavernícola do Brasil*, Belo Horizonte, p. 59-81.

SPERANDEI, Vinícius Da Fontoura et al., 2023. Are caves true habitats for anurans or more a favorable rocky environment? A discussion of habitat occupation by frogs in Neotropical caves. *Neotropical Biology and Conservation*. Vol. 18, n 3, p. 131–137. DOI 10.3897/neotropical.18.e100778.

SUWANNAPOOM, Chatmongkon et al., 2018. A striking new genus and species of cave-dwelling frog (Amphibia: Anura: Microhylidae: Asterophryinae) from Thailand. *PeerJ*. Vol. 6, p. e4422. DOI 10.7717/peerj.4422.

TURBANOV, Ilya S., KUKUSHKIN, Oleg Vitaljevich e VARGOVITSH, Robert S., 2019. Amphibians and Reptiles in the Subterranean Cavities of the Crimean Mountains. *Russian Journal of Herpetology*. Vol. 26, no 1, p. 29. DOI 10.30906/1026-2296-2019-26-1-29-53.

VAZ-SILVA, Wilian et al., 2020. *Guia de identificação das espécies de anfíbios (Anura e Gymnophiona) do estado de Goiás e do Distrito Federal, Brasil Central*. Sociedade Brasileira de Zoologia. ISBN 9786587590011.

APPENDIX II - Registros independentes de anuros em cavidades subterrâneas encontrados em publicações científicas de 1980 até 2022 e características biológicas e de história natural.

Species	IUC N	MAP A	Endemis m	Distributio n area	Frequency	Rostro -vent length	Activit y period	Habit	Habitat	Breeding location
Adelphobates galactonotus	LC	LC	S	restrita	ND	P	D	ND	Áreas_florestadas	ND
Adelphobates galactonotus	LC	LC	S	restrita	ND	P	D	ND	Áreas_florestadas	ND
Allobates marchesianus	LC	LC	N	ampla	Pouco_frequen te	P	D	Reofílico	Áreas_abertas_e_florestadas	Riacho_ou_Rio
Ameerega flavopicta	LC	LC	S	ampla	ND	P	D	Criptozóico	ND	ND
Ameerega flavopicta	LC	LC	S	ampla	ND	P	D	Criptozóico	ND	ND
Ameerega flavopicta	LC	LC	S	ampla	ND	P	D	Criptozóico	ND	ND
Boana albopunctata	LC	LC	N	ampla	Frequente	M	N	Arborícola	Áreas_abertas	Brejo_ou_Lago
Boana boans	LC	LC	N	ampla	ND	G	N	Arborícola	Áreas_florestadas	Chão_de_mata
Boana faber	LC	LC	N	ampla	Frequente	M	N	Arborícola	Áreas_abertas_e_florestadas	Brejo_ou_Lago
Bokermannohyla hylax	LC	LC	S	ampla	Frequente	M	N	Arborícola	Áreas_florestadas	Brejo_ou_Lago
Bokermannohyla hylax	LC	LC	S	ampla	Frequente	M	N	Arborícola	Áreas_florestadas	Brejo_ou_Lago
Bokermannohyla hylax	LC	LC	S	ampla	Frequente	M	N	Arborícola	Áreas_florestadas	Brejo_ou_Lago
Bokermannohyla hylax	LC	LC	S	moderada	Frequente	M	N	Arborícola	Áreas_florestadas	Brejo_ou_Lago
Bokermannohyla martinsi	VU	NT	S	restrita	Pouco_frequen te	M	N	Terrícola	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio
Bokermannohyla martinsi	VU	NT	S	restrita	Pouco_frequen te	M	N	Terrícola	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio
Bokermannohyla martinsi	VU	NT	S	restrita	Pouco_frequen te	M	N	Terrícola	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio
Bokermannohyla martinsi	VU	NT	S	restrita	Pouco_frequen te	M	N	Terrícola	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio
Bokermannohyla martinsi	VU	NT	S	restrita	Pouco_frequen te	M	N	Terrícola	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio

Bokermannohyla martinsi	VU	NT	S	restrita	Pouco_frequente	M	N	Terrícola	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio
Bokermannohyla martinsi	VU	NT	S	restrita	Pouco_frequente	M	N	Terrícola	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio
Bokermannohyla martinsi	VU	NT	S	restrita	Pouco_frequente	M	N	Terrícola	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio
Bokermannohyla martinsi	VU	NT	S	restrita	Pouco_frequente	M	N	Terrícola	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio
Bokermannohyla martinsi	VU	NT	S	restrita	Pouco_frequente	M	N	Terrícola	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio
Bokermannohyla martinsi	VU	NT	S	restrita	Pouco_frequente	M	N	Terrícola	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio
Bokermannohyla martinsi	VU	NT	S	restrita	Pouco_frequente	M	N	Terrícola	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio
Bokermannohyla martinsi	VU	NT	S	restrita	Pouco_frequente	M	N	Terrícola	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio
Bokermannohyla martinsi	VU	NT	S	restrita	Pouco_frequente	M	N	Terrícola	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio
Bokermannohyla martinsi	VU	NT	S	restrita	Pouco_frequente	M	N	Terrícola	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio
Cycloramphus eleutherodactylus	LC	LC	S	moderada	Pouco_frequente	P	N	Criptozóico	Áreas_florestadas	Grutas_e_Tocas
Cycloramphus eleutherodactylus	LC	LC	S	moderada	Pouco_frequente	P	N	Criptozóico	Áreas_florestadas	Grutas_e_Tocas
Cycloramphus eleutherodactylus	LC	LC	S	moderada	Pouco_frequente	P	N	Criptozóico	Áreas_florestadas	Grutas_e_Tocas
Cycloramphus eleutherodactylus	LC	LC	S	moderada	Pouco_frequente	P	N	Criptozóico	Áreas_florestadas	Grutas_e_Tocas
Cycloramphus eleutherodactylus	LC	LC	S	moderada	Pouco_frequente	P	N	Criptozóico	Áreas_florestadas	Grutas_e_Tocas
Cycloramphus eleutherodactylus	LC	LC	S	moderada	Pouco_frequente	P	N	Criptozóico	Áreas_florestadas	Grutas_e_Tocas
Dendropsophus nanus	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arborícola	Áreas_abertas	Brejo_ou_Lago
Haddadus binotatus	LC	LC	S	ampla	Frequente	P	N	Criptozóico	Áreas_florestadas	Chão_de_mata
Haddadus binotatus	LC	LC	S	ampla	Frequente	P	N	Criptozóico	Áreas_florestadas	Chão_de_mata

Hylodes cardosoi	LC	LC	S	restrita	Frequente	P	D	Reofílico	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio
Hylodes heyeri	LC	LC	S	restrita	Frequente	P	D	Reofílico	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio
Ischnocnema guentheri	NT	LC	S	restrita	Frequente	P	DN	Terrícola_Criptozóico	Áreas_florestadas	Chão_de_mata
Ischnocnema izecksohni	LC	LC	S	restrita	ND	P	ND	Criptozóico	Áreas_florestadas	Chão_de_mata
Ischnocnema juipoca	LC	LC	S	moderada	Frequente	P	DN	Criptozóico	Áreas_abertas_e_florestadas	Chão_de_mata_/_Vegetação_baixa
Ischnocnema juipoca	LC	LC	S	moderada	Frequente	P	DN	Criptozóico	Áreas_abertas_e_florestadas	Chão_de_mata_/_Vegetação_baixa
Ischnocnema juipoca	LC	LC	S	moderada	Frequente	P	DN	Criptozóico	Áreas_abertas_e_florestadas	Chão_de_mata_/_Vegetação_baixa
Ischnocnema juipoca	LC	LC	S	moderada	Frequente	P	DN	Criptozóico	Áreas_abertas_e_florestadas	Chão_de_mata_/_Vegetação_baixa
Ischnocnema juipoca	LC	LC	S	moderada	Frequente	P	DN	Criptozóico	Áreas_abertas_e_florestadas	Chão_de_mata_/_Vegetação_baixa
Ischnocnema juipoca	LC	LC	S	moderada	Frequente	P	DN	Criptozóico	Áreas_abertas_e_florestadas	Chão_de_mata_/_Vegetação_baixa
Ischnocnema manezinho	EN	EN	S	restrita	Raro	P	N	Criptozóico	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio
Ischnocnema manezinho	EN	EN	S	restrita	Raro	P	N	Criptozóico	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio
Ischnocnema manezinho	EN	EN	S	restrita	Raro	P	N	Criptozóico	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio
Ischnocnema manezinho	EN	EN	S	restrita	Raro	P	N	Criptozóico	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio
Ischnocnema manezinho	EN	EN	S	restrita	Raro	P	N	Criptozóico	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio
Ischnocnema manezinho	EN	EN	S	restrita	Raro	P	N	Criptozóico	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio
Ischnocnema manezinho	EN	EN	S	restrita	Raro	P	N	Criptozóico	Áreas_florestadas	Riacho_ou_Rio
Leptodactylus flavopictus	LC	LC	S	moderada	Raro	G	N	Criptozóico	Áreas_florestadas	Brejo_ou_Lago
Leptodactylus labyrinthicus	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	N	Terrícola	Áreas_abertas_e_florestadas	Brejo_ou_Lago
Leptodactylus labyrinthicus	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	N	Terrícola	Áreas_abertas_e_florestadas	Brejo_ou_Lago
Leptodactylus labyrinthicus	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	N	Terrícola	Áreas_abertas_e_florestadas	Brejo_ou_Lago
Leptodactylus labyrinthicus	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	N	Terrícola	Áreas_abertas_e_florestadas	Brejo_ou_Lago

Leptodactylus labyrinthicus	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	N	Terrícola	Áreas abertas_e_florestadas	Brejo_ou_Lago
Leptodactylus labyrinthicus	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	N	Terrícola	Áreas abertas_e_florestadas	Brejo_ou_Lago
Leptodactylus labyrinthicus	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	N	Terrícola	Áreas abertas_e_florestadas	Brejo_ou_Lago
Leptodactylus latrans	LC	LC	S	ampla	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas abertas_e_florestadas	Brejo_ou_Lago
Leptodactylus macrosternum	LC	LC	N	ampla	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas abertas_e_florestadas	Brejo_ou_Lago
Leptodactylus macrosternum	LC	LC	N	ampla	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas abertas_e_florestadas	Brejo_ou_Lago
Leptodactylus mystacinus	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Terrícola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Leptodactylus mystacinus	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Terrícola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Leptodactylus mystacinus	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Terrícola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Leptodactylus mystacinus	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Terrícola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Leptodactylus mystacinus	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Terrícola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Leptodactylus mystacinus	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Terrícola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Leptodactylus paranuru	LC	LC	S	ND	ND	G	ND	ND	ND	ND
Leptodactylus pentadactylus	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	DN	Terrícola	Áreas florestadas	Poças
Leptodactylus pentadactylus	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	DN	Terrícola	Áreas florestadas	Poças
Leptodactylus siphax	LC	LC	N	ampla	ND	M	N	Terrícola	Áreas abertas_e_florestadas	Riacho_ou_Rio
Leptodactylus siphax	LC	LC	N	ampla	ND	M	N	Terrícola	Áreas abertas_e_florestadas	Riacho_ou_Rio
Leptodactylus troglodytes	LC	LC	S	ampla	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Leptodactylus vastus	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	N	Terrícola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Leptodactylus vastus	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	N	Terrícola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Leptodactylus vastus	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	N	Terrícola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Leptodactylus vastus	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	N	Terrícola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago

Oreobates antrum	LC	LC	S	restrita	ND	P	N	Criptozóico	Áreas_florestadas	ND
Oreobates antrum	LC	LC	S	restrita	ND	P	N	Criptozóico	Áreas_florestadas	ND
Oreobates heterodactylus	LC	LC	N	restrita	ND	P	N	Criptozóico	ND	ND
Oreobates heterodactylus	LC	LC	N	restrita	ND	P	N	Criptozóico	ND	ND
Oreobates heterodactylus	LC	LC	N	restrita	ND	P	N	Criptozóico	ND	ND
Phyllomedusa burmeisteri	LC	LC	S	ampla	Frequente	M	N	Arborícola	Áreas_abertas_e_florestadas	Brejo_ou_Lago
Physalaemus cuvieri	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Terrícola	Áreas_abertas	Brejo_ou_Lago
Physalaemus cuvieri	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Terrícola	Áreas_abertas	Brejo_ou_Lago
Physalaemus cuvieri	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Terrícola	Áreas_abertas	Brejo_ou_Lago
Physalaemus cuvieri	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Terrícola	Áreas_abertas	Brejo_ou_Lago
Physalaemus cuvieri	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Terrícola	Áreas_abertas	Brejo_ou_Lago
Physalaemus cuvieri	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Terrícola	Áreas_abertas	Brejo_ou_Lago
Physalaemus cuvieri	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Terrícola	Áreas_abertas	Brejo_ou_Lago
Physalaemus ephippifer	LC	LC	S	ampla	ND	P	N	Terrícola	Áreas_abertas	Brejo_ou_Lago
Physalaemus nattereri	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Terrícola	Áreas_abertas_e_florestadas	Brejo_ou_Lago
Pipa carvalhoi	LC	LC	S	ampla	Frequente	M	DN	Aquática	Áreas_abertas	Brejo_ou_Lago
Pristimantis fenestratus	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	DN	Terrícola	Áreas_abertas_e_florestadas	Vegetação
Pristimantis fenestratus	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	DN	Terrícola	Áreas_abertas_e_florestadas	Vegetação
Pristimantis fenestratus	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	DN	Terrícola	Áreas_abertas_e_florestadas	Vegetação
Pristimantis fenestratus	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	DN	Terrícola	Áreas_abertas_e_florestadas	Vegetação
Pristimantis fenestratus	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	DN	Terrícola	Áreas_abertas_e_florestadas	Vegetação
Proceratophrys boiei	LC	LC	S	ampla	Frequente	M	N	Criptozóico	Áreas_florestadas	Brejo_ou_Lago / _Remansos_de_rio_ou_riacho

Rhaebo guttatus	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	N	Terrícola	Áreas abertas e florestadas	Brejo ou Lago
Rhaebo guttatus	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	N	Terrícola	Áreas abertas e florestadas	Brejo ou Lago
Rhaebo guttatus	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	N	Terrícola	Áreas abertas e florestadas	Brejo ou Lago
Rhinella crucifer	LC	LC	S	ampla	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas abertas e florestadas	Brejo ou Lago / Remansos de rio ou riacho
Rhinella crucifer	LC	LC	S	ampla	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas abertas e florestadas	Brejo ou Lago / Remansos de rio ou riacho
Rhinella crucifer	LC	LC	S	ampla	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas abertas e florestadas	Brejo ou Lago / Remansos de rio ou riacho
Rhinella diptycha	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	N	Terrícola	Áreas abertas	Brejo ou Lago / Remansos de rio ou riacho
Rhinella diptycha	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	N	Terrícola	Áreas abertas	Brejo ou Lago / Remansos de rio ou riacho
Rhinella diptycha	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	N	Terrícola	Áreas abertas	Brejo ou Lago / Remansos de rio ou riacho
Rhinella diptycha	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	N	Terrícola	Áreas abertas	Brejo ou Lago / Remansos de rio ou riacho
Rhinella diptycha	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	N	Terrícola	Áreas abertas	Brejo ou Lago / Remansos de rio ou riacho
Rhinella diptycha	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	N	Terrícola	Áreas abertas	Brejo ou Lago / Remansos de rio ou riacho
Rhinella granulosa	LC	LC	S	ampla	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas abertas e florestadas	Brejo ou Lago
Rhinella icterica	LC	LC	S	ampla	Frequente	G	N	Terrícola	Áreas abertas e florestadas	Brejo ou Lago / Remansos de rio ou riacho
Rhinella icterica	LC	LC	S	ampla	Frequente	G	N	Terrícola	Áreas abertas e florestadas	Brejo ou Lago / Remansos de rio ou riacho
Rhinella magnussoni	LC	LC	S	ND	Raro	P	D	Terrícola	Áreas abertas e florestadas	Chão de mata
Rhinella marina	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	D	Terrícola	Áreas florestadas	ND
Rhinella marina	LC	LC	N	ampla	Frequente	G	D	Terrícola	Áreas florestadas	ND
Rhinella ornata	LC	LC	N	moderada	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas abertas e florestadas	Brejo ou Lago / Remansos de rio ou riacho
Rhinella ornata	LC	LC	N	moderada	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas abertas e florestadas	Brejo ou Lago / Remansos de rio ou riacho
Rhinella ornata	LC	LC	N	moderada	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas abertas e florestadas	Brejo ou Lago / Remansos de rio ou riacho
Rhinella ornata	LC	LC	N	moderada	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas abertas e florestadas	Brejo ou Lago / Remansos de rio ou riacho
Rhinella ornata	LC	LC	N	moderada	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas abertas e florestadas	Brejo ou Lago / Remansos de rio ou riacho

Rhinella ornata	LC	LC	N	moderada	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas abertas e florestadas	Brejo ou Lago / Remansos de rio ou riacho
Rhinella ornata	LC	LC	N	moderada	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas abertas e florestadas	Brejo ou Lago / Remansos de rio ou riacho
Rhinella rubescens	LC	LC	S	ampla	ND	G	N	Terrícola	ND	Riacho / Brejo ou Lago
Rhinella rubescens	LC	LC	S	ampla	ND	G	N	Terrícola	ND	Riacho / Brejo ou Lago
Rhinella rubescens	LC	LC	S	ampla	ND	G	N	Terrícola	ND	Riacho / Brejo ou Lago
Rhinella rubescens	LC	LC	S	ampla	ND	G	N	Terrícola	ND	Riacho / Brejo ou Lago
Rhinella rubescens	LC	LC	S	ampla	ND	G	N	Terrícola	ND	Riacho / Brejo ou Lago
Rhinella rubescens	LC	LC	S	ampla	ND	G	N	Terrícola	ND	Riacho / Brejo ou Lago
Rhinella rubescens	LC	LC	S	ampla	ND	G	N	Terrícola	ND	Riacho / Brejo ou Lago
Rhinella margaritifera	LC	LC	N	ND	ND	M	ND	ND	ND	ND
Scinax catharinae	LC	ND	S	moderada	Frequente	P	N	Arborícola	Áreas florestadas	Brejo ou Lago
Scinax catharinae	LC	ND	S	moderada	Frequente	P	N	Arborícola	Áreas florestadas	Brejo ou Lago
Scinax catharinae	LC	ND	S	moderada	Frequente	P	N	Arborícola	Áreas florestadas	Brejo ou Lago
Scinax eurydice	LC	LC	S	ampla	Frequente	M	N	Arborícola	Áreas abertas	Brejo ou Lago
Scinax fuscovarius	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arborícola	Áreas abertas	Brejo ou Lago
Scinax fuscovarius	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arborícola	Áreas abertas	Riacho ou Rio
Scinax fuscovarius	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arborícola	Áreas abertas	Riacho ou Rio
Scinax fuscovarius	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arborícola	Áreas abertas	Riacho ou Rio
Scinax fuscovarius	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arborícola	Áreas abertas	Brejo ou Lago
Scinax fuscovarius	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arborícola	Áreas abertas	Brejo ou Lago
Scinax fuscovarius	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arborícola	Áreas abertas	Brejo ou Lago
Scinax fuscovarius	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arborícola	Áreas abertas	Brejo ou Lago

Scinax fuscovarius		LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arbóricola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Scinax fuscovarius		LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arbóricola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Scinax fuscovarius		LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arbóricola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Scinax fuscovarius		LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arbóricola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Scinax fuscovarius		LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arbóricola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Scinax fuscovarius		LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arbóricola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Scinax fuscovarius		LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arbóricola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Scinax fuscovarius		LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arbóricola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Scinax fuscovarius		LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arbóricola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Scinax fuscovarius		LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arbóricola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Scinax ruber		LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arbóricola	Áreas florestadas_e_com_distúrbios	Brejo_ou_Lago
Scinax signatus	x-	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arbóricola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Scinax signatus	x-	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arbóricola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Scinax signatus	x-	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arbóricola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Scinax signatus	x-	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arbóricola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Scinax signatus	x-	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arbóricola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Scinax signatus	x-	LC	LC	N	ampla	Frequente	P	N	Arbóricola	Áreas abertas	Brejo_ou_Lago
Thoropa megatypanum		LC	LC	S	restrita	Frequente	P	N	Terrícola	Áreas abertas_e_florestadas	ND
Thoropa megatypanum		LC	LC	S	restrita	Frequente	P	N	Terrícola	Áreas abertas_e_florestadas	ND
Thoropa miliaris		LC	LC	S	ampla	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas florestadas	Paredão_rochoso
Thoropa miliaris		LC	LC	S	ampla	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas florestadas	Paredão_rochoso

Thoropa miliaris	LC	LC	S	ampla	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas_florestadas	Paredão_rochoso
Thoropa miliaris	LC	LC	S	ampla	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas_florestadas	Paredão_rochoso
Thoropa miliaris	LC	LC	S	ampla	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas_florestadas	Paredão_rochoso
Thoropa miliaris	LC	LC	S	ampla	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas_florestadas	Paredão_rochoso
Thoropa taophora	LC	LC	S	restrita	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas_florestadas	Paredão_rochoso
Thoropa taophora	LC	LC	S	restrita	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas_florestadas	Paredão_rochoso
Thoropa taophora	LC	LC	S	restrita	Frequente	M	N	Terrícola	Áreas_florestadas	Paredão_rochoso

APPENDIX III - Resultado da Análise de Correspondência Multivariável (ACM) nas três dimensões por variáveis categóricas

Variável	Categoria	Dimensão 1		Dimensão 2		Dimensão 3	
		R ²	p-value	R ²	p-value	R ²	p-value
Área de vida	Área de distribuição	7.180e ⁻⁰¹	2.513e ⁻⁴⁷	1.341e ⁻⁰¹	1.558e ⁻⁰⁵	1.724e ⁻⁰¹	3.494e ⁻⁰⁷
Área de vida	Frequência	7.127e ⁻⁰¹	1.241e ⁻⁴⁶	6.122e ⁻⁰¹	2.127e ⁻³⁵	5.844e ⁻⁰¹	8.317e ⁻³³
Conservação	IUCN	7.024e ⁻⁰¹	2.640e ⁻⁴⁵	3.838e ⁻⁰¹	4.282e ⁻¹⁸	3.939e ⁻⁰¹	1.034e ⁻¹⁸
Conservação	IUCN - LC	-1.273e ⁺⁰⁰	6.889e ⁻⁴⁵	-6.452e ⁻⁰²	2.473e ⁻⁰⁵		
Conservação	MMA	6.895e ⁻⁰¹	1.008e ⁻⁴³	3.812e ⁻⁰¹	6.090e ⁻¹⁸	3.755e ⁻⁰¹	1.337e ⁻¹⁷
História de vida	Local de reprodução	7.379e ⁻⁰¹	2.581e ⁻⁴²	6.103e ⁻⁰¹	1.810e ⁻²⁸	4.942e ⁻⁰¹	1.569e ⁻¹⁹
Área de vida	Área de distribuição - restrita	9.008e ⁻⁰¹	4.168e ⁻⁴¹			-1.112e ⁻⁰¹	2.985e ⁻⁰²
Conservação	MMA – LC	-1.035e ⁺⁰⁰	1.134e ⁻³⁶	2.720e ⁻⁰¹	1.901e ⁻⁰⁶		
Área de vida	Área de distribuição – ampla	-6.509e ⁻⁰¹	5.493e ⁻³³				
História de vida	Habitat – Áreas florestadas	8.964e ⁻⁰¹	5.826e ⁻³²	-2.450e ⁻⁰¹	4.056e ⁻⁰²		

História de vida	Habitat	5.820e ⁻⁰¹	1.358e ⁻³¹	3.491e ⁻⁰¹	2.859e ⁻¹⁵	3.090e ⁻⁰¹	4.303e ⁻¹³
História de vida	Local de reprodução – Rio/Riacho	1.119e ⁺⁰⁰	1.517e ⁻²⁹	-7.686e ⁻⁰¹	1.458e ⁻⁰⁵	-	-
Área de vida	Frequência – Frequente	-9.680e ⁻⁰¹	7.149e ⁻²⁶	-3.199e ⁻⁰¹	1.415e ⁻⁰³	-1.779e ⁻⁰¹	8.891e ⁻⁰⁹
Área de vida	Endemismo – NÃO	-4.999e ⁻⁰¹	3.511e ⁻²⁵			-1.015e ⁻⁰¹	3.355e ⁻⁰²
Área de vida	Endêmico – SIM	4.999e ⁻⁰¹	3.511e ⁻²⁵			1.015e ⁻⁰¹	3.355e ⁻⁰²
Área de vida	Endemismo	4.598e ⁻⁰¹	3.511e ⁻²⁵	-	-	2.556e ⁻⁰²	3.355e ⁻⁰²
História de vida	Hábito	3.062e ⁻⁰¹	1.189e ⁻¹¹	5.224e ⁻⁰¹	5.492e ⁻²⁵	3.874e ⁻⁰¹	4.714e ⁻¹⁶
Área de vida	Frequência – Pouco frequente	5.370e ⁻⁰¹	2.192e ⁻¹⁸	-1.062e ⁺⁰⁰	1.267e ⁻¹¹	5.343e ⁻⁰¹	1.660e ⁻⁰⁵
Conservação	IUCN – VU	3.545e ⁻⁰¹	5.750e ⁻¹⁷	-1.401e ⁺⁰⁰	5.676e ⁻¹⁷	1.324e ⁺⁰⁰	1.125e ⁻⁰⁷
Espécie	<i>Bokermannohyla martinsi</i>	7.344e ⁻⁰¹	1.125e ⁻⁰⁷	-1.446e ⁺⁰⁰	5.676e ⁻¹⁷	7.344e ⁻⁰¹	1.125e ⁻⁰⁷
História de vida	Período de atividade			3.772e ⁻⁰¹	1.066e ⁻¹⁷	3.409e ⁻⁰¹	1.365e ⁻¹⁵
História de vida	Período de atividade – N			-9.641e ⁻⁰¹	4.244e ⁻¹⁶		
Espécie	<i>Ischnocnema manezinho</i>	2.087e ⁺⁰⁰	4.711e ⁻¹⁶	6.061e ⁻⁰¹	1.118e ⁻⁰³	-1.610e ⁺⁰⁰	3.567e ⁻¹²

Conservação	MMA -EN	1.234e⁺⁰⁰	4.711e⁻¹⁶	9.737e ⁻⁰¹	1.118e ⁻⁰³	- 1.255e ⁺⁰⁰	3.567e ⁻¹²
Conservação	IUCN-EN	9.990e⁻⁰¹	4.711e⁻¹⁶	6.514e ⁻⁰¹	1.118e ⁻⁰³	- 1.021e ⁺⁰⁰	3.567e ⁻¹²
História de vida	Local de reprodução – Brejo/Lago	-5.322e⁻⁰¹	3.074e⁻¹⁵	-5.622e ⁻⁰¹	2.728e ⁻⁰⁵	-2.620e ⁻⁰¹	4.597e ⁻⁰⁴
Área de vida	Frequência - Raro	1.024e⁺⁰⁰	1.347e⁻¹³	5.727e ⁻⁰¹	2.256e ⁻⁰⁴	- 1.224e ⁺⁰⁰	4.964e ⁻¹⁰
História de vida	Hábito - Criptozóico	5.307e ⁻⁰¹	3.975e ⁻¹²	2.956e⁻⁰¹	1.680e⁻¹³	-4.188e ⁻⁰¹	7.179e ⁻⁰⁶
História de vida	CRC – “M”	3.356e ⁻⁰¹	1.362e ⁻⁰³	-4.691e⁻⁰¹	7.075e⁻¹²	2.036e ⁻⁰¹	4.129e ⁻⁰⁵
História de vida	Habitat – Áreas abertas	-4.106e⁻⁰¹	1.362e⁻¹²	-3.686e ⁻⁰¹	5.035e ⁻⁰⁴	-2.916e ⁻⁰¹	3.341e ⁻⁰³
História de vida	CRC	1.425e ⁻⁰¹	1.561e ⁻⁰⁶	2.361e⁻⁰¹	6.634e⁻¹¹	1.991e ⁻⁰¹	4.088e ⁻⁰⁹
História de vida	CRC – “P”			2.382e ⁻⁰¹	1.502e ⁻⁰⁵	-3.754e⁻⁰¹	4.998e⁻¹⁰
História de vida	Período de atividade – DN	1.024e ⁺⁰⁰	8.449e ⁻⁰⁷	-2.825e ⁻⁰¹	1.533e ⁻⁰³	- 1.191e ⁺⁰⁰	3.117e⁻⁰⁸
História de vida	Período de atividade – D			2.224e⁻⁰¹	5.037e⁻⁰⁸	4.855e ⁻⁰¹	3.562e ⁻⁰⁶
Espécie	<i>Ischnocnema juipoca</i>			6.272e ⁻⁰¹	2.046e ⁻⁰³	- 1.324e ⁺⁰⁰	4.073e⁻⁰⁷

História de vida	CRC – “G”	-4.513e⁻⁰¹	1.272e⁻⁰⁶	2.309e ⁻⁰¹	3.739e ⁻⁰²	1.719e ⁻⁰¹	5.243e ⁻⁰³
Espécie	<i>Ameerega flavopicta</i>			1.502e⁺⁰⁰	5.470e⁻⁰⁶	1.059e ⁺⁰⁰	1.748e ⁻⁰³
Espécie	<i>Rhinella rubescens</i>	9.315e⁻⁰¹	1.379e⁻⁰⁵	5.753e ⁻⁰¹	1.754e ⁻⁰³	9.315e⁻⁰¹	1.379e⁻⁰⁵
História de vida	Hábito - Terrícola	-3.728e ⁻⁰¹	8.054e ⁻⁰³	-6.222e ⁻⁰¹	3.011e ⁻⁰⁵	2.088e⁻⁰¹	2.007e⁻⁰⁵
História de vida	Local de reprodução – Rio/Riacho e Brejo/Lago			4.573e ⁻⁰¹	3.947e ⁻⁰³	9.449e⁻⁰¹	6.430e⁻⁰⁵
História de vida	Hábito - Arborícola	-6.318e ⁻⁰¹	1.379e ⁻⁰⁴	-8.030e⁻⁰¹	7.400e⁻⁰⁵	-2.267e ⁻⁰¹	4.461e ⁻⁰³
Espécie	<i>Adelphobates galactonotus</i>			1.452e⁺⁰⁰	3.825e⁻⁰⁴	1.433e ⁺⁰⁰	6.725e ⁻⁰⁴
Área de vida	Área de distribuição – moderada					-7.296e⁻⁰¹	4.259e⁻⁰⁴
História de vida	Habitat – Áreas abertas e florestadas	-1.591e⁻⁰¹	7.460e⁻⁰⁴			-2.676e ⁻⁰¹	1.875e ⁻⁰²
Espécie	<i>Rhinella margaritifera</i>			1.846e ⁺⁰⁰	1.988e ⁻⁰³	2.044e⁺⁰⁰	7.508e⁻⁰⁴
Espécie	<i>Leptodactylus paranuru</i>			1.976e⁺⁰⁰	9.809e⁻⁰⁴	1.971e ⁺⁰⁰	1.148e ⁻⁰³
Espécie	<i>Oreobates heterodactylus</i>			9.529e⁻⁰¹	2.517e⁻⁰³		

Espécie	<i>Scinax fuscovarius</i>	-4.374e⁻⁰¹	2.986e⁻⁰³	-5.538e⁻⁰¹	1.406e⁻⁰²	-3.727e⁻⁰¹	3.344e⁻⁰²
História de vida	Local de reprodução – Chão de mata e Vegetação baixa			5.093e⁻⁰¹	2.046e⁻⁰³		
História de vida	Local de reprodução – Chão de mata			4.535e⁻⁰¹	4.133e⁻⁰³		
História de vida	Local de reprodução – Brejo/Lago e Remanso de rios	-4.970e⁻⁰¹	3.518e⁻⁰³				
Espécie	<i>Cycloramphus eleutherodactylus</i>	7.790e⁻⁰¹	1.343e⁻⁰²				
Espécie	<i>Leptodactylus vastus</i>	-6.773e⁻⁰¹	4.662e⁻⁰²				
Espécie	<i>Leptodactylus mystacinus</i>	-5.746e⁻⁰¹	3.521e⁻⁰²				
Espécie	<i>Physalaemus cuvieri</i>	-5.746e⁻⁰¹	2.238e⁻⁰²				
Espécie	<i>Rhinella diptycha</i>	-6.487e⁻⁰¹	1.826e⁻⁰²				
Espécie	<i>Leptodactylus labyrinthicus</i>	-6.317e⁻⁰¹	1.253e⁻⁰²				
Conservação	IUCN-NT					-8.213e⁻⁰¹	3.448e⁻⁰²
História de vida	Local de reprodução – Grutas e tocas	6.971e⁻⁰¹	1.343e⁻⁰²				

História de vida	Hábito – Terrícola e Criptozóico			-1.312e⁻⁰⁰	3.448e⁻⁰²
-------------------------	--	--	--	------------------------------	-----------------------------

CAPÍTULO IV

The first observation of predation on *Crossodactylus caramaschii* Bastos and Pombal, 1995 (Anura: Hylodidae) by a fishing spider (Araneae: Trechaleidae) in a neotropical cave

Aceito em *Herpetology Notes* (Qualis B3 – Quadriênio 2017-2020; Fator de impacto: 0.71) na seção “*Short Communication*”

Normas e diretrizes de submissão em
<https://www.biotaxa.org/hn/information/authors>

The first observation of predation on *Crossodactylus caramaschii* Bastos and Pombal, 1995 (Anura: Hylodidae) by a fishing spider (Araneae: Trechaleidae) in a neotropical cave

Vinícius da Fontoura Sperandei 1, 3,* , Wilian Vaz-Silva 2 , Francisco Leonardo Tejerina-Garro 2,4

1 Universidade Federal de São Carlos, 13565-905, Km 235, Rodovia Washington Luís, São Carlos, SP, Brazil.

2 Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Escola de Ciências Médicas e da Vida, Campus II, 74885-460, Jardim Mariliza, Av. Engler s/n, Goiânia, GO, Brazil.

3 Universidade de Rio Verde, 75901-970, Fazenda Fontes do Saber, Rio Verde, GO, Brazil.

4 Universidade Evangélica de Goiás, 75083-515, Av. Universitária Km 3,5, Cidade Universitária – Anápolis, GO, Brazil.

*Corresponding author. Email: vinicius.sperandei@gmail.com

The subterranean environment is characterized by the scarcity of available organic material, little or no primary production inside the caves, and a low or absent natural light rate (Culver and Pipan, 2019). Additionally, they are characterized by high environmental stability, with temperatures close to the annual external average, humidity tending to saturation, and simplified trophic networks (Barr, 1968). However, the study of ecological interactions and predation networks in neotropical caves is still incipient and scarce (Souza-Silva and Ferreira, 2014; Resende and Bichuette, 2016; Bernardi et al., 2020). Anuran amphibians are part of the food items of top predator invertebrates (Toledo, 2005; Barbo et al., 2009; Sanches et al., 2018). In caves, spiders are among the top predators (Bernardi et al., 2020), they represent a group of significant diversity compared to other subterranean taxonomic groups (Trajano and Bichuette, 2010; Cizauskas, 2017). However, there are some gaps in understanding of interactions, behavioral, and ecological information within this habitat.

In neotropical caves, communities are composed of invertebrates, including arachnids, ants, and detritivorous animals, which may or may not move between hypogeal and epigeal habitat. These invertebrates may also serve as prey for anurans (Bernarde, 2012; Ferreira et al., 2018, dos Santos et al., 2022). Caves also function as natural refuges for anurans, with behavioral and physiological adaptations to this habitat varying among neotropical species (Biswas, 2014; Matavelli et al., 2015; Dos Santos et al., 2021; Bichuette et al., 2022; Sperandei et al., 2023).

This study reports the predation involving a fishing spider *Trechaleoides biocellata* (Mello-Leitão, 1926) (Aranae: Trechaleidae) preying on an anuran *Crossodactylus caramaschii* Bastos and Pombal, 1995 (Anura: Hylodidae) (Figure 1). The observation took place in May 2015 in the Fenda das Almas cave (-24.1997°S; -48.3515° W) in the municipality of Ribeirão Grande, São Paulo, Brazil. This cavity, formed in carbonate lithology, is located in the Atlantic Forest Domain characterized by a Cfa climate (humid temperate with hot summer and no dry season) according to the Köppen-Geiger classification (Alvares et al., 2013). At the time, the observation was conducted in a passage located in the deepest area of the cave, within the aphotic zone and above the water body coursing through the cave. This study makes the first observation of anuran-fishing spiders' interaction in a subterranean habitat.



Figure 1: Observation of predation involving an anuran, *Crossodactylus caramaschii* (Anura: Hylodidae), by a fishing spider (*Trechaleoides biocellata* (Araneae: Trechaleidae) in Fenda das Almas, a carbonate cave in the State of São Paulo, Brazil.

Fishing spiders, such as *T. biocellata* in this case, are also known as “water spiders”, measuring ~50mm in size, they forage near watercourses with ambush behavior and are classified as troglophiles according to the Schiner-Racovitza classification of subterranean species (Cizauskas, 2017), that is, they have an affinity to occupy the cave and have populations in the epigeal (surface) and hypogeal (underground habitat).

Anurans from the Hylodidae family, such as *C. caramaschii*, typically inhabits areas near watercourses in rocky environments, including small waterfalls, primarily located within or near dense forests. Specimens of *C. caramaschii* are small, with an average size of 23 mm, not varying between males and females (Haddad et al., 2013). The presence of anurans in caves, such as *C. caramaschii*, is considered accidental; these animals occasionally enter the cavity for short periods in a non-systematic manner and may sometimes perish inside (Trajano and Bichuette, 2006; Trajano, 2012). Recently, there has been a reevaluation of the classification and occupation of the cave habitat by anurans

in Brazil, focusing on species lists, population, and community studies. Additionally, discussions on the bio-speleological classification of anurans have been emphasized (Andrade et al., 2021; Dos Santos et al., 2022, Bichuette et al., 2022; Sperandei et al., 2023).

The predation of anurans by the fishing spider *T. biocellata*, as reported in this study, finds support in the work of Gaiarsa et al. (2012), who documented the predation of a juvenile anuran, *Cycloramphus boraceiensis* (Heyer, 1983), in a neotropical cave. This observation suggests that *T. biocellata* may prey also be on small anurans in caves, despite these anurans may be larger than most invertebrate species present in this habitat.

Acknowledgments

This study was partially financed by the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel – Brazil (CAPES) – Finance Code 001. The first author is a CAPES scholarship holder.

References

- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., de Moraes, G., Leonardo, J., Sparovek, G. (2013): Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22(6): 711–728
- Andrade, M.C.M., Costa, J.C.R., Eterovick, P.C. (2021): Fidelity in the use of iron caves by *Bokermannohyla martinsi* (Anura: Hylidae): a step further in unveiling the importance of Brazilian caves for the herpetofauna. *Salamandra* 57: 502–512.
- Barbo, F.E., Rodrigues, M.G., Couto, F.M., Sawaya, R.J. (2009): Predation on *Leptodactylus marmoratus* (Anura: Leptodactylidae) by the spider *Ctenus medius* (Araneae: Ctenidae) in the Atlantic Forest, southeast Brazil. *Herpetology Notes* 2: 99–100
- Barr, T.C. (1968): Ecological studies in the Mammoth Cave ecosystems of Kentucky. *International Journal of Speleology* 3: 147–204.

Bernardi, L.F.O., Sperandei, V.F., Audino, L.D., Sena, C.H., Alves, J.A. (2020): Notes on the predation of an assassin bug by a spider in a Neotropical cave. *Subterranean Biology* 33: 17–22.

Bichuette, M.E., Sperandei, V.F., Bertolini, D.L.V., Simão, P.X., Sabbag, A.F. (2022): Frogs of seven granitic caves on Santa Catarina Island, Florianópolis Municipality, Santa Catarina State, southern Brazil. *Herpetology Notes* 15: 353–359.

Biswas, J. (2014): Occurrence and distribution of cave dwelling frogs of peninsular India. *Ambient Science* 1: 17–25.

Cizauskas, I. (2017): Análise da diversidade funcional e dos padrões de riqueza de aranhas cavernícolas do Brasil e um modelo de mapeamento. Unpublished PhD thesis, Universidade de São Paulo, Brazil.

dos Santos, T., de Souza, A.M., Bondezan, F.L., Eterovick, P.C. (2022): Going Underground: What the Natural History Traits of Cave Users Can Tell Us about Cave Use Propensity. *Journal of Herpetology* 56: 153–163.

Ferreira R.L., de Oliveira M.P.A., Souza-Silva M., 2018. Subterranean biodiversity in ferruginous landscapes. In: Moldovan O.T., Kováč L. & Halse S. (Eds.), *Cave Ecology*. p. 435-447.

Gaiarsa, M.P., Alencar, L.R.V.D., Dias, C.J., Martins, M. (2012): Predator or prey? Predatory interactions between the frog *Cycloramphus boraceiensis* and the spider *Trechaleoides biocellata* in the Atlantic Forest of Southeastern Brazil. *Herpetology Notes* 5: 67–68.

Haddad, C.F., Toledo, L.F., Prado, C.P., Loebmann, D., Gasparini, J.L., Sazima, I. (2013): *Guia dos anfíbios da Mata Atlântica: diversidade e biologia*. São Paulo, Brazil, Anolis Books.

Maffei, F., Ubaid, F.K., Jim, J. (2010): Predation of herps by spiders (Araneae) in the Brazilian Brazilian savanna. *Herpetology notes* 3: 167–170.

Resende, L.P.A, Bichuette, M.E. (2016): Sharing the space: coexistence among terrestrial predators in Neotropical caves. *Journal of Natural History* 50(33–34): 2107–2128.

Sanches, P.R., Pedroso-Santos, F., Costas-Campos, C.E., Batista, D.S., Vianna, P.A.R.B. (2018): *Scinax ruber* (Red-snouted Treefrog). Predation. *Herpetological Review* 49:730–731.

Silva, M.S., Ferreira, R.L. (2014): *Loxosceles* spiders (Araneae Sicariidae) preying on invertebrates in Brazilian caves. *Speleobiology Notes* 6: 27–32.

Toledo, L.F. (2005): Predation of juvenile and adult anurans by invertebrates: current knowledge and perspectives. *Herpetological Review* 36: 395–400.

Trajano, E., Bichuette, M.E. (2006): *Biologia subterrânea: introdução*. São Paulo, Brazil, Redespeleo Brasil.

Trajano, E., Bichuette, M.E. (2010): Diversity of Brazilian subterranean invertebrates, with a list of troglomorphic taxa. *Subterranean Biology* 7: 1–16.

Trajano E (2012): Ecological classification of subterranean organisms. In: White WB, Culver DC (Eds) *Encyclopedia of Caves*. Leicestershire, UK, Academic Press.

CONCLUSÃO FINAL

Esta tese teve por objetivo principal compreender e interpretar dados de ocupação de anuros neotropicais brasileiros em cavidades naturais, com resultados e discussões que podem servir de elementos para auxiliar nos processos de classificação deste grupo na bioespeleologia.

Desde o primeiro registro científico de anuros no interior de cavidades neotropicais brasileiras transcorreram 42 anos de pesquisas e foram realizados 18 trabalhos científicos com citação deste grupo em ambiente subterrâneo e abordando principalmente a área de conhecimento da biologia de comunidades. Foram encontrados 247 registros independentes dispersos em 55 cavidades brasileiras predominantemente em litologias carbonáticas e ferruginosas nos estados de Minas Gerais e São Paulo em bioma de Floresta Atlântica e ecótono de Floresta Atlântica com Cerrado brasileiro. Os encontros ocorreram em sua maioria em Zona fótica (entrada da cavidade) e na presença de corpos d'água intermitente na caverna. Leptotodactylidae, Hylidae e Bufonidae foram as famílias de anuros brasileiros com mais espécies registradas no interior do ambiente subterrâneo, em conformidade às proporções de riqueza geral do grupo.

Foram encontrados 247 registros abrangendo 83 espécies (incluindo morfoespécies), indicando dois grupos com probabilidade significativa para a ocupação do habitat cavernícola por anuros neotropicais, o primeiro formado por cavernas em biomas da Floresta Atlântica, Caatinga e Ecotono entre Floresta Atlântica e Caatinga, nas localidades de Laranjeiras/SE, Iporanga/SP e no estado do Rio Grande do Norte, em litologias carbonática e de mármore, em uma variação altitudinal de 23m a 476m, inseridas em matriz composta por formações vegetais naturais (florestal e savânica) e compondo a diversidade de anuro fauna as famílias Leptodactylidae (representado por *L. labyrinthicus*) e Bufonidae. O segundo agrupamento foi formado por cavidades em Nova Lima/MG e Florianópolis/SC, cavernas em litologias ferruginosa e granítica, com a presença de matriz de paisagem campestre e afloramentos rochosos com água perene, este cenário é ocupado por *Bokermannohyla martinsi* (restrita a região do Quadrilátero Ferrífero mineiro) e *Ischnocnema manezinho* endêmica em Santa Catarina.

As variáveis de história natural de vida e biologia dos anuros em cavernas nos responderam dois panoramas antagônicos quanto suas características, o que nos remete ao fato do grupo destes anfíbios ser plástico em sua maioria com hábitos generalistas podem ocorrer em quase a totalidade do grupo no interior das cavernas. O primeiro agrupamento, mais restritivo é formado por animais de área de vida restrita, com endemismo e frequência rara ou pouco frequente na comunidade, além de possuir grau de ameaça na escala da IUCN Red List (em perigo) e hábitos em afloramentos rochosos (criptozoicos) e terrícolas, com atividade noturna e local de reprodução associado a corpos d'água. No segundo grupo temos animais de ampla distribuição, sem endemismo e com pouca ou nenhuma ameaça das escalas do MMA e IUCN; em todas as categorias de comprimento rostro-cloacal, preferência por áreas abertas e hábito arborícola. Em ambos houve uma significância para muitas espécies com características muito amplas, sem uma variável singular entre elas. Nos remetendo ao fato que o grupo todo, por características morfofuncionais marcantes, é possível a ocupação e permanência no ambiente cavernícola

Algumas espécies demonstraram afinidade para esta ocupação de cavernas neotropicais brasileiros como as espécies *Bokermannohyla martinsi* e *Ischnocnema manezinho*, endêmicos de Minas Gerais e Santa Catarina respectivamente, foram apontadas em todas as análises como positivamente influenciados a ocupar o ambiente subterrâneo. Ainda que sejam das espécies com mais registros em um mesmo local, ambas indicam ocupar o ambiente subterrâneo sistemicamente. A conservação do ambiente subterrâneo natural pode atuar em conjunto á conservação como um todo destas espécies, uma vez que mantendo os abrigos e locais de nidificação dos animais protegidos, diretamente aumentará a cobertura sobre a espécie de forma global.

Ao entendimento que registros e comunicações de novos eventos e comportamentos auxiliam a compreender como anuros ocupam o interior das cavidades reportamos um registro inédito de interação predador-presa de uma predação de um anuro *Crossodactylus caramaschii* (Anura: Hylodidae) por uma aranha-pescadora (*Trechaleoides biocellata*, Araneae: Trechaleidae). Registros como esse fornecem dados de interação que são fundamentais para o entendimento de como este ambiente pode ser hostil ou de refúgio aos anuros que habitam, e quais os possíveis predadores do interior das cavidades já que

em sua maioria, quando comparado com o ambiente externo, a comunidade no local

Desta forma indica-se a necessidade de incluir o levantamento de anuros nos estudos bioespeleológicos com o objetivo de reforçar o arcabouço teórico-científico e entender como espécies afins deste ambiente se comportam e quais as diferenças entre populações epígeas e hipógeas. Um ambiente que necessita de foco do ponto de vista da conservação e um grupo taxonômico tão ameaçado quanto o seu local de vida podem atuar juntos como promotores da conservação do meio ambiente e vida animal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS (formato APA)

Barr Jr, T. C. (1968). Cave ecology and the evolution of troglobites. In *Evolutionary Biology: Volume 2* (pp. 35-102). Boston, MA: Springer US.

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

Becker, C. G., & Zamudio, K. R. (2011). Tropical amphibian populations experience higher disease risk in natural habitats. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(24), 9893-9898.

Bellati, J., Austin, A., & Stevens, N. (2003). Arthropod diversity of a guano and non-guano cave at the Naracoorte caves world heritage area, South Australia.

Bernarde, P. S. (2012). Anfíbios e répteis: introdução ao estudo da herpetofauna brasileira. Anolis Books.

Biswas, J. (2014). Occurrence and distribution of cave dwelling frogs of peninsular India. *Ambient Science*, 1(2), 17-25.

Boelter, R. A., Kaefer, I. L., Both, C., & Cechin, S. (2012). Invasive bullfrogs as predators in a Neotropical assemblage: what frog species do they eat?. *Animal Biology*, 62(4), 397-408.

Both, C., & Grant, T. (2012). Biological invasions and the acoustic niche: the effect of bullfrog calls on the acoustic signals of white-banded tree frogs. *Biology letters*, 8(5), 714-716.

Collins, J. P., Crump, M. L., & Lovejoy III, T. E. (2009). *Extinction in our times: global amphibian decline*. Oxford University Press.

Cullingford, C. H. D. (Ed.). (1962). *British Caving: an introduction to speleology*. London: Routledge and K. Paul.

Culver DC, Wilkens H (2000) Critical review of relevant theories of the evolution of subterranean animals. In: Wilkens H, Culver DC, Humphreys WF. *Ecosystems of the World*, v. 30: Subterranean Ecosystems. Amsterdam: Elsevier Press. 381-397.

Culver DC, Pipan T (2009) The biology of caves and other subterranean habitats. Oxford: Oxford University Press. 256pp.

Culver DC, Pipan T (2019) The biology of caves and other subterranean habitats. Oxford University Press. 336p.

de Oliveira, I. S., Roedder, D., & Toledo, L. F. (2016). Potential worldwide impacts of sea level rise on coastal-lowland anurans. *North-Western Journal of Zoology*, 12(1), 91-101.

Duellman WE (2005) Cusco Amazónico. Comstock Books in Herpetology, Cornell, USA, 433pp.

del Castillo, A. E., Davila-Montes, M. J., Miranda-Anaya, M., Morales-Malacara, J. B., Paredes-Leon, R., & Castaño-Meneses, R. G. (2009). Seasonal distribution and Circadian activity in the troglophile long-footed robber frog, *Eleutherodactylus longipes* (Anura: Brachycephalidae) at Los Riscos Cave, Querétaro, Mexico: field and laboratory studies. *Journal of Cave and Karst Studies*. 71(1):24-31.

Eterovick, P. C., Rievers, C. R., Kopp, K., Wachlevski, M., Franco, B. P., Dias, C. J., ... & Afonso, L. G. (2010). Lack of phylogenetic signal in the variation in anuran microhabitat use in southeastern Brazil. *Evolutionary Ecology*, 24, 1-24.

Fenolio, D. B., Graening, G. O., & Stout, J. F. (2005). Seasonal movement patterns of pickerel frogs (*Rana palustris*) in an Ozark cave and trophic implications supported by stable isotope evidence. *The Southwestern Naturalist*, 50(3), 385-389.

Ferreira, R.L. 2005. A vida subterrânea nos campos ferruginosos. *O Carste*. 3(17):106-115.

Gibert, J., Deharveng, L. 2002. Subterranean Ecosystems: A Truncated Functional Biodiversity. *BioScience*. 52:473-481.

Gleason, H. A. (1926). The individualistic concept of the plant association. *Bulletin of the Torrey botanical club*, 7-26.

Hayes, T. B., Khoury, V., Narayan, A., Nazir, M., Park, A., Brown, T., ... & Gallipeau, S. (2010). Atrazine induces complete feminization and chemical

castration in male African clawed frogs (*Xenopus laevis*). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(10), 4612-4617.

Holsinger R, Culver DC (1988) The invertebrate cave fauna of Virgínia and a part of eastern Tennessee: zoogeography and ecology. *Brimieyana*, 14: 1- 162.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (2019). Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (ICMBio/CECAV). Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE). Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html>.

International Union For The Conservation Of Nature And Natural Resources (IUCN). 2021. Red List of Threatened Species

Juberthie, C. (2000). The diversity of the karstic and pseudokarstic hypogean habitats in the world. *Subterranean Ecosystems*.

Juberthie, C., & Decu, V. (1994). Structure et diversité du domaine souterrain: particularités des habitats et adaptations des espèces. *Encyclopaedia biospeologica*, 1, 5-22.

Ladle, R., & Hortal, J. (2013). Mapping species distributions: living with uncertainty. *Frontiers of Biogeography*, 5(1).

Langecker, T. G. (1989). Studies on the light reaction of epigean and cave populations of *Astyanax fasciatus* (Characidae, Pisces). *Mémoires de Biospéologie*, 16, 169-176.

Luría-Manzano R, Ramírez-Bautista A (2017) Diet comparison between rainforest and cave populations of *Craugastor alfredi* (Anura: Craugastoridae): does diet vary in contrasting habitats? *Journal of natural history* 51(39-40): 2345-2354.

Lunghi E, Manenti R, Ficetola GF (2017) Cave features, seasonality and subterranean distribution of non-obligate cave dwellers. *PeerJ* 5: e3169.

Matavelli, R., Campos, A. M., Feio, R. N., & Ferreira, R. L. (2015). Occurrence of anurans in Brazilian caves. *Acta Carsologica*, 44(1).

McMenamin, S. K., Hadly, E. A., & Wright, C. K. (2008). Climatic change and wetland desiccation cause amphibian decline in Yellowstone National Park. *Proceedings of the national Academy of Sciences*, 105(44), 16988-16993.

Meegaskumbura, M., Bossuyt, F., Pethiyagoda, R., Manamendra-Arachchi, K., Bahir, M., Milinkovitch, M. C., & Schneider, C. J. (2002). Sri Lanka: an amphibian hot spot. *Science*, 298(5592), 379-379.

Moreira, L. F., Solino-Carvalho, L. A., Strüssmann, C., e Silveira, R. M. (2016). Effects of exotic pastures on tadpole assemblages in Pantanal floodplains: assessing changes in species composition. *Amphibia-Reptilia*, 37(2), 179-190.

Moresco, R. M., Margarido, V. P., & de Oliveira, C. (2014). A persistent organic pollutant related with unusual high frequency of hermaphroditism in the neotropical anuran *Physalaemus cuvieri* Fitzinger, 1826. *Environmental research*, 132, 6-11.

Olson, D. H., Aanensen, D. M., Ronnenberg, K. L., Powell, C. I., Walker, S. F., Bielby, J., ... & Fisher, M. C. (2013). Mapping the global emergence of *Batrachochytrium dendrobatidis*, the amphibian chytrid fungus. *PloS one*, 8(2), e56802.

Ortuño, V. M., Gilgado, J. D., Jiménez-Valverde, A., Sendra, A., Pérez-Suárez, G., & Herrero-Borgoñón, J. J. (2013). The “alluvial mesovoid shallow substratum”, a new subterranean habitat. *PLoS One*, 8(10), e76311.

Pérez-Iglesias, J. M., Franco-Belussi, L., Moreno, L., Tripole, S., de Oliveira, C., & Natale, G. S. (2016). Effects of glyphosate on hepatic tissue evaluating melanomacrophages and erythrocytes responses in neotropical anuran *Leptodactylus latinasus*. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 9852-9861.

Poulson TL (2005) Food sources. In: Culver, D. C.; White, W. B. (Ed.). *Encyclopedia of caves*. Amsterdam: Elsevier, 255-264.

Poulson, T. L., & White, W. B. (1969). The Cave Environment: Limestone caves provide unique natural laboratories for studying biological and geological processes. *Science*, 165(3897), 971-981.

- Prous, X., Ferreira, R. L., & Martins, R. P. (2004). Ecotone delimitation: Epigean–hypogean transition in cave ecosystems. *Austral Ecology*, 29(4), 374-382.
- Resetarits Jr, W. J. (1986). Ecology of cave use by the frog, *Rana palustris*. *American Midland Naturalist*, 256-266.
- Romero, A. (2009). Cave biology: life in darkness. Cambridge University Press.
- Rosen, R. (1996). On the limitations of scientific knowledge. *Boundaries and barriers: On the limits to scientific knowledge*, 199-214.
- Sket, B. (2008). Can we agree on an ecological classification of subterranean animals?. *Journal of Natural History*, 42(21-22), 1549-1563.
- Silva, M., Martins, R. P., & Ferreira, R. L. (2011). Trophic dynamics in a neotropical limestone cave. *Subterranean Biology*, 9, 127-138.
- Silva, M. S., & Ferreira, R. L. (2016). The first two hotspots of subterranean biodiversity in South America. *Subterranean Biology*, 19, 1-21.
- Suwannapoom C, Sumontha M, Tunprasert J, Ruangsuan T, Pawangkhanant P, Korost DV, Poyarkov NA (2018) A striking new genus and species of cave-dwelling frog (Amphibia: Anura: Microhylidae: Asterophryinae) from Thailand. *PeerJ* 6:e4422.
- Tobin, B. W., Hutchins, B. T., & Schwartz, B. F. (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(3), 4.
- Trajano, E., & Bixuette, M. Biologia subterrânea: introdução. 2006. *Redespeleo: São Paulo*. 1: 92.
- Vredenburg, V. T., Knapp, R. A., Tunstall, T. S., & Briggs, C. J. (2010). Dynamics of an emerging disease drive large-scale amphibian population extinctions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(21), 9689-9694.
- Wake, D. B. (1991). Declining amphibian populations. *Science*, 253(5022), 860-860.