

Universidade Federal de São Carlos
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais
Departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva



Bruno Gabriel Oliveira do Monte

Ecologia populacional do amblipígeo *Charinus eleonora* Baptista & Giupponi 2003 (Arachnida: Amblypygi: Charinidae) e dos opiliões *Iandumoema uai* Pinto-da-Rocha 1996, *Eusarcus cavernicola* Hara & Pinto-da-Rocha 2010 e *Eusarcus aduncus* Mello-Leitão 1942 (Arachnida: Opiliones: Gonyleptidae) da Gruta Olhos d' Água, Itacarambi, Minas Gerais

Orientadora: Prof. Dra. Maria Elina Bichuette

São Carlos, 2017

Universidade Federal de São Carlos
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais
Departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva



Bruno Gabriel Oliveira do Monte

Ecologia populacional do ambliptígeo *Charinus eleonora* Baptista & Giupponi 2003 (Arachnida: Amblypygi: Charinidae) e dos opiliões *Iandumoema uai* Pinto-da-Rocha 1996, *Eusarcus cavernicola* Hara & Pinto-da-Rocha 2010 e *Eusarcus aduncus* Mello-Leitão 1942 (Arachnida: Opiliones: Gonyleptidae) da Gruta Olhos d' Água, Itacarambi, Minas Gerais

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

São Carlos, 2017



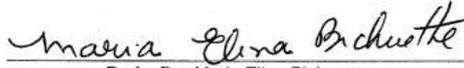
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde

Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais

Folha de Aprovação

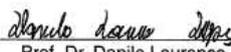
Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a defesa de tese de doutorado do(a) candidato(a) Bruno Gabriel Oliveira do Monte, realizada em 26/04/2017:



Profa. Dra. Maria Elina Bichuette
UFSCar



Profa. Dra. Carolina Reigada Montoya
(UFSCar)



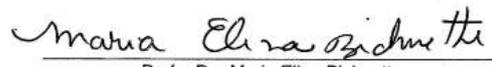
Prof. Dr. Danilo Lourenço Lopes
UFSCar



Prof. Dr. José Paulo Leite Guadanucci
UNESP

Prof. Dr. Abel Pérez González
MACN

Certifico que a sessão de defesa foi realizada com a participação à distância do membro Prof. Dr. Abel Pérez González e, depois das arguições e deliberações realizadas, o participante à distância está de acordo com o conteúdo do parecer da comissão examinadora redigido no relatório de defesa da aluna Bruno Gabriel Oliveira do Monte.



Profa. Dra. Maria Elina Bichuette
Presidente da Comissão Examinadora
UFSCar

*Dedico este trabalho a meus pais, Sirlene Oliveira do Monte e José
Bezerra do Monte, e a meus irmãos, Larissa e Fernando*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Maria Elina Bichuette, a quem tenho respeito e admiração pela sua dedicação e exemplo como professora e pesquisadora dedicada integralmente à preservação e conservação. Sou grato por me ensinar e iniciar nos estudos de um ambiente tão importante como o subterrâneo, pelo acompanhamento durante o desenvolvimento do trabalho e por compartilhar seus conhecimentos e tempo durante esse processo. Sua paixão pelo que faz é contagiante!

Agradeço aos companheiros do Laboratório de Estudos Subterrâneos (LES/UFSCar) pela ajuda e participação durante as diversas etapas desse processo. Sou grato a Jonas Eduardo Gallão pelo auxílio na captura e marcação, nas coletas e identificações, bem como na contribuição dada durante o processo de análise, discussão dos resultados e pela revisão e leitura criteriosa do manuscrito e pelas fotos gentilmente cedidas. Agradeço a Camile Sorbo Fernandes pela revisão crítica de textos e traduções, pelo auxílio nas análises e no uso do programa R e pela contribuição nas discussões ecológicas. Sou grato a Diego Monteiro von Shimonsky pelo auxílio na construção dos mapas, pela ajuda nas coletas e identificação de material e leitura crítica do trabalho. Agradeço a Tamires Zepon pelo auxílio na captura e marcação, na triagem e identificação de material, pela leitura e revisão do manuscrito e no auxílio com o programa R. Sou grato à Jéssica Gallo pela leitura e sugestões durante a escrita do manuscrito e pelo auxílio na triagem e identificação de material. Sou grato a todos os membros do LES pela parceria e amizade construída durante esse período.

Agradeço ao Marcio Perez Bolfarini pelo auxílio no trabalho de campo, na captura e marcação dos animais, pelas fotos gentilmente cedidas para utilização nesse trabalho, pela ajuda na construção de figuras. Ao Caio Cesar Pires de Paula pelo auxílio na marcação e recaptura dos animais. Sou grato ao Ives Arnone pelo auxílio na marcação e recaptura dos animais.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de São Carlos (PPGERN/UFSCar) pela infra-estrutura e apoio financeiro ao trabalho, ao Instituto Chico Mendes de Conservação à Biodiversidade (ICMBio) pela licença de coleta (20165-1), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos. Sou grato à administração do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (Evandro Pereira da Silva, Rafael Pereira Pinto e Raiane de Melo Viana) pelo suporte e apoio durante o trabalho de campo.

Agradeço ao Vandeir B. de Jesus (Branco), pelo auxílio em campo, a Deusdete das Chagas de Jesus (Dona Dete) pela recepção e estadia no Peruaçu.

Ao Grupo Bambuí por permitir gentilmente a utilização do mapa da Gruta Olhos d' Água.

Agradeço a minha companheira de todas as horas Máira pelo amor e carinho durante essa caminhada. Sou grato por me propiciar uma divertida convivência e história de carinho e respeito construída ao longo de sete anos com sua filha Marina, fundamental em nossas vidas.

SUMÁRIO

RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUÇÃO GERAL	3
ÁREA DE ESTUDO	8
REFERÊNCIAS	12
CAPÍTULO 1	15
RESUMO	16
ABSTRACT	17
1.1 INTRODUÇÃO.....	18
1.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
Espécies estudadas.....	25
Captura e marcação	26
Análise dos tamanhos corporais	29
Análise populacional	29
1.3 RESULTADOS	35
1.4 DISCUSSÃO	46
1.5 REFERÊNCIAS	53
CAPÍTULO 2	60
RESUMO	61
ABSTRACT	62
2.1 INTRODUÇÃO.....	63
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	66
Medidas das bases	66
Análise dos dados	68
2.3 RESULTADOS	68
Distribuição espacial.....	68
Abundância e influência climática	71
2.4 DISCUSSÃO	76
2.5 REFERÊNCIAS	80

CAPÍTULO 3	84
RESUMO	85
ABSTRACT	86
3.1 INTRODUÇÃO.....	87
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	89
Área de estudo	89
Amostragens	90
Análise dos dados	92
3.3 RESULTADOS	93
3.4 DISCUSSÃO.....	103
3.5 REFERÊNCIAS	108
APÊNDICE I.....	128
APÊNDICE II.....	128
APÊNDICE III	129
APÊNDICE IV	130
APÊNDICE V	131
APÊNDICE VI.....	132

LISTA DE FIGURAS

Figure 1 – Localização do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (PNCP). a) Localização em relação às fitofisionomias, b) Localização e desenvolvimento horizontal da Gruta Olhos d’ Água no PNCP, município de Itacarambi, Minas Gerais. 9

Figura 2 – Mapa em planta baixa da Gruta Olhos d’ Água mostrando seu desenvolvimento horizontal (modificado de Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas/GBPE). Em destaque o trecho estudado (1.500 m) com a marcação das bases (●). a) Teto alto base 50 (1.500 m à montante da entrada); b) teto baixo base 42; c) teto alto base 47; d) teto baixo base 30; e) base 18, antes da constrição (\cong 0,4 m de largura x 0,9m de altura); f) constrição da base 14 (\cong 450 m á partir da entrada); g) salão próximo à base 5 (\cong 150m à partir da entrada); h) base 1. Fotografias: Bolfarini, M.P. 11

Figura 3 – Espécies estudadas na Gruta Olhos d’ Água. a) *Iandumoema uai* Pinto-da-Rocha, 1996; b) *Charinus eleonora* Baptista & Giupponi, 2003; c) *Eusarcus cavernicola* Hara & Pinto-da-Rocha, 2008 e d) *Eusarcus aduncus* Mello-Leitão, 1942; Fotografias: Bolfarini, M.P..... 28

Figura 4 – Padrão de marcas e medidas corpóreas utilizadas. a) padrão de marcas e medidas para os opiliões *I. uai*, *E. cavernicola* e *E. aduncus*; b) padrão de marcas e medidas para *C. eleonora*. 1 = marca que representa as dezenas, 2 = marca que representa as unidades, 3 = marca da ocasião de viagem, 4 = marca que representa as centenas. A = Medida do fêmur da perna IV (CFIV), B = comprimento do escudo dorsal (CED), C = largura do escudo dorsal (LED) e D = comprimento do abdômen (CA).... 29

CAPÍTULO 1

Figura 1.1 - Descrição dos parâmetros populacionais analisados pela formulação de POPAN (Population Analyses). O parâmetro p_t representa a probabilidade de um indivíduo ser capturado na ocasião t ; N_t representa a abundância estimada para cada ocasião; Φ_t representa a probabilidade de um indivíduo sobreviver da ocasião t até a ocasião $t+1$; e $b_t (= p_{ent})$ representa a probabilidade de um animal da superpopulação (N_s) entrar na população entre as ocasiões t e $t+1$, sobrevivendo até $t+1$ (adaptado de SCHWARZ; ARNASON, 2006)..... 33

Tabela 1.1 - Modelos testados para a população de *I. uai*. Φ (sobrevivência aparente), p (probabilidade de captura dado o animal está vivo e na área de estudo), p_{ent} ($b_i=p_{ent}$) (probabilidade de entrada na população para esta ocasião). Além destes, utiliza o parâmetro N (tamanho da superpopulação). (~ 1) parâmetro constante, ($\sim t$) parâmetro variando com o tempo, ($\sim sex$) parâmetro variando com o sexo e ($\sim t * sex$) parâmetro variando com o tempo e com o sexo. 34

Tabela 1.2 – Número de indivíduos capturados (Cap.) e recapturados (Recap.) para cada ocasião de visita à Gruta Olhos D’ Água. 35

Tabela 1.3 – Média das medidas corpóreas para *I. uai*, *E. cavernicola* e *E. aduncus*. CFIV é o comprimento do fêmur IV, CED é o comprimento do escudo dorsal e LED a largura. M=macho, F=Fêmea. CA é a medida de comprimento do abdômen, CED e

LED o comprimento e largura do escudo dorsal, respectivamente para *C. eleonora*. *
= $p < 0,05$, **= $p < 0,01$ e ***= $p < 0,001$ 37

Figura 1.2 – Boxplots das medidas corpóreas. Comprimento do fêmur da perna IV, comprimento do escudo dorsal e largura do escudo dorsal para *I. uai* em a), b) e c) respectivamente e para *E. cavernicola* em d) e) f), respectivamente. Os números de 1-6 representam as ocasiões (Junho/2014, Agosto/2014, Outubro/2014, Junho/2015, Setembro/2015 e Outubro/2015). 38

Figura 1.3 – Boxplots das medidas corpóreas. Comprimento do fêmur da perna IV, comprimento do escudo dorsal e largura do escudo dorsal para *E. aduncus* em a), b) e c) respectivamente e para *C. eleonora* em d) e) f), respectivamente. Os números de 1-6 representam as ocasiões (Junho/2014, Agosto/2014, Outubro/2014, Junho/2015, Setembro/2015 e Outubro/2015). 39

Figura 1.4 – Estimativas dos tamanhos populacionais totais (N) por ocasião de visita à caverna (1 a 6 – Junho/2014, Agosto/2014, Outubro/2014, Junho/2015, Setembro/2015 e Outubro/2015). a) *I. uai* (macho --▲-- e fêmea --■--), b) *E. cavernicola*, c) *E. aduncus* e d) *C. eleonora*. 41

Tabela 1.4 – Modelos gerados pela formulação POPAN (Population Analyses). K é o número de parâmetros, Φ é a probabilidade de sobrevivência, p é a probabilidade de captura, $pent$ é a probabilidade de entrada e N o tamanho populacional. 44

Tabela 1.5 – Parâmetros (Φ , p , $pent$ e N) para os melhores os modelos testados. Para *I. uai* os valores fora e dentro do parênteses representam fêmeas e machos, respectivamente; Φ é a probabilidade de sobrevivência, p é a probabilidade de captura, $pent$ é a probabilidade de entrada. 45

CAPÍTULO 2

Tabela 2.1. Características ambientais do trecho (1.500m) estudado da gruta Olhos d' Água, município de Itacarambi, Minas Gerais. 67

Figura 2.1 - Distribuição espacial das populações ao longo de 1.500 metros da Gruta Olhos d' Água, município de Itacarambi, Minas Gerais. a) *Iandumoema uai*, b) *Charinus eleonora*, c) *Eusarcus cavernicola* e c) *Eusarcus aduncus*. 70

Figura 2.2 - Análise circular. a) temperatura (Tep), b) umidade epígea (URep) das estações dos municípios Chapada Gaúcha, Mocambinho e Moltalvânia da região do vale do Peruaçu, Minas Gerais. 71

Figura 2.3 – Valores de temperatura e umidade relativa do ar medidas em cada umas das ocasiões de captura. Temperatura e umidade na entrada da caverna (Te e URe), hipógea (Th e URh) e epígea (Tep e UR ep). 1-6, Junho/2014, Agosto/2014, Outubro/2014, Junho/2015, Setembro/2015 e Outubro/2015. 72

Figura 2.4 – Gráfico de ordenação da Análise de Correlação Canônica entre as abundâncias da cada população (*I.uai* = iuai, *C. eleonora* = cha, *E. aduncus* = ead, *E. cavernicola* = ecav) e temperatura e umidade epígea (Tep e Uep), hipógea (Th e Uep) e zona de entrada (Te). 74

Tabela 2.2 - Correlação canônica. Auto valores para CCA1 e CCA2 e coeficientes de correlação para as espécies e variáveis ambientais. 75

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 – Área de estudo. Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (PNCP), município de Itacarambi, estado de Minas Gerais. A – Lapa do Cipó, B – gruta Mina d' Água, C – Toca do Pedrinho, D – Gruta Olhos d' Água, E - Lapa da Onça, F – Lapa do Branco I, G – Lapa do Branco IV, H- Lapa dos Sonhos, I- Lapa do Mogno, J – Gruta Janelão, K – Gruta Bonita, L – Caverna Boquete, M – Gruta dos Troncos e N – Caverna dos Cascudos.....91

Figura 3.2 – a) Abundância e b) Riqueza total das cavernas do PNCP. 1 – 11: (Actinopterygii (Osteichthyes), Amphibia, Arachnida, Chilopoda, Clitellata, Diplopoda, Entognatha, Gastropoda, Insecta, Malacostraca e Mammalia). 95

Tabela 3.1 – Descrição das cavernas estudadas do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, Itacarambi, Minas Gerais, Brasil. Desenvolvimento horizontal das cavernas; entrada; altitude da entrada (m); presença de corpo d'água; zonação e grau de preservação caverna..... 98

Figura 3.3 – Registros de novas espécies (troglóbias, troglófilas) e novas ocorrências para a Gruta Olhos d' Água e a Lapa do Cipó. a) *Xangoniscus odara* (Isopoda) (Lapa do Cipó, troglóbio), b) *Endecous peruassuensis* (Orthoptera) (Gruta Olhos d' Água e Lapa

do Cipó, troglóbio), c) família Kimulidae gen. n. sp. n. (Opiliones) (Gruta Olhos d' Água, troglóbio relict) habitus, dorsal e d) habitus, latral, d), e) *Siphonops paulensis* (Gymnophiona) (Gruta Olhos d' Água, accidental), e f) *Katantodesmus* sp. n. (Gruta Olhos d' Água, troglóbio). Fotografias: a, e - von Shimonsky, D.M.; b,d,f – Bolfarini, M.P.; c e d– Fernandes L.B.R..... 99

Figura 3.4 – Distinção taxonômica calculada para as 14 cavernas estudadas do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (PNCP), Itacarambi, Minas Gerais..... 101

Tabela 3.2 – Valores da Distinção taxonômica para as cavernas estudadas no Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, Itacarambi, Minas Gerais. Δ^+ = Distinção taxonômica; N = número de indivíduos. ‘****’ $p < 0,001$, ‘***’ $p < 0,01$, ‘*’ $p < 0,05$ 102

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1.1 - Modelos testados para a população de *I. uai*. Φ (sobrevivência aparente), p (probabilidade de captura dado o animal está vivo e na área de estudo), $pent$ ($bi=pent$) (probabilidade de entrada na população para esta ocasião). Além destes, utiliza o parâmetro N (tamanho da superpopulação). ($\sim I$) parâmetro constante, ($\sim t$) parâmetro variando com o tempo, ($\sim sex$) parâmetro variando com o sexo e ($\sim t * sex$) parâmetro variando com o tempo e com o sexo. 34

Tabela 1.2 – Número de indivíduos capturados (Cap.) e recapturados (Recap.) para cada ocasião de visita à Gruta Olhos D' Água. 35

Tabela 1.3 – Média das medidas corpóreas para *I. uai*, *E. cavernicola* e *E. aduncus*. CFIV é o comprimento do fêmur IV, CED é o comprimento do escudo dorsal e LED a largura. M=macho, F=Fêmea. CA é a medida de comprimento do abdômen, CED e LED o comprimento e largura do escudo dorsal, respectivamente para *C. eleonora*. * $=p < 0,05$, ** $=p < 0,01$ e *** $=p < 0,001$ 37

Tabela 1.4 – Modelos gerados pela formulação POPAN (Populaiton Analyses). K é o número de parâmetros, Φ é a probabilidade de sobrevivência, p é a probabilidade de captura, $pent$ é a probabilidade de entrada e N o tamanho populacional. 44

Tabela 1.5 – Parâmetros (Φ , p , $pent$ e N) para os melhores os modelos testados. Para *I. uai* os valores fora e dentro do parênteses representam fêmeas e machos, respectivamente; Φ é a probabilidade de sobrevivência, p é a probabilidade de captura, $pent$ é a probabilidade de entrada. 45

CAPÍTULO 2

Tabela 2.1. Características ambientais do trecho (1.500m) estudado da gruta Olhos d' Água, município de Itacarambi, Minas Gerais. 67

Figura 2.1 - Distribuição espacial das populações ao longo de 1.500 metros da Gruta Olhos d' Água, município de Itacarambi, Minas Gerais. a) *Iandumoema uai*, b) *Charinus leonorae*, c) *Eusarcus cavernicola* e c) *Euarucus aduncus*. 70

Tabela 2.2 - Correlação canônica. Auto valores para CCA1 e CCA2 e coeficientes de correlação para as espécies e variáveis ambientais. 75

CAPÍTULO 3

Tabela 3.1 – Descrição das cavernas estudadas do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, Itacarambi, Minas Gerais, Brasil. Desenvolvimento horizontal das cavernas; entrada; altitude da entrada (m); presença de corpo d'água; zonação e grau de preservação caverna..... 98

Tabela 3.2 – Valores da Distinção taxonômica para as cavernas estudadas no Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, Itacarambi, Minas Gerais. Δ^+ = Distinção taxonômica; N = número de indivíduos. '***' $p < 0,001$, '**' $p < 0,01$, '*' $p < 0,05$ 102

RESUMO

No Brasil diversos trabalhos foram realizados considerando a diversidade geral de organismos subterrâneos de diferentes regiões. O Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, próximo ao município de Itacarambi, estado de Minas Gerais, se destacou a partir de trabalhos realizados com o bagre troglóbio (exclusivo de ambiente subterrâneo) *Trichomycterus itacarambiensis* Trajano e de Pinna (1996), endêmico da Gruta Olhos d' Água. Além do bagre, a caverna abriga outras populações de espécies troglóbias, como o opilião *Iandumoema uai* Pinto-da-Rocha (1996) e o amblipígeo *Charinus eleonora*e Baptista e Giupponi (2003) Ainda, são encontrados populações dos opiliões *Eusarcus cavernicola* Hara e Pinto-da-Rocha (2008) e *Eusarcus aduncus* Mello-Leitão (1942). Considerando as populações das espécies de aracnídeos citadas, investigamos a partir do método de marcação e recaptura aspectos como tamanho, e densidade populacional. Além disso, analisamos a distribuição dos troglóbios (*I. uai* e *C. eleonora*e) em relação aos troglófilos (*E. cavernicola* e *E. aduncus*). Por fim, a partir de coletas realizadas em cavernas do PNCP analisamos a diversidade da fauna subterrânea em relação à Gruta Olhos d' Água. Nossos resultados mostraram que a população do opilião *I. uai* é numericamente superior que as demais, com tamanhos populacionais e densidades maiores. Além disso, *I. uai* está amplamente distribuído nas diferentes regiões da Gruta Olhos d' Água, assim como *C. eleonora*e. Ao contrário, *E. cavernicola* e *E. aduncus* estão restritos dentro da caverna com populações segregadas em relação a *I. uai* e *C. eleonora*e. Ainda, a Gruta Olhos d' Água apresenta maior diversidade subterrânea com ocorrência de espécies troglófilas, troglóbias e relictuais.

Palavras-chave: Peruaçu, estimativa populacional, diversidade subterrânea.

Abstract

ABSTRACT

In Brazil several works were carried out considering a general diversity of underground organisms from different regions. The Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (PNCP), near the municipality of Itacarambi, Minas Gerais states, highlighted by works carried out with the troglobite catfish (exclusive of subterranean environment) *Trichomycterus itacarambiensis* Trajano and Pinna (1996), the end of the Olhos d'Água cave. In addition to catfish, a cave is home to other populations of troglobites, such as the harvestmen *Iandumoema uai* Pinto-da-Rocha (1996) and the whip spider *Charinus eleonora*e Baptista and Giupponi (2003). The populations of the *Eusarcus cavernicola* Hara and Pinto-da-Rocha (2008) and *Eusarcus aduncus* Mello-Leitão (1942). Considering the populations of the mentioned arachnid species, we investigated from the marking and recapture method as size and population density. In addition, we analyzed the distribution of the troglóbios (*I. uai* and *C. eleonora*e) in relation to troglófilos (*E. cavernicola* and *E. aduncus*). Finally, from collections made in caves of the PNCP analyzes a diversity of the subterranean fauna in relation to Olhos d'Água cave. Our results showed that the population of *I. uai* opium is numerically higher than others, with population values and higher densities. In addition, *I. uai* widely distributed in the various regions of the Olhos d'Água cave, as well as *C. eleonora*e. In contrast, *E. cavernicola* and *E. aduncus* are restricted within the cavern with populations secreted relative to *I. uai* and *C. eleonora*e. Still, the Olhos d'Água cave presents greater subterranean diversity with occurrence of troglóphiles, troglóbites and relict specie.

Keywords: Peruaçu, population estimate, subterranean diversity

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil possui parte do seu território total formado por áreas cársticas. Estas regiões são sistemas descontínuos, onde predominam processos de dissolução química de rochas (JUBERTHIE, 2000). Em geral, os processos formadores de cavidades incluem erupções vulcânicas, colapsos influenciados por movimentos que vem de acomodações de rocha, erosões, e principalmente dissolução de rochas carbonáticas, como por exemplo, o dolomito e o calcário (LINO, 2001; PALMER, 2007), formando-se feições características da paisagem cárstica, as quais incluem: dolinas, sumidouros, resurgências, torres, condutos, galerias, entre muitas outras formas de relevo (PALMER, 2007). Ambientes como estes levam entre milhares a milhões de anos para serem formados, e dependem da intensidade e do tempo ao longo do processo (KLIMCHOUCK; FORD, 2000; CULVER; PIPAN, 2009).

O ambiente subterrâneo, ou hipógeo, compreende o conjunto de espaços da subsuperfície preenchido por ar ou água e com aspectos ambientais peculiares. O conjunto de condutos interconectados inclui habitats aquáticos tais como os aquíferos, lençóis freáticos, drenagens de nível de base e, terrestres, tais como cavernas, meio subterrâneo superficial (interface solo-rocha próximo à superfície) e epicarste (sistema heterogêneo de fendas nas camadas superficiais das rochas carstificáveis, nas quais a água escorre por percolamento e é retida por períodos variáveis) (JUBERTHIE, 2000; CULVER; PIPAN, 2009). Todos esses habitats, assim como as cavernas, são passíveis de colonização por organismos e apresentam aspectos ambientais peculiares (CULVER; PIPAN, 2009).

A característica ambiental mais marcante dos habitats subterrâneos é a ausência total e permanente da luz (JUBERTHIE, 2000; CULVER; PIPAN, 2009) e, por consequência, de fotoperíodos (POULSON; WHITE, 1969; HOENEN, 2005; HERVANT et al., 2000). Além disso, geralmente há uma tendência à estabilidade ambiental, com pouca variação de temperatura e umidade quando comparado com o ambiente superficial, ou epígeo, e umidade relativa do ar próximo da saturação (JUBERTHIE, 2000; CULVER; PIPAN, 2009). As cavernas representam um dos habitats subterrâneos, e são definidas como aqueles espaços acessíveis aos humanos, sendo consideradas “janelas” para ambiente hipógeo (JUBERTHIE, 2000). Nestes casos, a zona profunda é a região que recebe o mínimo de influência do ambiente superficial e é, portanto, onde de fato há estabilidade ambiental e ausência total e permanente da luz (POULSON; WHITE, 1969; CULVER; PIPAN, 2009). Além da zona afótica, são reconhecidas a zona de entrada e a zona de penumbra, de acordo com a distância da entrada da caverna (POULSON; WHITE, 1969; JUBERTHIE, 2000). Portanto, padrões de variação de luminosidade, temperatura e umidade tendem a ser defasados em relação à distância da entrada (JUBERTHIE, 2000; CULVER; PIPAN, 2009).

Devido à ausência total e permanente da luz, e consequentemente organismos fotoautotróficos, há tendência à restrição alimentar e dependência energética principalmente de matéria alóctone (LANGECKER, 2000; POULSON; LAVOIE, 2000). Assim, em muitos casos o aporte alimentar ocorre por ação da água que percola através de fissuras na rocha, por rios que trazem detritos vegetais e animais mortos ou ainda pelo guano deixado por morcegos ou outros animais (TRAJANO; BICHUETTE, 2006; CULVER; PIPAN, 2009).

Em função de suas particularidades, a colonização e o estabelecimento de populações nos habitats subterrâneos são restritos aos representantes capazes de

sobreviver nesse meio (BICHUETTE; TRAJANO, 2003). Além disso, as comunidades são compostas por organismos com diferentes estágios de especializações ou adaptações (GIBERT; DEHARVENG, 2002). De acordo com as relações ecológicas e evolutivas a fauna subterrânea é classificada em três categorias. O sistema de classificação clássico proposto por *Schiner* (1854) e modificado por *Racovitza* (1907) tem sido alvo de debates críticos e redefinições como discutido por Trajano e Carvalho (2017). De acordo com essa classificação, espécies restritas ao ambiente subterrâneo são chamadas de troglóbias. Estas por sua vez, podem apresentar modificações associadas ao isolamento neste meio. Tais modificações podem ser morfológicas, como redução dos olhos e pigmentação melânica cutânea (BARR; HOLSINGER, 1985), apêndices alongados e redução na espessura cuticular em artrópodes (POULSON, 1963; BARR; HOLSINGER, 1985). Ainda, foram identificadas modificações fisiológicas, como taxas metabólicas baixas e redução de ritmos biológicos circadianos (POULSON; WHITE, 1969). Os troglóxenos utilizam as cavernas sazonalmente, pois devem sair periodicamente para completar seu ciclo de vida no ambiente epígeo, sendo ausentes durante parte do ano. Portanto, uma distinção definitiva entre troglófilos e troglóxenos depende dos estudos populacionais realizados anualmente (RACOVITZA, 1907; POULSON; WHITE 1969, TRAJANO, 2012; TRAJANO; CARVALHO, 2017). Entretanto, a maior parte dos animais encontrado nesse ambiente é capaz de completar seu ciclo de vida tanto no meio hipógeo quanto no epígeo, são conhecidos como troglófilos (BARR; HOLSINGER, 1985).

Recentemente Trajano (2012) incorporou o modelo de população fonte-sumidouro no sistema de Schiner-Racovitza, redefinindo as três categorias originais. Populações de espécies superficiais com hábitos noturnos e dieta generalista são encontradas frequentemente em cavernas. Algumas destas espécies ao longo do tempo podem estabelecer populações no ambiente hipógeo e epígeo, com indivíduos se

deslocando de um habitat para o outro. Em alguns casos, podem dar origem a espécies diferentes, estabelecendo populações de origem exclusivamente no ambiente hipógeo.

Devido às características restritivas e peculiares dos habitats subterrâneos, aspectos ecológicos das comunidades cavernícolas diferem consideravelmente com relação às superficiais. Por exemplo, teias alimentares truncadas com dois níveis tróficos sobrepostos, formados por detritívoros e predadores, e base formada por decompositores devido à ausência de produtores primários (TRAJANO; COBOLLI, 2012). Além disso, devido à relativa estabilidade ambiental e à fragmentação de habitats subterrâneos um grande número de táxons endêmicos e relictuais é encontrado nesse ambiente (POULSON; WHITE, 1969; GIBERT; DEHARVENG, 2002).

No Brasil, diversos trabalhos foram realizados considerando a diversidade geral de organismos subterrâneos (eg., GNASPINI; TRAJANO, 1994; PINTO-DA-ROCHA, 1995; TRAJANO, 2000; TRAJANO; BICHUETTE, 2010). Algumas áreas cársticas foram intensamente pesquisadas como é o caso do Alto Ribeira, em São Paulo Paraná, além de várias áreas cársticas nos estados de Minas Gerais (por exemplo, Peruaçu / Itacarambi, Cordisburgo), Bahia (por exemplo, Serra do Ramalho, Chapada Diamantina), Mato Grosso do Sul (Serra da Bodoquena e Bonito) e Goiás (especialmente São Domingos). Em muitas localidades, trabalhos ecológicos com populações troglóbias analisaram aspectos da dinâmica populacional em vertebrados e invertebrados, por exemplo, com o bagre *Trichomycterus itacarambiensis* Trajano e de Pinna (1996) (TRAJANO, 1997) endêmicas da Gruta Olhos d' Água, Minas Gerais, e com o opilião *Pachylospeleus strinatii* Silhavy (1974) (PINTO-DA-ROCHA, 1996) no sistema de cavernas Areias, São Paulo (PINTO-DA-ROCHA, 1996; TRAJANO, 1997).

Devido ao alto grau de fragmentação e a tendência à escassez de recursos alimentares, as comunidades e populações subterrâneas são caracteristicamente distintas com relação aquelas do meio epígeo (CULVER; PIPAN, 2009). Para populações

troglóbias estas diferenças estão relacionadas principalmente a baixos tamanhos e densidades populacionais, devido também à restrição espacial como observado para *P. strinatii* (Pinto-da-Rocha, 1996) e para *T. itacarambiensis* (TRAJANO, 1997).

Além da ocorrência de *T. itacarambiensis*, a Gruta Olhos d' Água abriga outras populações de espécies troglóbias, como o opilião *Iandumoema uai* Pinto-da-Rocha (1996) e o amblipígeo *Charinus eleonora* Baptista e Giupponi (2003). Além das populações troglóbias, na caverna ocorrem populações das espécies troglófilas *Eusarcus cavernicola* Hara e Pinto-da-Rocha (2008) e *Eusarcus aduncus* Mello-Leitão (1942). Entretanto, não há estudos ou qualquer informação em relação à fauna subterrânea das cavidades da região onde se localiza a Gruta Olhos d' Água.

De acordo com o conhecimento sobre a peculiaridade e fragilidade das populações troglóbias, estudos que busquem entender a estrutura espacial e que levem em conta aspectos como a distribuição, dispersão e densidade, são necessários, para respaldar propostas para a efetiva proteção destes habitats e sua diversidade. Assim sendo, as seguintes perguntas foram consideradas no presente trabalho: 1) Populações de espécies troglóbias possuem tamanhos e densidades populacionais reduzidas comparadas com populações troglófilas? 2) A distribuição das populações de troglóbios e troglófilos são distintas na Gruta Olhos d' Água? Ainda, tendo em vista a ocorrência de populações de espécies troglóbias e a falta de conhecimento da fauna subterrânea da região consideramos o seguinte questionamento: 3) A Gruta Olhos d' Água apresenta maior diversidade em comparação com outras cavernas da região?

A Tese foi dividida em três capítulos, os dois primeiros tratam da ecologia populacional e o último analisa a diversidade da fauna. O capítulo 1 apresenta um estudo baseado na estimativa do tamanho populacional e possui o seguinte título: “Estimativa e modelos populacionais para aracnídeos (Arachnida: Amblypygi, Opiliones) troglóbios e troglófilos da Gruta Olhos d' Água, norte de Minas Gerais”. O

capítulo 2 tem como tema a distribuição espacial de populações troglóbias e troglógenas e apresenta o título “Estabilidade ambiental e compartilhamento de espaço: o caso das populações de aracnídeos troglófilos e troglóbios da Gruta Olhos d’ Água, norte de Minas Gerais”. Por fim o capítulo 3, que apresenta o título “Diversidade da fauna subterrânea do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, município de Itacarambi, norte de Minas Gerais”, analisa a diversidade geral da fauna subterrânea considerando diferentes cavidades na região do Peruaçu.

ÁREA DE ESTUDO

Criado em 1999 como Unidade de Conservação (UC) Federal, o Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (PNCP) possui uma área total de aproximadamente 56.800 ha. O Vale do Peruaçu, onde está localizado o PNCP, encontra-se em uma região de transição entre os domínios morfoclimáticos do Cerrado e da Caatinga (AB’SABER, 1977) (Figura 1a). O clima da região do Peruaçu, segundo Köppen-Geiger, é classificado como tropical úmido e inverno seco (PEEL et al., 2007), sendo o inverno seco entre Maio e Outubro, e o verão chuvoso entre Novembro e Abril. A temperatura anual média é de 24° C e a precipitação de 800 mm (INMET, 2010).

A Gruta Olhos d’ Água está inserida nos limites do PNCP, norte do estado de Minas Gerais, entre os municípios de Itacarambi, Januária e São João das Missões. Na região predominam rochas carbonáticas do Grupo Bambuí (Figura 1b), mais especificamente calcários e dolomitos laminados da Formação Januária/Itacarambi (PILÓ; KOHLER, 1991). Dentro dos limites do PNCP o rio Peruaçu percorre um vale de cerca de 17 Km formado por grandes paredões, condutos e dolinas, formando o cânion do rio Peruaçu, tributário esquerdo do Alto Médio rio São Francisco (PILÓ; KOHLER, 1991).

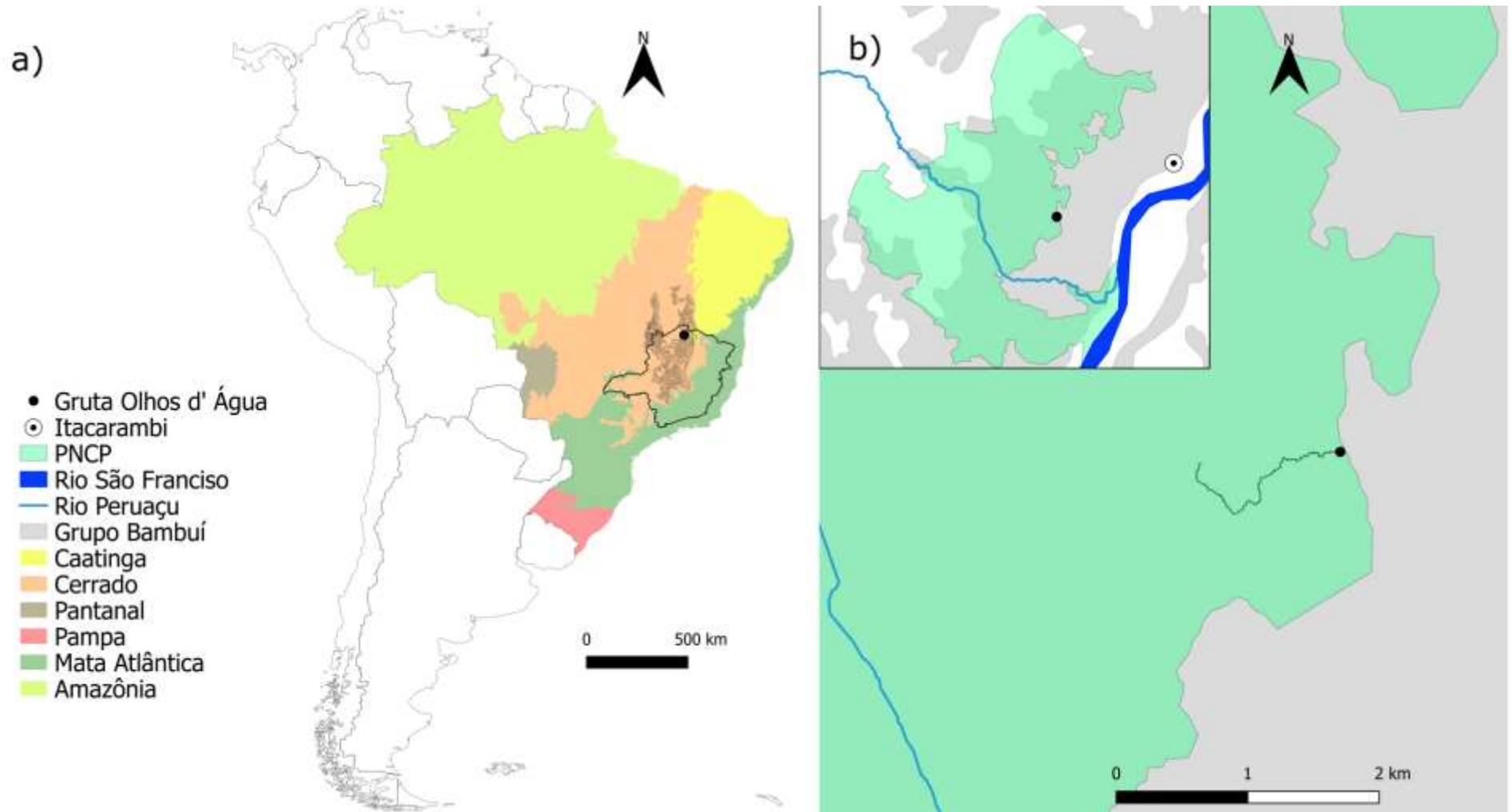


Figure 1 – Localização do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (PNCP). a) Localização em relação às fitofisionomias, b) Localização e desenvolvimento horizontal da Gruta Olhos d' Água no PNCP, município de Itacarambi, Minas Gerais.

A caverna consiste em um longo e sinuoso conduto principal com aproximadamente 9.100 m de desenvolvimento horizontal e desnível total de 126 m (Figura 2). Apesar de a região possuir baixas taxas de precipitação anual, a circulação hídrica no interior da caverna é perene. Na maior parte do ano o nível de água se mantém constante, em geral 1 m, entretanto, nos períodos chuvosos, pode subir drasticamente, causando inundações de grandes proporções. A entrada principal é uma ressurgência e situa-se em uma altitude de 500 m. Internamente, ao longo do conduto, ocorrem trechos com grandes salões (Figura 2a, 2c e 2g), além de extensos condutos com teto baixo, os quais se iniciam cerca de 900 m à montante da ressurgência (Figura 2b e 2d). O substrato é predominantemente arenoso e siltoso com grande quantidade de matéria orgânica de origem vegetal acumuladas em bancos de sedimento do rio, além de seixos e cascalhos que são trazidos do ambiente superficial pela corrente de água durante as enchentes. Os trechos de teto baixo são caracteristicamente locais em que as paredes e tetos são lisos, com ocorrência de poucas fendas e tocas (Figura 2b e 2d).

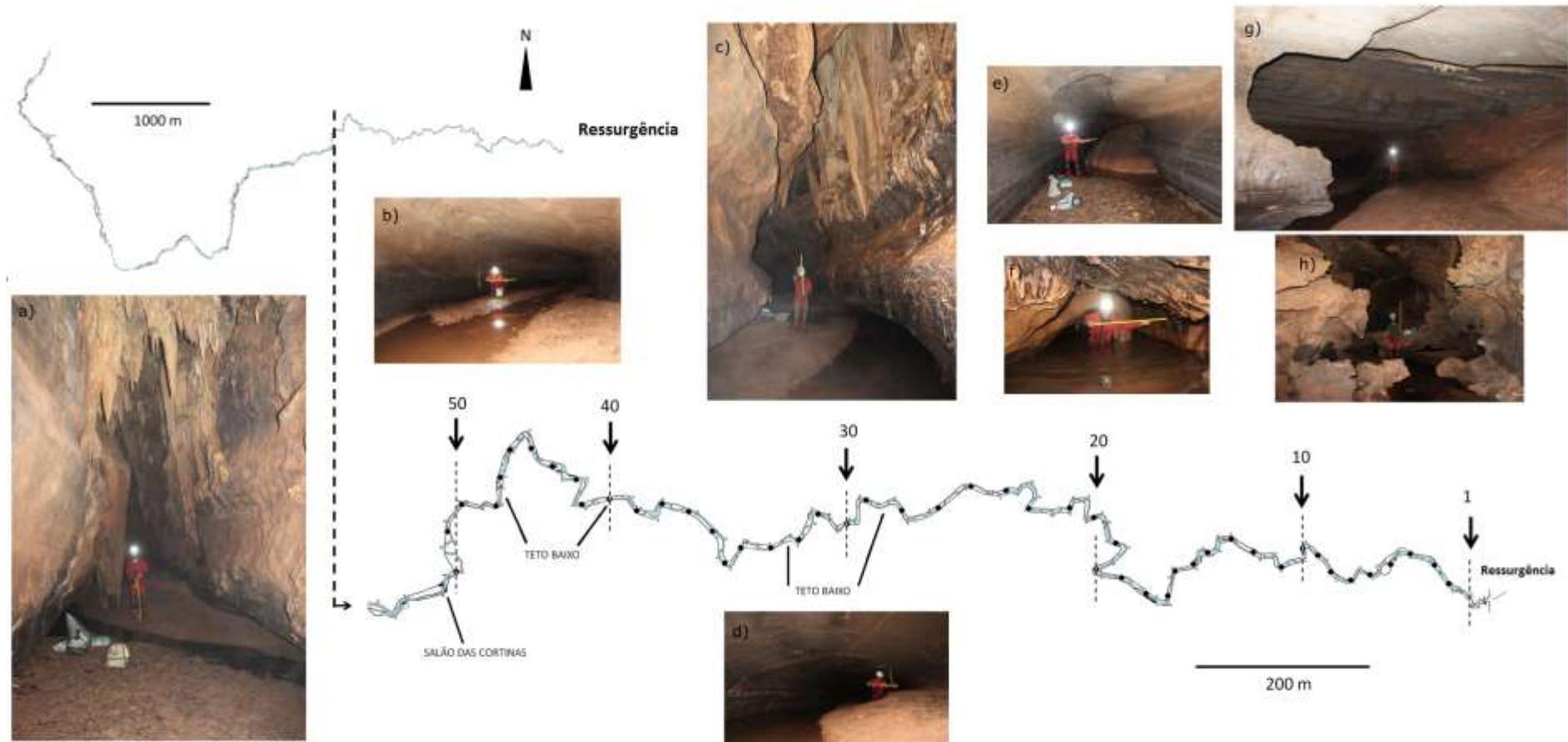


Figura 2 – Mapa em planta baixa da Gruta Olhos d' Água mostrando seu desenvolvimento horizontal (modificado de Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas/GBPE). Em destaque o trecho estudado (1.500 m) com a marcação das bases (●). a) Teto alto base 50 (1.500 m à montante da entrada); b) teto baixo base 42; c) teto alto base 47; d) teto baixo base 30; e) base 18, antes da constrição ($\cong 0,4$ m de largura x 0,9m de altura); f) constrição da base 14 ($\cong 450$ m á partir da entrada); g) salão próximo à base 5 ($\cong 150$ m à partir da entrada); h) base 1. Fotografias: Bolfarini, M.P.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. **Os domínios morfoclimáticos na América do Sul**. Primeira aproximação. São Paulo, Geomorfologia, 1977. 52, 1–21.
- BARR, T. C. & HOLSINGER, J. R. **Speciation in cave faunas**. Annual Review of Ecology and Systematics, 1985. 16, 313-337.
- BICHUETTE, M. E. **Distribuição e biologia de gastrópodes de água doce, gênero Potamolithus, no Vale do Alto Ribeira, São Paulo (Mollusca: Gastropoda: Hydrobiidae)**, 1998. Tese (Doutorado em Zoologia) - Instituto de Biociências, Departamento de Zoologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- BICHUETTE, M. E. & TRAJANO, E. (2003) Epigeal and subterranean ichthyofauna from the São Domingos karst area, Upper Tocantins River basin, Central Brazil. **Journal of Fish Biology**. v. 63, p. 1100-1121. 2003.
- CULVER, D. C. & PIPAN, T. **The biology of caves and other subterranean habitats**. OUP Oxford, 2009.
- GIBERT, J. & DEHARVENG, L. Subterranean Ecosystems: A Truncated Functional Biodiversity. **BioScience**, v. 52, n. 6, p. 473-481, 2002.
- GNASPINI, P. Population ecology of *Goniosoma spelaum*, a cavernicolous harvestman from south-eastern Brazil (Arachnida: Opiliones: Gonyleptidae). **Journal of Zoology**. v. 239, p. 417-435, 1996.
- HERVANT, F.; MATHIEU, J.; DURAND, J.P. Metabolism and circadian rhythms of the European blind cave salamander *Proteus anguinus* and a facultative cave dweller, the Pyrenean newt (*Euproctus asper*). **Canadian Journal of Zoology**, v. 78, p. 1427–1432, 2000.
- HOENEN, S. Circadian patterns in the activity of the Brazilian cave cricket *Strinatia brevipennis* (Ensifera Phalangopsidae). **European Journal of Entomology**, v. 102, p. 663–668, 2005.
- JUBERTHIE, C. The diversity of the karstic and pseudokarstic hypogean habitats in the world. In: WILKENS, H.; CULVER, D.C.; HUMPHREYS, W. F. **Ecosystems of the World**. Subterranean Ecosystems. Amsterdam, 2000, p. 17-39.
- LANGECKER, T. G. The effects of continuous darkness on cave ecology and cavernicolous evolution. In: WILKENS, H.; CULVER, D.C.; HUMPHREYS, W. F. **Ecosystems of the World**. Subterranean Ecosystems. Amsterdam, 2000, p. 135-158.
- LINO, C.F. **Cavernas: O Fascinante Brasil Subterrâneo**. Editora Gaia, 2001, São Paulo. 288.
- MAMMOLA, S.; PIANO E.; GIACHINO, P.M.; ISAIA, M. **Seasonal dynamics and micro-climatic preference of two Alpine endemic hypogean beetles**. International Journal of Speleology. v. 44, p. 239–249, 2015.

- MESTRE, L. A. M., & PINTO-DA-ROCHA, R. **Population dynamics of an isolated population of the harvestman *Ilhaia cuspidata* (Opiliones, Gonyleptidae), in araucaria forest (Curitiba, Parana, Brazil).** Journal of Arachnology, v. 32, p. 208-220, 2004.
- PALMER, A. N. **Cave geology.** Dayton: Cave books. p. 454, 2007.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; & MCMAHON T. A. **Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification.** Hydrology & Earth System Sciences Discussions, v. 42, p. 439-473, 2007.
- POULSON, T. L. & WHITE W. B. **The cave environment.** Science, Washington/Cambridge, v. 3897, p. 971-980, 1969.
- POULSON, T. L. & LAVOIE, K. **The trophic basis of subsurface ecosystems,** 2000.
- RACOVITZA, E.G. **Essai sur les problèmes biospéologiques.** Archives de Zoologie Expérimentale et Générale, v. 6, p. 371-488, 1907.
- RAMIN, A. Z. Deslocamento ao longo da noite e outros aspectos da biologia do opilião *Serracutisoma pseudovarium* no Parque Estadual Intervales, São Paulo, Brasil. 2014. Tese (Doutorado em Zoologia) Universidade de São Paulo.
- SANTOS, F. H. S. (1998) Estudo da atividade locomotora do opilião cavernícola *Goniosoma spelaum* (Arachnida, Opiliones, Gonyleptidae). 1998. Dissertação (Mestrado em Zoologia) Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo.
- SCHINER, J. R. (1854) “Fauna der Adelsberger, Luegger, and Magdalenen Grotte.”. In Die Grotten und Höhlen von Adelsberg, Lueg, Planina und Laas, Edited by: Schmidl, A. 231–272.
- TOBIN, B. W.; HUTCHINS, B. T.; SCHWARTZ, B. F. Spatial and temporal changes in invertebrate assemblage structure from the entrance to deep-cave zone of a temperate marble cave. **International Journal of Speleology**, v. 42, p. 4, 2013.
- TRAJANO, E. Population ecology of *Trichomycterus itacarambiensis*, a cave catfish from eastern Brazil Siluriformes, Trichomycteridae. **Environmental Biology of Fishes**, v. 504, p. 357-369, 1997.
- TRAJANO, E. Ecological classification of subterranean organisms. In: CULVER D.C. & WHITE W.B. Eds. **The encyclopedia of caves**, San Diego, Academic, p. 275-277, 2012.
- TRAJANO, E. & BICHUETTE, M. E. **Biologia subterrânea: Introdução.** São Paulo: Redespeleo, 2006, p. 92.
- TRAJANO, E. & BICHUETTE, M. E. **Diversity of Brazilian subterranean invertebrates, with a list of troglomorphic taxa.** Subterranean Biology, v. 7, p. 1-16, 2010.
- TRAJANO, E. & COBOLLI, M. (2012) Evolution of lineages. In: WHITE, W.B. & CULVER, D.C. **Encyclopedia of Caves.** Amsterdam: Elsevier Academic, 2012, p. 230–234.

TRAJANO, E. & DE CARVALHO, M. R. Towards a biologically meaningful classification of subterranean organisms: a critical analysis of the Schiner-Racovitza system from a historical perspective, difficulties of its application and implications for conservation. **Subterranean Biology**, v. 22, p. 1, 2017.

CAPÍTULO 1

Estimativa e modelos populacionais para aracnídeos (Arachnida:
Amblypygi, Opiliones) troglóbios e troglófilos da Gruta Olhos d' Água,
norte de Minas Gerais

RESUMO

O ambiente subterrâneo é formado pelo conjunto interconectado de espaços da subsuperfície, dos quais fazem parte as cavernas. Populações com ocorrência exclusiva nesse ambiente possuem, em geral, baixas densidades e tamanhos populacionais reduzidos. Neste trabalho investigamos a dinâmica populacional dos aracnídeos troglóbios *Iandumoema uai* (Opiliones) e *Charinus eleonora* (Amblypygi), e dos troglófilos *Eusarcus cavernicola* e *Eusarcus aduncus* (ambos Opiliones) da Gruta Olhos d' Água, norte de Minas Gerais. Verificamos a dinâmica e a variação populacional desses aracnídeos ao longo de dois anos: 2014 (Junho, Agosto e Outubro) e 2015 (Junho, Setembro e Outubro), quando capturamos, marcamos e medimos indivíduos das populações. A partir do estimador para populações abertas Jolly-Seber (formulação POPAN), estimamos as densidades e tamanhos populacionais (incluindo modelos). Nossos resultados mostraram tamanhos e densidades populacionais elevados ($N_t=4.164$, $1,11$ indivíduos.m⁻²) para *I. uai*, comparando-se a outros opiliões estudados, *E. cavernicola* ($N_t=349$, $0,09$ indivíduos.m⁻²) e *E. aduncus* ($N_t=311$, $0,08$ indivíduos.m⁻²). Para a população do amblipígeio *C. eleonrae* esses valores foram baixos ($N_t=148$, $0,03$ indivíduos.m⁻²) comparando-se com os opiliões. Os melhores modelos ajustados, segundo o critério de correlação de Akaike, para as probabilidades de sobrevivência (Φ), captura (p) e entrada de novos indivíduos ($pent$) foram com relação ao tempo e sexo ($(\Phi(\sim t * sex)p(\sim t * sex)pent(\sim t * sex)N(\sim 1))$) para o opilião *I. uai* e com relação ao tempo ($(\Phi(\sim t)p(\sim t)pent(\sim t)N(\sim 1))$) para *C. eleonrae*. Além disso, apesar de estarem em ambiente relativamente estável, com pouca variação de temperatura e umidade próxima à saturação, todas as populações apresentaram variadas taxas de sobrevivência e estimativas ao longo do período de estudo.

Palavras-chave: Peruaçu, dinâmica populacional, ambiente subterrâneo, troglóbios, POPAN, Jolly-Seber.

ABSTRACT

The subterranean environment is formed by the interconnected set of subsurface spaces, the points are part as caves. Populations with unique occurrence in this environment generally have low densities and reduced population sizes. In this work we investigate the population dynamics of the troglobites *Iandumoema uai* (Opiliones) and *Charinus eleonora* (Amblypygi), and the trogliphiles *Eusarcus cavernicola* and *Eusarcus aduncus* (both Opiliones) of the Gruta Olhos d 'Água cave, northern Minas Gerais States. We verified the population dynamics and variation of these arachnids over two years: 2014 (June, August and October) and 2015 (June, September and October), when we capture, mark and measure individuals from the populations. From the estimator for open populations Jolly-Seber (POPAN formulation), we estimate population densities and sizes (including models). Our results showed high population sizes and densities ($N_t = 4.164$, 1.11 individuals.m⁻²) for *I. uai*, compared to other studies, *E. cavernicola* ($N_t = 349$, 0.09 individuals.m⁻²) and *E. aduncus* ($N_t = 311$, 0.08 individuals.m⁻²). For the population of the *C. eleonora*, these values were low ($N_t = 148$, 0.03 individuals.m⁻²) compared to the harvestman. The best models adjusted according to the Akaike correlation criterion for the probabilities of survival (Φ), catch (p) and entry of new individuals ($pent$) were with respect to time and sex ($\Phi (\sim t * sex) p (\sim t * sex) pent (\sim t * sex) N (\sim I)$) for *I. uai* and with respect to time ($(\Phi(\sim t)p(\sim t)pent(\sim t)N(\sim I))$) *C. eleonora*. In addition, despite being in a relatively stable environment, with little variation in temperature and humidity close to saturation, all populations presented varying survival rates and estimates throughout the study period.

Keywords: Peruaçu, population dynamics, subterranean environment, troglobites, POPAN, Jolly-Seber.

1.1 INTRODUÇÃO

Os aracnídeos formam um grupo animal diversificado, ocorrendo todos os habitats terrestres, com alguns poucos representantes marinhos e de água doce (HARVEY, 2003). Em geral, possuem hábitos criptobióticos e são frequentemente encontrados no ambiente subterrâneo (HARVEY, 2003; TRAJANO; BICHUETTE, 2010).

A Ordem Opiliones é a terceira mais diversa da Classe Arachnida, com 6.626 espécies (KURY, 2017) divididas em quatro subordens. Dentre estas, a subordem Laniatores destaca-se pela riqueza (GIRIBET; KURY, 2007). No Brasil é representada principalmente pelas famílias Cosmetidae Koch (1839) e Gonyleptidae Sundevall (1833), com aproximadamente 710 e 820 espécies descritas, respectivamente (KURY, 2003). Além de ser a família com maior riqueza, Gonyleptidae apresenta maior número de espécies ocorrendo em ambientes subterrâneos (TRAJANO; BICHUETTE, 2010; PINTO-DA-ROCHA et al., 2015). Atualmente, são conhecidas e descritas treze espécies de opiliões exclusivas de ambientes subterrâneos (troglóbios), pertencentes a três famílias: Gonyleptidae (*Pachylospeleus strinatii* Šilhavý (1974), *Iandumoema uai* Pinto-da-rocha (1996), *Giupponia chagasi* Kury e Pérez-González (2002), *Discocyrtus pedrosoi* Kury (2008), *Eusarcus elinae* Kury (2008), *Spinopilar moria* Kury e Pérez-González (2008), *Iandumoema setimapocu*, Hara e Pinto-da-Rocha (2008), *Iandumoema smeagol* Pinto-da-Rocha; Fonseca-Ferreira e Bichuette (2015), duas do gênero *Eusarcus* Perty (1833) e duas espécies de Pachylinae ainda não descritas), uma espécie da família Escadabiidae Kury e Pérez-González (2003) (*Spaeleolepts spaeleus* Soares 1966) (HARA; PINTO-DA-ROCHA, 2008) e uma nova espécie da família Kimulidae (PÉREZ-GONZÁLEZ et al., 2016).

Opiliões são comumente encontrados em uma grande variedade de habitats, por exemplo, no solo, na serapilheira, sob rochas e detritos, em superfícies verticais de troncos de árvores e paredes rochosas e sobre vegetação alta (CURTIS; MACHADO, 2007). São amplamente distribuídos, ocorrendo em todos os continentes, exceto Antártica, sendo que as comunidades mais diversas são encontradas em regiões tropicais, onde fatores abióticos como temperatura e umidade são menos restritivos em relação a ocorrência de muitas espécies (CURTIS; MACHADO, 2007). Ao contrário dos escorpiões e muitas aranhas, os opiliões são muito suscetíveis à desidratação, sendo que a necessidade de habitats úmidos é provavelmente um fator ecológico que limita a ocorrência da maioria das espécies da ordem em zonas desérticas (TODD, 1949; EDGAR, 1971). As comunidades mais diversas ocorrem em regiões tropicais, como a floresta Atlântica costeira do Brasil (PINTO-DA-ROCHA, et al., 2005). Por exemplo, para o gênero *Eusarcus*, 17 das 34 espécies conhecidas ocorrem na Floresta Atlântica Costeira (HARA; PINTO-DA-ROCHA, 2010). Outras espécies do gênero ocorrem em áreas mais secas, como a Floresta Semi-Decídua do Atlântico e mesmo na Savana brasileira (cerrado) e/ou pampas. Nessas regiões mais secas, os opiliões geralmente estão associados a manchas de floresta, e locais úmidos, indicando que *Eusarcus* pode ser mais tolerante às variações de umidade (PINTO-DA-ROCHA et al., 2005).

Algumas espécies, principalmente da subordem Eupinoi, podem estar amplamente distribuídas ocorrendo em diversos continentes, como no caso do opilião *Mitopus morio* encontrado no norte da África, Europa, Ásia ao norte do Himalaia e Canadá e com ampla ocupação de habitat, variando de florestas a tundra e de nível do mar para locais montanhosos de alta altitude (TCHEMERIS, 2000). Ao contrário, muitas espécies da subordem Laniatores apresentam distribuições e uso de habitats limitados. Esse é o caso dos opiliões encontrados em ambientes subterrâneos como por

exemplo os troglóbios (exclusivo de ambientes subterrâneos) do gênero *Iandumoema* Pinto-da-Rocha (1996) com populações de espécies estritamente subterrâneas (troglóbio) e *P. strinatii*, os troglófilos (populações de espécies que podem completar seus ciclos de vida dentro de cavernas e no ambiente epígeo) *D. inermis*, *E. cavernicola* e *E. aduncus* e o trogloxeno (organismos que utilizam as cavernas, mas completam seu ciclo de vida no ambiente epígeo) *S. spelaeum*.

Opiliões podem apresentar modificações associadas ao isolamento no ambiente subterrâneo. Modificações como redução ou mesmo a perda completa dos olhos (por exemplo, JUBERTHIE, 1964; PINTO-DA-ROCHA, 1996a; HARA; PINTO-DA-ROCHA, 2008; PINTO-DA-ROCHA et al., 2015). Ausência parcial ou total de pigmentação tegumentar aumento do comprimento das pernas, e esclerotização fraca da cutícula (GOODNIGHT; GOODNIGHT, 1960; PINTO-DA-ROCHA, 1996a; HARA; PINTO-DA-ROCHA, 2008; PINTO-DA-ROCHA et al., 2015). Além disso, provavelmente são menos tolerantes às mudanças nas condições ambientais do que espécies relacionadas epígeas (CURTIS; MACHADO, 2007).

Opiliões possuem hábitos criptobóticos, são noturnos, fotofóbicos e onívoros (CODDINGTON et al., 1990; SAVORY, 1938). Nas cavernas, são encontrados perto ou em associação com depósitos ou manchas de matéria orgânica, debaixo de blocos e pedras, nas paredes e no teto, exibindo comportamento solitário ou gregário (REDDELL, 2012). Com relação a dieta, uma variedade de possíveis itens alimentares foi considerado para algumas espécies de opiliões encontrados em cavernas brasileiras. Dentre os itens estão: fragmentos de perna de ortóptera, uma larva (viva), restos de insetos, sacos de ovo de aranha (Theridiosomatidae) e hirudineano morto no caso do opilião *Acutisoma longipes* (SABINO; GNASPINI, 1999; MACHADO et al., 2000). Para *S. spelaeum* larvas de lepidópteras e adultos, neuropteras, diptera (Tipulídeos) e

isópodas (GNASPINI, 1996; SANTOS; GNASPINI, 2002). No caso do opilião *P. strinatii* os itens alimentares considerados incluem larvas de besouros, diplópodo morto, guano, fungos, e detritos vegetais (PINTO-DA-ROCHA, 1996a).

Outra ordem de aracnídeos amplamente distribuída pelo mundo, com aproximadamente 170 espécies, é Amblypygi. A maior diversidade ocorre em regiões neotropicais, com aproximadamente 100 espécies descritas, distribuídas nas famílias Phrynidae, Phrynicidae e Charinidae (HARVEY, 2003).

Ambliquídeos são encontrados em regiões tropicais e subtropicais em todos os continentes com distribuições geralmente limitadas a latitudes onde as temperaturas de congelamento são raras (CHAPIN, 2015). Dentro desta zona climática de ocorrência, os ambliquídeos habitam uma variedade de tipos de ecossistemas, desde florestas úmidas tropicais até desertos xéricos, cavernas e ambientes insulares (CHAPIN, 2015).

É comum nas espécies desse grupo a ocupação e defesa de pequenas áreas em torno de microhabitats específicos. Os refúgios geralmente seguem uma forma adequada para acomodar o corpo achatado dorso-ventralmente, como em rachaduras e fendas nas paredes das cavernas (CHAPIN, 2015) ou em troncos de árvores (HEBETS, 2002; DIAS; CARVALHO, et al., 2012; CHAPIN, 2014), sob detritos e rochas (FOWLER-FINN; HEBETS, 2006) ou até mesmo mesmo em cupinzeiros abandonados (CARVALHO et al., 2011). Os custos e os benefícios das preferências de microhabitats específicos não são bem compreendidos, mas estão relacionados aos recursos alimentares disponíveis, a defesa contra predadores e a possibilidade de acesso a parceiros para reprodução (HEBETS, 2002).

A família Charinidae é a mais diversa e inclui o gênero *Charinus* Simon (1982), (HARVEY, 2003). No Brasil, há 21 espécies de *Charinus* (VASCONCELOS; FERREIRA, 2016; GIUPPONI; MIRANDA, 2016), das quais cinco são consideradas

exclusivas de ambientes subterrâneos (troglóbios): *C. troglobius* Baptista e Giupponi, (2002), *C. eleonora*e Baptista e Giupponi, (2003), *C. caatingae* Vasconcelos e Ferreira, (2016), *C. ferreus* Giupponi e Miranda (2016) e *C. taboa* Vasconcelos; Giupponi e Ferreira (2016).

A capacidade de organismos, principalmente terrestres, colonizarem o ambiente subterrâneo está relacionada à presença de estados de caracteres que conferem vantagem em um novo regime seletivo, mas que foram selecionados independentemente e previamente em outro ambiente (TRAJANO; COBOLLI, 2012).

Organismos com hábitos noturnos e alimentação generalista em habitats superficiais estão entre as espécies mais propensas a colonizar cavernas, uma vez que podem naturalmente estender a sua distribuição para o ambiente subterrâneo (TRAJANO; COBOLLI, 2012). Assim, organismos encontrados no ambiente subterrâneo são classificados em três categorias segundo *Schiner-Racovitza* (1907). Aqueles com populações estabelecidas no ambiente hipógeo ou subterrâneo e no ambiente epígeo ou superficial, com indivíduos transitando entre as populações, são chamados de troglófilos. Há ainda espécies que possuem populações que habitam o ambiente hipógeo, mas que precisam sair para a superfície para completar seu ciclo de vida, os troglógenos. Ao contrário, as espécies classificadas como troglóbios são exclusivas e dependentes do meio e dos recursos disponíveis, não ocorrendo populações epígeas (RACOVITZA, 1907; BARR, 1968; POULSON; WHITE, 1969).

Estudos populacionais com aracnídeos subterrâneos são escassos. No Brasil, predominam trabalhos com opiliões da família Gonyleptidae em cavernas calcárias dos estados de São Paulo, Paraná e Minas Gerais (RAMIN, 2014). Opiliões das espécies *Daguerreia inermis* Soares e Soares (1947) (PINTO-DA-ROCHA, 1996a), *Pachylospeleus strinatii* Šilhavý (1974) (PINTO-DA-ROCHA, 1996b), *Serracutisoma*

spelaeum Mello-Leitão (1933) (GNASPINI, 1996), *Acutisoma longipes* Roewer (1913) (MACHADO et al., 2000), *Mitogoniella taquara* Mello-Leitão (1922) (MACHADO et al., 2003) e *Heteromitobates albiscriptus* Mello-Leitão (1932) (WILLEMART; GNASPINI, 2004) tiveram suas populações estimadas. Para todos esses exemplos, as estimativas foram muito próximas, variando de algumas dezenas a algumas centenas (PINTO-DA-ROCHA, 1996a, MESTRE; PINTO-DA-ROCHA, 2004). Em alguns casos, as densidades populacionais foram consideradas altas, como para o opilião troglófilo *Daguerreia inermis* (PINTO-DA-ROCHA, 1996a), e as distribuições consideradas agregadas, como para o troglóbio *Pachylospeleus strinatii* (PINTO-DA-ROCHA, 1996b) e para o troglóbio *Serracutisoma spelaeum* (GNASPINI, 1996).

Alguns desses trabalhos estimaram o tamanho populacional principalmente a partir de estimadores para populações fechadas, como Fisher-Ford (*Daguerreia inermis* e *Serracutisoma spelaeum*) (PINTO-DA-ROCHA, 1996a; GNASPINI, 1996) e Lincol-Petersen (*Pachylospeleus strinatii*) (PINTO-DA-ROCHA, 1996b), que não consideram a entrada (nascimento e imigração) e saída (morte e emigração) de indivíduos em trabalhos de marcação e recaptura. Em todos os casos, o tamanho populacional estimado para opiliões variou ao longo dos períodos de estudo e a razão sexual de machos e fêmeas foi de 1:1 (GNASPINI, 1996; PINTO-DA-ROCHA, 1996a; PINTO-DA-ROCHA, 1996b; MACHADO et al., 2003; MESTRE; PINTO-DA-ROCHA, 2004).

Estimadores para populações fechadas são amplamente utilizados por serem menos restritivos em seus pressupostos (AMSTRUP et al., 2005). Em geral, são necessárias poucas ocasiões, apenas duas para o estimador Lincol-Petersen (PETERSEN, 1896; LINCOLN, 1930). Este e outros estimadores clássicos para populações fechadas utilizam as proporções entre valores conhecidos e desconhecidos para estimar o tamanho populacional (OTIS et al., 1978, AMSTRUP et al., 2005).

Entretanto, metodologias com períodos maiores de amostragens frequentemente são analisados utilizando estimadores para populações abertas, como nos trabalhos com o escorpião *Mesobuthus gibbosus* Brullé (1832) (KALTSAS; MYLONAS, 2016), com as aranhas troglógenas *Ctenus fasciatus* Mello-Leitão (1943) e *Enoploctenus cyclothorax* Bertkau (1880) em cavernas do Alto Ribeira, estado de São Paulo (PELLEGATTI-FRANCO, 2004) e com a aranha troglófila *Trechona diamantina* Guadanucci; Fonseca-Ferreira; Baptista e Pedroso (2016) com ocorrência na Caverna Monte Cristo, estado de Minas Gerais (GUADANUCCI et al., 2015). Ainda, o estimador Jolly-Seber também foi utilizado em populações troglóbias do bagre *Trichomycterus itacarambiensis* Trajano e Pinna (1996) na Gruta Olhos d' Água, Minas Gerais (TRAJANO, 1997a, TRAJANO, 1997b), por exemplo, além da salamandra *Eurycea spelaea* (FENÓLIO et al., 2014). O uso de estimadores para populações abertas, como por exemplo, o Jolly-Seber, é vantajoso, pois estimam, além do tamanho populacional, a probabilidade de sobrevivência (JOLLY, 1965; SEBER, 1965, LAAKE; REXSTAD, 2008; LAAKE et al., 2016).

Considerando as populações das espécies *Iandumoema uai*, *Charinus eleonorae*, *Eusarcus cavernicola* e *Eusarcus aduncus* da Gruta Olhos d' Água, norte de Minas Gerais, levantamos as seguintes questões em relação a dinâmica e tamanhos populacionais: 1) As populações de aracnídeos troglóbios da Gruta Olhos d' Água, possuem baixas abundâncias e tamanhos populacionais? 2) Os tamanhos populacionais, a sobrevivência e a probabilidade de captura do opilião troglóbio *I. uai* e para os opiliões troglófilos *E. cavernicola* e *E. aduncus* variam em relação ao tempo e ao sexo? 3) A proporção sexual varia entre as populações? e 4) O tamanho populacional do amblígeo troglóbio *C. eleonorae* varia com relação ao tempo?

1.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está descrita na página 6.

Espécies estudadas

Neste trabalho analisamos populações de quatro espécies da Gruta Olhos d'Água, norte de Minas Gerais. Duas destas são classificadas como troglóbios, o opilião *I. uai* (Figura 3a) e o amblipígeo *C. eleonora* (Figura 3b). Estas duas espécies eram conhecidas somente da localidade-tipo, entretanto, a distribuição foi ampliada para outra cavidade, Lapa do Cipó, também nos limites do PNCP (MONTE et al., 2015). Para espécies da família Gonyleptidae (Opiliones) o dimorfismo sexual é evidente, os machos geralmente apresentam o quarto par de pernas forte, com vários tubérculos e espinhos na coxa, trocânter e fêmur (WILLEMART et al., 2009). Para espécies do gênero *Iandumoema* os machos são reconhecidos pela presença de uma grande apófise prolatral basal (PINTO-DA-ROCHA, 1996; HARA; PINTO-DA-ROCHA, 2008; PINTO-DA-ROCHA et al., 2015). No caso do amblipígeo *C. eleonora* não foi possível a identificação do sexo devido à ausência de dimorfismo aparente (BAPTISTA; GIUPPONI, 2003).

Além das populações troglóbias, estudamos duas populações de opiliões troglófilos. As espécies *E. cavernicola* (Figura 3c) e *E. aduncus* (Figura 3d) apresentam ampla distribuição no Brasil. A primeira sendo encontrada dentro de cavernas nos estados de Minas Gerais, Goiás e Bahia e a segunda com ocorrência dentro e fora de cavernas em cinco estados brasileiros (HARA; PINTO-DA-ROCHA, 2010). Espécies do gênero *Eusarcus* possuem dimorfismo entre machos, com pelo menos duas formas morfológicamente distintas (SILVA; KURY, 2007): os machos maiores (machos alfa) são de fácil identificação, mas, a existência de machos menores próximos ao tamanho

das fêmeas (HARA; PINTO-DA-ROCHA, 2010), dificultam a definição do sexo. As principais diferenças morfológicas estão no espinho e apófise da perna IV. Nos machos alfa o corpo é maior e estas estruturas mais desenvolvidas e nos machos beta o corpo é menor e o espinho e a apófise da perna IV menos desenvolvidas, sendo morfológicamente semelhante as fêmeas (HARA; PINTO-DA-ROCHA, 2010).

Captura e marcação

Utilizamos o método de captura e marcação de indivíduos adultos das populações das quatro espécies detalhadas anteriormente. Devido ao tamanho e difícil manipulação, os jovens foram apenas contabilizados. No caso do amblipígeo *C. leonorae* não foi possível a identificação do sexo devido à ausência de dimorfismo (BAPTISTA; GIUPPONI, 2003). O trecho estudado foi dividido em 50 bases de 30 m, totalizando 1.500 m à montante da ressurgência (entrada) (Figura 2). As medidas foram feitas com auxílio de trena manual. No trecho de estudo, a largura do conduto é de cerca de 2,5 m, totalizando aproximadamente 3.750 m². O esforço amostral de captura de indivíduos para cada base foi de 20 minutos e dois coletores. A partir dessas medidas, calculamos a densidade populacional para cada uma das espécies.

Trabalhos considerando marcação e recaptura em artrópodes terrestres utilizaram a tinta lacanitrocelulose (e.g. GNASPINI, 1996; MESTRE; PINTO-DA-ROCHA, 2004; RAMIN, 2014; SANTOS, 1998). A vantagem do uso dessa tinta é o tempo rápido de secagem, extremamente útil em um ambiente de alta umidade relativa do ar como o subterrâneo. No presente trabalho utilizamos nove cores e, para cada uma delas, atribuímos valores de 1 a 9. A partir da combinação de cores marcamos exemplares capturados com marcas individuais por viagem (ocasião de visita à caverna). Os animais foram coletados manualmente e cada marca foi feita em locais específicos dos indivíduos, as dezenas e unidades foram marcadas no escudo dorsal, as centenas

fêmur IV direito e marca da viagem fêmur IV esquerdo (Figura 4a e 4b) (GNASPINI, 1996). Além disso, a combinação de cores possibilita a marcação de um número grande de indivíduos. Utilizamos para as medidas corpóreas um paquímetro precisão 0,01 mm (para os opiliões, comprimento do fêmur da perna IV esquerdo (CFIV), comprimento entre a base do pedipalpo e o fim do cefalotórax - escudo dorsal (CED), largura máxima do escudo dorsal (LED), na altura das coxas IV e para o amblipígeo comprimento e largura do escudo dorsal (CED e LED, respectivamente) e comprimento do abdômen (CA) (Figura 4a e 4b). Tais medidas foram utilizadas para verificar o efeito da sazonalidade sobre a estrutura etária de cada uma das populações.

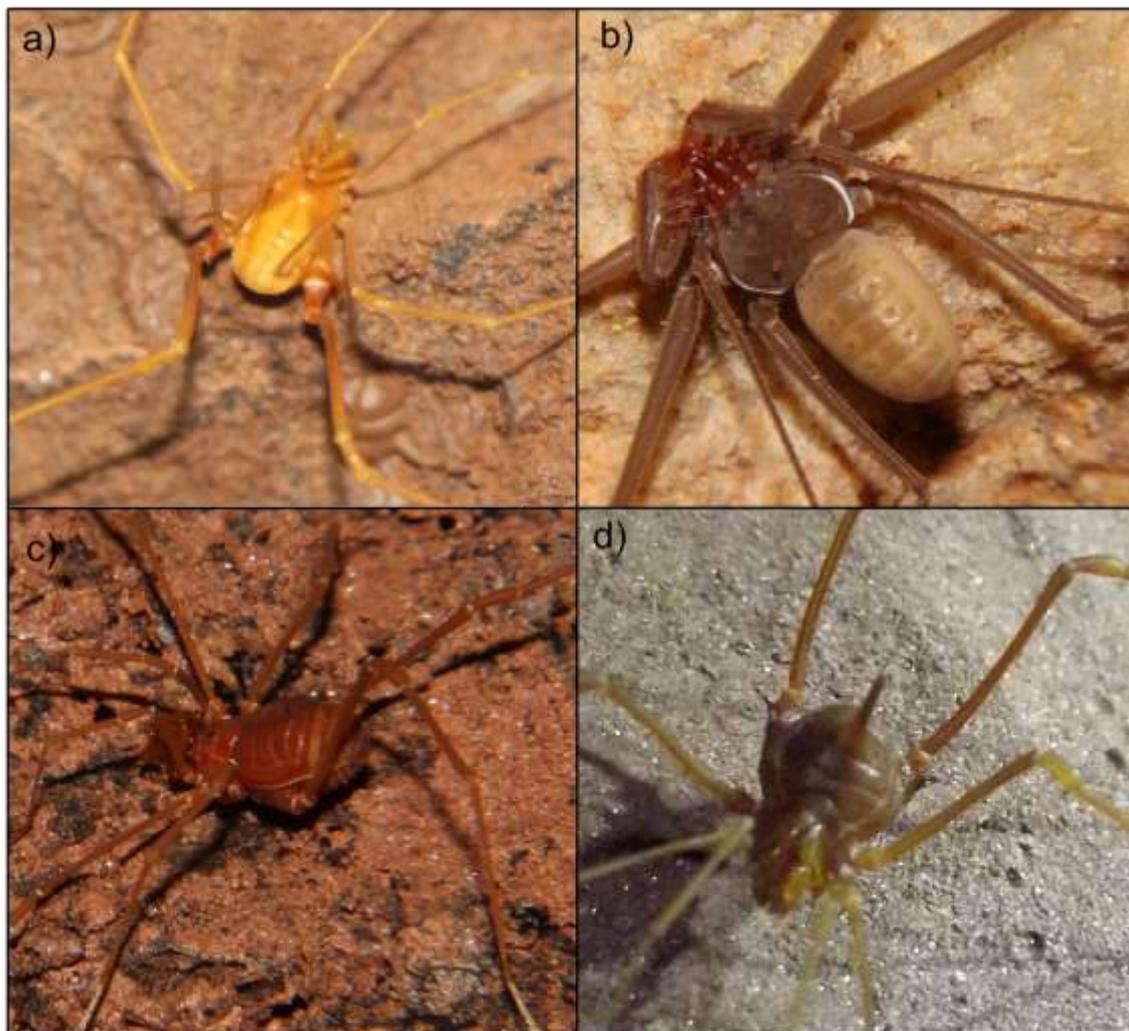


Figura 3 – Espécies estudadas na Gruta Olhos d' Água. a) *Iandumoema uai* Pinto-da-Rocha, 1996; b) *Charinus eleonora* Baptista & Giupponi, 2003; c) *Eusarcus cavernicola* Hara & Pinto-da-Rocha, 2008 e d) *Eusarcus aduncus* Mello-Leitão, 1942; Fotografias: Bolfarini, M.P.

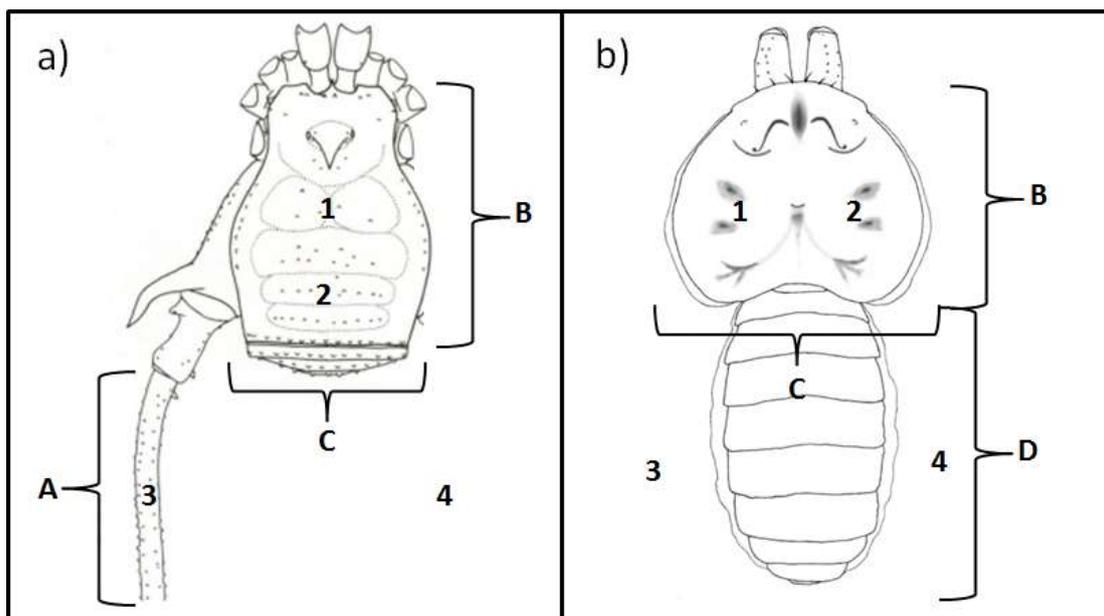


Figura 4 – Padrão de marcas e medidas corpóreas utilizadas. a) padrão de marcas e medidas para os opiliões *I. uai*, *E. cavernicola* e *E. aduncus*; b) padrão de marcas e medidas para *C. eleonora*. 1 = marca que representa as dezenas, 2 = marca que representa as unidades, 3 = marca da ocasião de viagem, 4 = marca que representa as centenas. A = Medida do fêmur da perna IV (CFIV), B = comprimento do escudo dorsal (CED), C = largura do escudo dorsal (LED) e D = comprimento do abdômen (CA).

Análise dos tamanhos corporais

Para verificação de diferenças nos tamanhos corporais ao longo das ocasiões de estudos realizamos uma análise de variância (ANOVA) seguida pelo teste de Tukey-Kramer (ZAR, 2010). Utilizamos medidas de indivíduos adultos das populações aqui estudadas. Para *E. cavernicola* e *E. aduncus* utilizamos valores de machos e fêmeas. Entretanto, devemos ressaltar que diferenças morfológicas entre machos dessas espécies dificultaram a identificação do sexo.

Análise populacional

Utilizamos o estimador Jolly-Seber (JS) para populações abertas, para estimar o tamanho populacional de *I. uai*, *C. eleonora*, *E. aduncus* e *E. cavernicola*, o qual

aplica-se às populações abertas (JOLLY, 1965; SEBER, 1965; KREBS, 1999). Tal estimador é eficiente em suas estimativas, porém depende da marcação de um número relativamente grande de indivíduos. Em geral, mais de três ocasiões de marcação e recaptura são necessárias (KREBS, 1999), coerente com as seis ocasiões conduzidas no presente trabalho: 2014 (Junho, Agosto e Outubro) e 2015 (Junho, Setembro e Outubro).

Na formulação JS original de Jolly (1965) e Seber (1965), a análise populacional pode ser modelada com relação aos parâmetros p (probabilidade de captura de animais não marcados e marcados que estão vivos) e Φ (probabilidade de sobrevivência de animais marcados e não marcados entre as ocasiões i e $(i + 1)$). Além desses, considera-se M_i e U_i , que representam o número de animais marcados e não marcados vivos em cada ocasião, respectivamente (COOCH; WHITE, 2001). Tal modelo é dito incondicional, pois assume que indivíduos marcados e não marcados tem a mesma chance de captura.

Para a utilização do estimador JS algumas premissas devem ser respeitadas: (1) cada indivíduo marcado presente na população no momento (i) tem o mesmo probabilidade de recaptura (p_i); (2) cada indivíduo marcado na população imediatamente após o tempo (i) tem a mesma probabilidade de sobrevivência no tempo ($i+1$); (3) as marcas não são perdidas e são lidas corretamente; e (4) todas as amostras são instantâneas, relativas ao intervalo entre a ocasião (i) e ($i+1$), e cada liberação é feita imediatamente após a amostra (COOCH; WHITE, 2001; AMSTRUP et al., 2005).

Existem diversas formulações para estimativa de abundância e parâmetros relacionados à partir de JS, por exemplo, POPAN (SCHWARZ; ARNASON, 1996), Link-Barker (PRADEL, 1996, LINK; BARKER, 2005) e Burnham (BURNHAM; OVERTON, 1978).

Utilizamos a formulação POPAN (do inglês Population Analyses) (SCHWARZ; ARNASON, 1996), a qual utiliza quatro parâmetros: Φ (sobrevivência aparente), p (probabilidade de captura dado o animal está vivo e na área de estudo), p_{ent} ($b_i = p_{ent}$) (probabilidade de entrada na população para esta ocasião). Além destes, utiliza o parâmetro N (tamanho da super-população), que estima o número de animais que não foram capturados durante a ocasião de estudo (SCHWARZ; ARNASON, 1996) (Figura 1.1).

A formulação POPAN postula a existência de uma superpopulação (N_s) constituída por todos os animais associados ao sistema de estudo (incluindo aqueles dentro e fora do local da amostra), o parâmetro b_t ($b = p_{ent}$) representa a probabilidade de um animal da superpopulação hipotética entrar na população entre a ocasião t e $t + 1$ (Figura 1.1). A entrada de indivíduos novos b (p_{ent}) pode se dar por nascimentos ou imigração (LAAKE; REXSTAD, 2008, LAAKE et al., 2016).

A seleção dos modelos baseou-se no critério de informação de Akaike (1998) (AIC) (AICc), uma ferramenta da teoria da informação que otimiza os modelos com base em análises de verossimilhança (COOCH; WHITE, 2008), o melhor modelo é aquele com menor AICc (COOCH; WHITE, 2008).

Utilizamos para as análises populacionais o pacote RMark (LAAKE; REXSTAD, 2008), com uma interface alternativa ao programa MARK (WHITE; BURNHAM, 1999) que descreve modelos em relação às fórmulas. A utilização da formulação POPAN permite a criação de vários modelos levando em consideração os parâmetros envolvidos nas análises. Além disso, permite construir modelos que consideram grupos diferentes, por exemplo, sexo, tamanho e idade (LEBRETON et al., 1992). Consideramos para os modelos construídos para a população do amblipígeo *C. eleonora*, *E. cavernicola* e *E. aduncus* os parâmetros variando com o tempo ($\sim t$) e constantes ($\sim I$) e para o opilião *I. uai* consideramos, além destes dois, também a

variação dos parâmetros em relação ao sexo ($\sim sex$) (Tabela 1.1). Utilizamos o programa R versão 3.3.2. (R Core Team, 2016) para as análises populacionais. Utilizamos para as estimativas do tamanho populacional do amblipígeo *C. eleonora* e dos opiliões *E. cavernicola* e *E. aduncus* os valores totais sem considerar o sexo, devido à dificuldade na identificação durante o processo de marcação e recaptura.

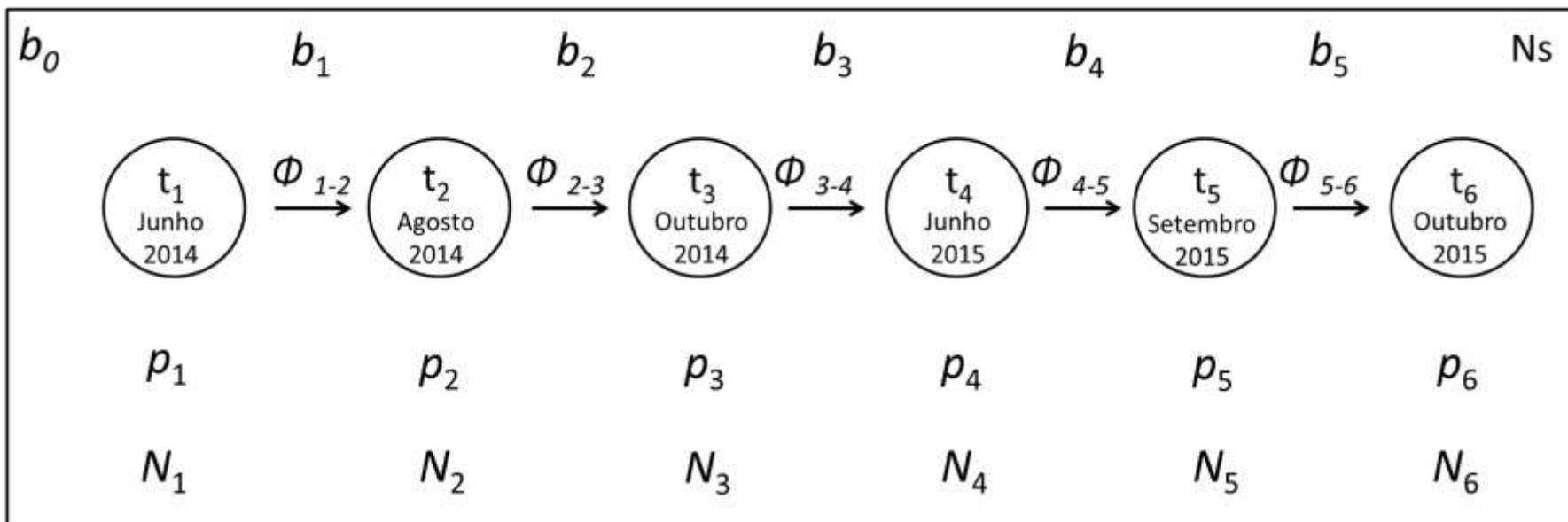


Figura 1.1 - Descrição dos parâmetros populacionais analisados pela formulação de POPAN (Population Analyses). O parâmetro p_i representa a probabilidade de um indivíduo ser capturado na ocasião t ; N_i representa a abundancia estimada para cada ocasião; Φ_{t-t+1} representa a probabilidade de um indivíduo sobreviver da ocasião t até a ocasião $t+1$; e $b_i (= p_{ent})$ representa a probabilidade de um animal da superpopulação (N_s) entrar na população entre as ocasiões t e $t+1$, sobrevivendo até $t+1$ (adaptado de SCHWARZ; ARNASON, 2006).

Tabela 1.1 - Modelos testados para a população de *I. uai*. Φ (sobrevivência aparente), p (probabilidade de captura dado o animal está vivo e na área de estudo), $pent$ ($bi=pent$) (probabilidade de entrada na população para esta ocasião). Além destes, utiliza o parâmetro N (tamanho da superpopulação). (~ 1) parâmetro constante, ($\sim t$) parâmetro variando com o tempo, ($\sim sex$) parâmetro variando com o sexo e ($\sim t * sex$) parâmetro variando com o tempo e com o sexo.

Modelos	Interpretação
1. $\Phi(\sim 1), p(\sim t), pent(\sim t * sex), N(\sim sex)$	Sobrevivência constante, captura variando com o tempo, Probabilidade de entrada de novos indivíduos variando com o tempo e com sexo e tamanho populacional variando com o sexo;
2. $\Phi(\sim t), p(\sim 1), pent(\sim t * sex), N(\sim sex)$	Sobrevivência variando com o tempo, captura constante, Probabilidade de entrada de novos indivíduos variando com o tempo e com sexo e tamanho populacional variando com o sexo;
3. $\Phi(\sim t), p(\sim 1), pent(\sim t), N(\sim sex)$	Sobrevivência variando com o tempo, captura constante, probabilidade de entrada de novos indivíduos variando com o tempo e tamanho populacional variando com o sexo;
4. $\Phi(\sim sex), p(\sim sex), pent(\sim sex), N(\sim sex)$	Sobrevivência variando com o sexo, variando com o sexo, probabilidade de entrada de novos indivíduos variando com sexo e tamanho populacional variando com o sexo;
5. $\Phi(\sim t), p(\sim t), pent(\sim t), N(\sim 1)$	Sobrevivência variando com o tempo, captura variando com o tempo, probabilidade de entrada de novos indivíduos variando com o tempo e tamanho populacional constante;
6. $\Phi(\sim t * sex), p(\sim t * sex), pent(\sim t * sex), N(\sim 1)$	Sobrevivência variando com o tempo e com o sexo, captura variando com o tempo e com o sexo, Probabilidade de entrada de novos indivíduos variando com o tempo e com sexo e tamanho populacional constante;
7. $\Phi(\sim t * sex), p(\sim t), pent(\sim t), N(\sim 1)$	Sobrevivência variando com o tempo e com o sexo, captura variando com o tempo, Probabilidade de entrada de novos indivíduos variando com o tempo e tamanho populacional constante;

1.3 RESULTADOS

Ao longo de seis campanhas realizadas na Gruta Olhos d' Água capturamos e marcamos 1.464 (550 fêmeas e 914 machos) e recapturamos um total de 513 indivíduos do opilião *I. uai*; 144 capturas e 31 recapturas do opilião *E. cavernicola*; 127 capturas e 38 recapturas do opilião *E. aduncus* e 207 indivíduos capturas e 14 recapturas do amblipígeo *C. eleonora*. Além disso, contabilizamos 923 indivíduos jovens para a população de *I. uai* (Tabela 1.2).

Tabela 1.2 – Número de indivíduos capturados (Cap.) e recapturados (Recap.) para cada ocasião de visita à Gruta Olhos D' Água.

	<i>I. uai</i>		<i>C. eleonora</i>		<i>E. cavernicola</i>		<i>E. aduncus</i>	
	Cap.	Recap.	Cap.	Recap.	Cap.	Recap.	Cap.	Recap.
Jun/14	51		12		16		26	
Ago/14	256	16	55	3	26	0	10	0
Out/14	325	74	33	6	28	5	26	5
Jun/15	329	52	30	0	26	5	28	5
Set/15	317	157	33	1	23	11	19	13
Out/15	204	221	31	4	14	11	15	13

As medidas corporais indicaram diferenças significativas entre machos e fêmeas, observadas principalmente na população do opilião *I. uai* (Figura 1.2). Para o comprimento do fêmur da perna IV (CFIV) as diferenças foram significativas em todas as ocasiões $p < 0,05$ (Tabela 1.3). De maneira semelhante, a largura do escudo dorsal (LED) foi significativamente diferente em todos os meses, a menor diferença foi entre as médias de Outubro/2015 com $p > 0,05$ (Figura 1.2b), para os outros meses essa diferença também foi com $p < 0,05$ (Tabela 1.3). Para o comprimento do escudo dorsal

(CED) (Figura 1.2c) as diferenças foram significativas nos meses de Junho/2014, Agosto/2014, Junho/2015 e Setembro/2015 com $p < 0,05$ (Tabela 1.3). Para *E. cavernicola*, as médias das medidas CFIV, CC e LC não apresentaram diferenças significativas (Figura 1.2d, 1.2e e 1.2f, respectivamente). No caso do *E. aduncus* a média para CFIV foi significativamente diferente no mês Junho/2014 (Figura 1.3a) com $p < 0,05$ (Tabela 1.3). Para o amblipígeo *C. eleonora* a média dos valores de comprimento e largura do escudo dorsal (CED e LED, respectivamente), e comprimento do abdômen (CA) (Figura 1.3d, 1.3e e 1.3f, respectivamente) não foram significativamente diferentes em nenhum dos meses (Tabela 1.3).

Tabela 1.3 – Média das medidas corpóreas para *I. uai*, *E. cavernicola* e *E. aduncus*. CFIV é o comprimento do fêmur IV, CED é o comprimento do escudo dorsal e LED a largura. M=macho, F=Fêmea. CA é a medida de comprimento do abdômen, CED e LED o comprimento e largura do escudo dorsal, respectivamente para *C. eleonora*. * =p<0,05, **=p<0,01 e ***=p<0,001.

Espécie	Ocasão	CFIV		CED		LED	
		M	F	M	F	M	F
<i>I. uai</i>	1	7,87 ***	7,02	3,91 ***	3,37	2,91 ***	2,45
	2	7,78 ***	7,43	3,49	3,42	2,82 ***	2,56
	3	7,74 **	7,57	3,5 ***	3,37	2,74 ***	2,53
	4	7,57 ***	7,19	3,46 ***	3,25	2,74 ***	2,41
	5	7,51 ***	7,3	3,4 ***	3,2	2,64 ***	2,44
	6	7,51 **	7,36	3,09	3,03	2,59 *	2,5
<i>E. cavernicola</i>	1	3,7	3,5	6,4	3,9	3,22	6,92
	2	3,6	3,4	7,2	3,8	3,3	6,58
	3	3,47	3,33	6,5	3,47	3,29	6,36
	4	3,88	3,3	6,58	3,76	3,39	6,63
	5	3,42	3	6,7	3,38	3,03	6,37
	6	3,26	3,2	6,6	3,43	3,13	6,63
<i>E. aduncus</i>	1	7,34 **	6,25	3,81	3,55	3,52	3,4
	2	7,25	7	4,25	4,1	3,75	3,9
	3	6,74	6,3	3,5	3,8	3,41	3,4
	4	6,83	6,64	3,86	3,67	3,43	3,35
	5	6,89	6,45	3,26	2,9	3,08	3
	6	6,82	6,98	3,4	3,48	3,38	3,31
<i>C. eleonora</i>		CA		CED		LED	
	1	4,1		2,92		3,53	
	2	4,1		3,04		3,53	
	3	4,05		3,02		3,51	
	4	3,89		2,69		3,34	
	5	3,78		2,86		3,24	
6	3,71		2,83		3,38		

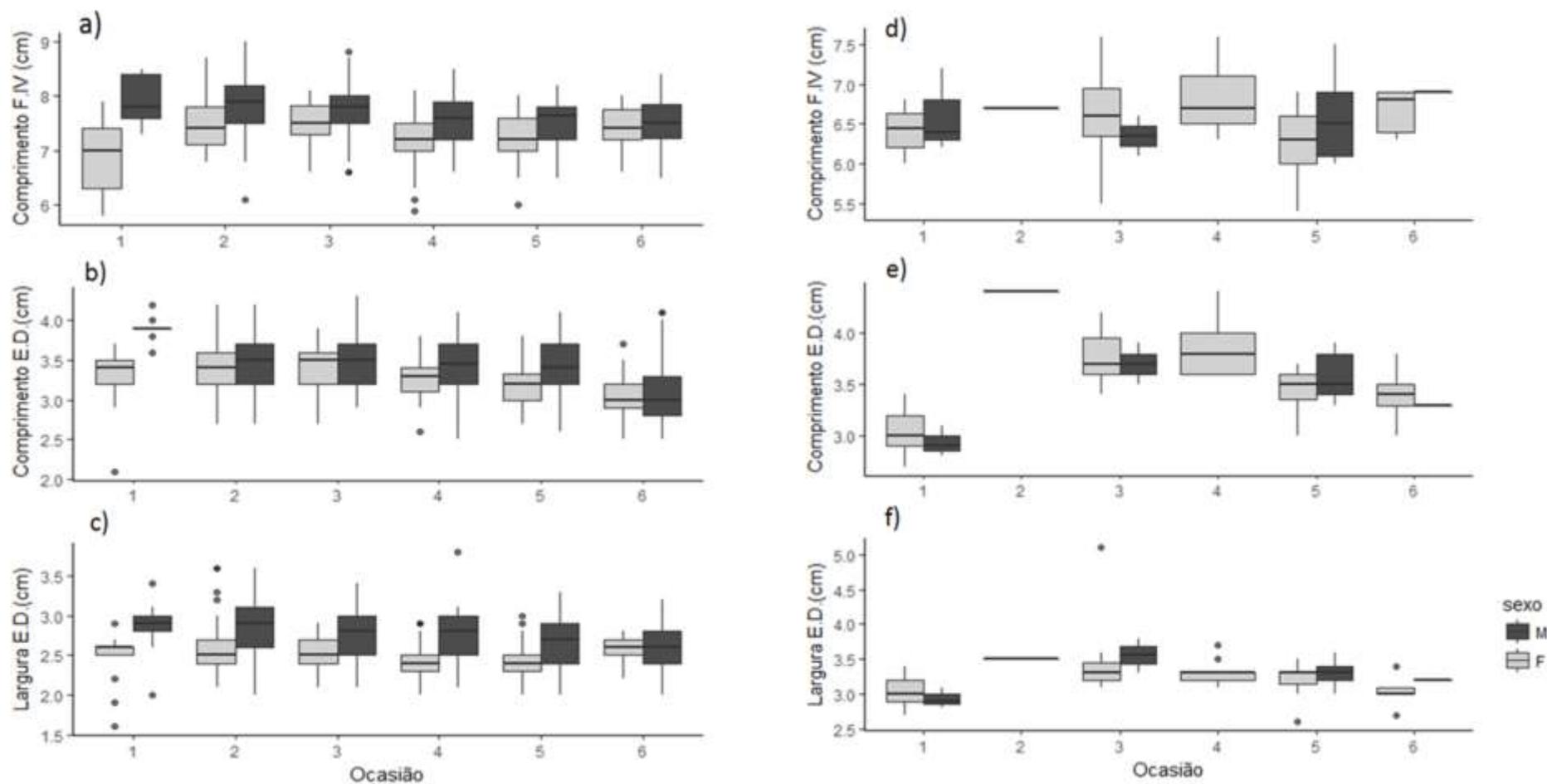


Figura 1.2 – Boxplots das medidas corpóreas. Comprimento do fêmur da perna IV, comprimento do escudo dorsal e largura do escudo dorsal para *I. uai* em a), b) e c) respectivamente e para *E. cavernicola* em d) e) f), respectivamente. Os números de 1-6 representam as ocasiões (Junho/2014, Agosto/2014, Outubro/2014, Junho/2015, Setembro/2015 e Outubro/2015).

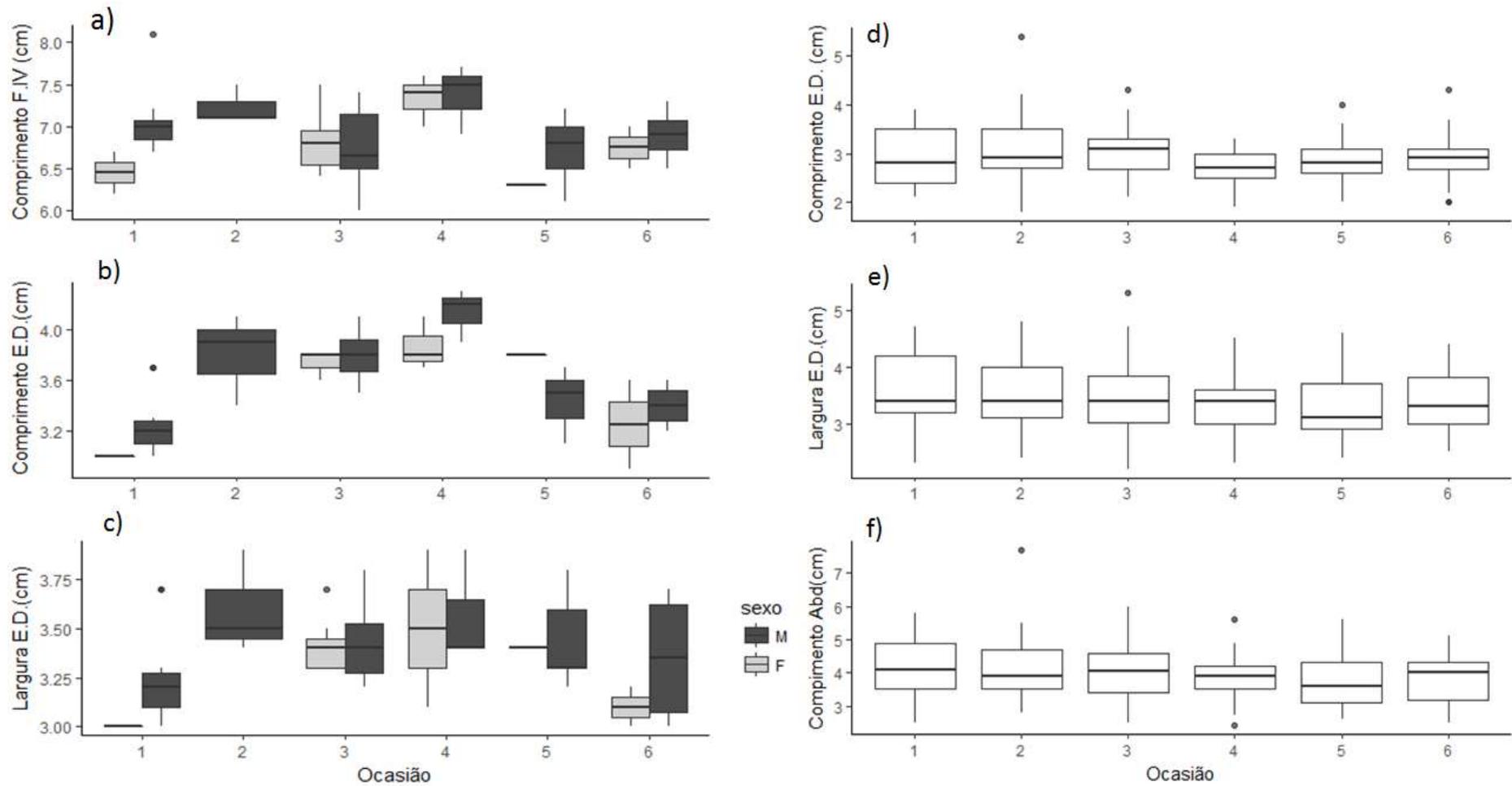


Figura 1.3 – Boxplots das medidas corpóreas. Comprimento do fêmur da perna IV, comprimento do escudo dorsal e largura do escudo dorsal para *E. aduncus* em a), b) e c) respectivamente e para *C. eleonora* em d) e) f), respectivamente. Os números de 1-6 representam as ocasiões (Junho/2014, Agosto/2014, Outubro/2014, Junho/2015, Setembro/2015 e Outubro/2015).

A população de *I. uai* teve sua população estimada em 4.164 indivíduos e densidade de 1,11 indivíduos.m⁻², 51,27% (2.135) da estimativa é de machos e 48,72% (2.029) de fêmeas. Os valores para cada ocasião variaram durante os anos de 2014 e 2015, as estimativas aumentaram gradativamente durante as ocasiões 1, 2 e 3 (Junho/14, N=490; Agosto/2014, N=435; Outubro/2014, N=563) atingindo valores máximos nas ocasiões 4 e 5 (Junho/2015, N=1.058 e Setembro/2015, N=1.094) seguido por queda durante a última ocasião (Outubro/2015, N=524) (Figura 1.4a). Os valores estimados total para essa população foram 1.488 para 2014 e 2.676 para 2015 (Figura 1.4a). O tamanho estimado da superpopulação foi de 5.855.

As populações dos opiliões *E. cavernicola* (Figura 1.4b) e *E. aduncus* (Figura 1.4c) apresentaram valores estimados máximos de 349 e 311, respectivamente. A densidade populacional foi 0,09 indivíduo.m⁻² para *E. cavernicola* e 0,08 indivíduos.m⁻² para *E. aduncus*. Para as duas populações estes valores máximos estimados correspondem a ocasião 3 (Outubro/2014) seguido pela ocasião 5 (Setembro/2015) com tamanhos populacionais estimados de 83 indivíduos para *E. cavernicola* e 88 para *E. aduncus*.

O tamanho populacional máximo estimado para *C. eleonora* foi de N=90 (Agosto/2014, ocasião 2) (Figura 1.4d). Esse período foi seguido por uma queda nos valores estimados: Outubro/2014 (N=40) e Junho/2015 (valor nulo). Em Outubro/2015 houve um aumento no valor do tamanho populacional estimado (N=17), com aparente recuperação da população nos trechos estudados da caverna (Figura 1.4d).

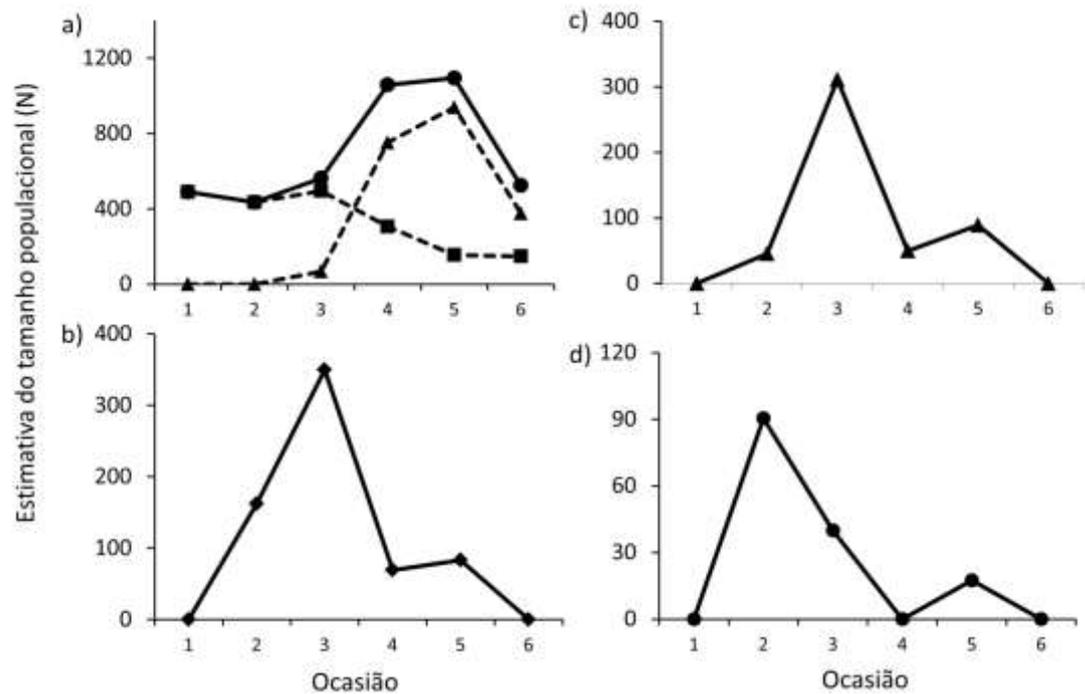


Figura 1.4 – Estimativas dos tamanhos populacionais totais (N) por ocasião de visita à caverna (1 a 6 – Junho/2014, Agosto/2014, Outubro/2014, Junho/2015, Setembro/2015 e Outubro/2015). a) *I. uai* (macho --▲-- e fêmea --■--), b) *E. cavernicola*, c) *E. aduncus* e d) *C. eleonora*.

Os modelos construídos a partir da formulação POPAN estão na Tabela 1.2. Para as três populações de opiliões o melhor modelo foi o que considerou os parâmetros Φ , p e $pent$ variando com relação ao sexo e tempo ($\Phi(\sim t * sex)p(\sim t * sex)pent(\sim t * sex)N(\sim I)$), segundo o critério de informação de Akaike (Tabela 1.4).

O modelo com melhor ajuste para *I. uai* apresentou um valor de AICc=2620 (Tabela 1.4). Os parâmetros Φ , p e $pent$ calculados para esse modelo apresentaram variações nas seis ocasiões. Para *I. uai*, as fêmeas apresentaram sobrevivência variando entre 0,60 e 0,50 durante os intervalos das quatro primeiras ocasiões (Junho/2014, Agosto/2014, Outubro/2014 e Junho/2015, respectivamente) até atingir o valor máximo 0,95 entre a ocasião 5 e 6 (Setembro/2015 e Outubro/2015, respectivamente) (Tabela 1.5). Para os machos, as probabilidades de sobrevivência durante as ocasiões de 2014 foram nulas. Esse valor aumenta para 0,40 entre as ocasiões 3 e 4 (Outubro/2014 e Junho/2015) e para 0,7 entre 4 e 5 (Junho/2015 e Setembro/2015) (Tabela 1.5). A probabilidade de captura (p) de machos e fêmeas foi maior na ocasião 3 (Outubro/2014, $p=0,9$ para machos e $p=0,6$ para fêmeas). Nos dois casos, esses valores diminuem na ocasião 4 (Junho/2015, $p=0,44$ para machos e $p=0,13$ para fêmeas (Tabela 1.5). A probabilidade de entrada ($pent$) foi maior para os machos em Outubro/2014 ($p=0,5$) Agosto/2014 ($p=0,3$) (Tabela 1.5).

Para as populações de *E. cavernicola* e *E. aduncus* os valores de Φ , p e $pent$ dado pelo melhor modelo $\{\Phi(\sim t)p(\sim t)pent(\sim I)N(\sim I)$ e $\Phi(\sim t)p(\sim t)pent(\sim t)N(\sim I)$, respectivamente} variaram de maneira distinta. O valor de AICc para *E. cavernicola* foi 215 e para *E. aduncus* 185 (Tabela 1.4). Para a população da primeira espécie a probabilidade de sobrevivência (Φ) foi menor nas ocasiões 1 (Junho/2014, $\Phi=0,79$) e 3 (Outubro/2014, $\Phi=0,23$) (Tabela 1.5). A probabilidade de captura foi maior nas ocasiões 3 (Outubro/2014, $p=0,5$) e 6 (Outubro/2015, $p=0,15$). As probabilidades de

entrada ($pent$) foram constantes em todas as ocasiões e iguais a 0,03 (Tabela 1.5). A estimativa da superpopulação para *E. cavernicola* foi de 566 indivíduos.

Para a população do opilião *E. aduncus* a superpopulação estimada pelo melhor modelo (Tabela 1.4) foi de 460 indivíduos. Para a probabilidade de sobrevivência (Φ) os menores valores foram para a ocasião 3 (Outubro/2014, $\Phi = 0,06$) (Tabela 1.5). As probabilidades de captura para *E. aduncus* foram maiores nas ocasiões 1, 4 e 5 (Junho/2014, $p=0,61$, Junho/2014, $p=0,99$ e Setembro/2015, $p=0,72$, respectivamente). As maiores probabilidades de entrada ($pent$) foram para as ocasiões 1 e 5 (Junho/2014, $pent=0,81$ e Setembro/2015, $pent=0,56$, respectivamente) (Tabela 1.4). O suporte para este modelo foi substancial, com o $\Delta AICc$ do segundo melhor modelo >2 (Burnham & Anderson, 1998) para as populações de opiliões (Tabela 1.4). Entretanto, os dois melhores modelos (3 e 7) construídos para *C. eleonora* apresentaram valores de $AICc$ muito próximos. Além disso, o valor de $\Delta AICc$ para o segundo modelo (7) foi de 0,19. Nesse caso, o modelo (1) considerou Φ , p e $pent$ variando com o tempo $\{\Phi(\sim t)p(\sim t)pent(\sim t)N(\sim I)\}$ e pode ser considerado com o melhor ajuste (Tabela 1.4). A superpopulação para *C. eleonora* foi estimada em 1.534 indivíduos.

Tabela 1.4 – Modelos gerados pela formulação POPAN (Populaiton Analyses). K é o número de parâmetros, Φ é a probabilidade de sobrevivência, p é a probabilidade de captura, $pent$ é a probabilidade de entrada e N o tamanho populacional.

Espécie	Modelos	K	AICc	$\Delta AICc$
<i>I. uai</i>	6 $\Phi(\sim t^*sex)p(\sim t^*sex)pent(\sim t^*sex)N(\sim I)$	21	2620,2	0
	1 $\Phi(\sim I)p(\sim t)pent(\sim t^*sex)N(\sim sex)$	12	2647	26,8
	2 $\Phi(\sim t)p(\sim I)pent(\sim t^*sex)N(\sim sex)$	14	2667,7	47,5
	7 $\Phi(\sim t^*sex)p(\sim t)pent(\sim t)N(\sim I)$	12	3443,3	823,1
	4 $\Phi(\sim sex)p(\sim sex)pent(\sim sex)N(\sim sex)$	5	3622,2	1002
	3 $\Phi(\sim t)p(\sim I)pent(\sim t)N(\sim sex)$	13	4127,2	1507
	5 $\Phi(\sim t)p(\sim t)pent(\sim t)N(\sim I)$	15	4156,8	1536,6
<i>E.cavernicola</i>	4 $\Phi(\sim t)p(\sim t)pent(\sim I)N(\sim I)$	10	215	0
	1 $\Phi(\sim t)p(\sim t)pent(\sim t)N(\sim I)$	11	216	0,89
	5 $\Phi(\sim I)p(\sim t)pent(\sim t)N(\sim I)$	9	218	34,01
	7 $\Phi(\sim t)p(\sim I)pent(\sim t)N(\sim I)$	9	246	314,45
	3 $\Phi(\sim t)p(\sim I)pent(\sim I)N(\sim I)$	5	263	479,45
	6 $\Phi(\sim I)p(\sim I)pent(\sim t)N(\sim I)$	7	272	573,23
	2 $\Phi(\sim I)p(\sim I)pent(\sim I)N(\sim I)$	3	295	802,96
<i>E. aduncus</i>	1 $\Phi(\sim t)p(\sim t)pent(\sim t)N(\sim I)$	10	185	0
	4 $\Phi(\sim t)p(\sim t)pent(\sim I)N(\sim I)$	11	190	5,05
	5 $\Phi(\sim I)p(\sim t)pent(\sim t)N(\sim I)$	11	203	18,04
	2 $\Phi(\sim I)p(\sim I)pent(\sim I)N(\sim I)$	4	207	21,62
	3 $\Phi(\sim t)p(\sim I)pent(\sim I)N(\sim I)$	8	208	23,28
	7 $\Phi(\sim t)p(\sim I)pent(\sim t)N(\sim I)$	11	210	25,36
	6 $\Phi(\sim I)p(\sim I)pent(\sim t)N(\sim I)$	8	211	26,037
<i>C. eleonora</i>	3 $\Phi(\sim I)p(\sim I)pent(\sim t)N(\sim I)$	7	176,41	0
	7 $\Phi(\sim t)p(\sim I)pent(\sim I)N(\sim I)$	6	176,61	0,19
	1 $\Phi(\sim t)p(\sim t)pent(\sim t)N(\sim I)$	11	181,16	47,46
	5 $\Phi(\sim t)p(\sim t)pent(\sim I)N(\sim I)$	11	181,29	48,74
	4 $\Phi(\sim I)p(\sim I)pent(\sim I)N(\sim I)$	4	183,97	75,6
	6 $\Phi(\sim I)p(\sim t)pent(\sim I)N(\sim I)$	8	213,11	36,69
	2 $\Phi(\sim I)p(\sim t)pent(\sim t)N(\sim I)$	10	213,16	36,74

Tabela 1.5 – Parâmetros (Φ , p , $pent$ e N) para os melhores os modelos testados. Para *I. uai* os valores fora e dentro do parênteses representam fêmeas e machos, respectivamente; Φ é a probabilidade de sobrevivência, p é a probabilidade de captura, $pent$ é a probabilidade de entrada.

Espécie – melhor modelo	Ocasão	Φ	p	$pent$
<i>Iandumoema uai</i> 6. $\Phi(\sim t*sex)p(\sim t*sex)pent(\sim t*sex)N(\sim 1)$	1	0,6 ($5x10^{-5}$)	0,08 ($1x10^{-7}$)	
	2	0,5 ($3x10^{-20}$)	0,6 ($2x10^{-18}$)	0,15 ($1x10^{-6}$)
	3	0,6 (0,4)	0,6 (0,9)	0,31 (0,05)
	4	0,5 (0,7)	0,13 (0,44)	$6x10^{-10}$ (0,50)
	5	0,95 (0,3)	0,23 (0,46)	$3x10^{-8}$ (0,30)
	6		0,23 (0,40)	$4x10^{-12}$ (0,07)
<i>Eusarcus cavernicola</i> 7. $\Phi(\sim t)p(\sim t)pent(\sim 1)N(\sim 1)$	1	0,79	0,04	
	2	0,99	0,07	0,03
	3	0,23	0,08	0,03
	4	0,99	0,5	0,03
	5	0,99	$7x10^{-3}$	0,03
	6		0,15	0,03
<i>Eusarcus aduncus</i> 1. $\Phi(\sim t)p(\sim t)pent(\sim t)N(\sim 1)$	1	1	0,61	
	2	1	0,03	0,81
	3	0,06	0,06	$5x10^{-11}$
	4	0,39	0,99	$3x10^{-16}$
	5	0,33	0,72	0,56
	6		0,05	0,03
<i>Charinus eleonorae</i> 1. $\Phi(\sim t)p(\sim t)pent(\sim t)N(\sim 1)$	1	1	0,1	
	2	0,7	0,02	0,69
	3	0,9	0,06	0
	4	1	0,03	0,17
	5	0,03	0,03	0
	6		0,82	0

1.4 DISCUSSÃO

Populações subterrâneas apresentam características gerais comuns relacionadas ao regime seletivo diferencial, como, por exemplo, baixas densidades e tamanhos populacionais reduzidos, observados principalmente em populações de espécies troglóbias (PINTO-DA-ROCHA, 1996c; TRAJANO, 1997, BICHUETTE; TRAJANO, 2015). Esse regime está relacionado à algumas restrições ambientais, principalmente à ausência de luz e consequentemente de produtores primários, levando à uma tendência à escassez alimentar (JUBERTHIE, 2000; CULVER; PIPAN, 2009), além da própria restrição espacial em relação ao meio epígeo.

As populações dos troglóbios *I. uai* e *C. eleonora*, e dos troglófilos *E. cavernicola* e *E. aduncus* apresentaram abundâncias e estimativas populacionais claramente distintas. A maior população estimada foi a do troglóbio *I. uai*, seguida por *E. cavernicola*, *E. aduncus* e *C. eleonora*. Entretanto, o tamanho e a densidade observados para *I. uai* são atípicos e não esperados comparando-se a outros opiliões cavernícolas, sejam troglófilos ou troglóbios.

A estimativa para população do *I. uai* é considerada alta ($N_t=4.164$), o mesmo observado para a densidade ($1,11 \text{ indivíduos.m}^{-2}$) em relação às outras populações de opiliões estudadas no Brasil. O maior tamanho populacional já estimado foi para o opilião epígeo *Ilhaia cuspidata*, com valores máximos de 14.445 indivíduos e densidade máxima de $0,47 \text{ indivíduos.m}^{-2}$ (MESTRE; PINTO-DA-ROCHA, 2004). Neste caso, a área de estudo foi de 30.000 m^2 , 10 vezes comparando-se com o trecho estudado para *I. uai*. Extrapolando-se uma estimativa para a área, seria esperado um N de 41.640 para esta espécie. Para a população do opilião troglóbio *Pachylospeleus strinatii* do sistema Areias (sudeste de São Paulo), os autores observaram em uma área estimada de aproximadamente 6.000 m^2 , uma população total estimada entre 164 e 236 indivíduos

(Pinto-da-Rocha, 1996b), valores significativamente baixos comparado a *I. uai*. Neste caso, cabe ressaltar que o método de estimativa foi outro, Lincoln-Petersen para populações fechadas e o trabalho foi realizado durante dois meses. Para o opilião troglóxico *Serracutisoma spelaeum*, o tamanho populacional máximo estimado foi de 246 indivíduos em seis cavernas da área cárstica do Alto Ribeira (sudeste de São Paulo) (GNASPINI, 1996). A estimativa foi feita com os estimadores Fisher-Ford e Manly-Parr, durante um ano de análise. Neste último caso, as estimativas variaram ao longo do período de estudo, indicando sazonalidade populacional (GNASPINI, 1996).

Para opiliões, a umidade relativa do ar é determinante para ocorrência e distribuição das espécies (CURTIS; MACHADO, 2007). As comunidades mais diversas com populações elevadas ocorrem em regiões tropicais, principalmente em florestas úmidas (MESTRE; PINTO-DA-ROCHA, 2004; CURTIS; MACHADO, 2007). Além disso, para populações de troglóbios e troglóxicos há uma preferência por regiões da caverna com baixa variação de temperatura e umidade (TOBIN et al., 2013). Essa preferência está relacionada à presença de exoesqueletos mais finos e de apêndices mais alongados, resultando em maior possibilidade de dessecação quando expostos às baixas umidades relativas do ar (HOWARTH, 1980).

Nesse sentido, a Gruta Olhos d' Água pode ser considerada favorável à ocorrência destes organismos, pois devido sua morfologia fechada (com apenas uma abertura ao meio epígeo) tem como consequência altas umidades relativas do ar, chegando à saturação (cerca de 90%) e temperaturas variando muito pouco, tendendo à estabilidade. Os valores elevados para a população do opilião *I. uai* indicam que o ambiente da Gruta Olhos d' Água é favorável à manutenção de espécies troglóbias. Isso também é válido para os troglófilos *E. cavernicola* e *E. aduncus*. Neste caso, apesar de

estarem distribuídos em local mais restrito (até 500 m à montante da ressurgência), este trecho apresenta valores semelhantes de umidade e temperatura.

As demais populações de aracnídeos da Gruta Olhos d' Água são menores que a do opilião *I. uai*. Para o amblipígeo *C. eleonora*, observou-se baixa taxa de recaptura e tamanho populacional e densidades reduzidos ($N_t=148$; $0,04$ indivíduos.m⁻²) comparando-se aos poucos trabalhos que consideraram estimativas de amblipígeos. Por exemplo, para o amblipígeo troglófilo *Phrynus longipes* Pocock (1894), os valores estimados indicaram tamanhos populacionais e densidades elevados em cavernas de Porto Rico, com estimativa máxima de 335 indivíduos e densidade de $2,0$ indivíduos.m⁻² (em um trecho de $2,0$ m x $123,5$ m) (CHAPIN, 2015). Neste caso, o estudo foi conduzido em apenas uma ocasião ao longo de cinco seções na caverna Cueva de los Culebrones e a população estimada com o estimador para populações fechadas Chapman-Peterson. A população de *C. eleonora* foi estimada para um trecho mais de 15 vezes maior ($2,5$ m x 1.500 m) considerando-se seis ocasiões de visita.

Para *C. eleonora* os valores estimados estão relacionados à baixa abundância e principalmente à taxa de recaptura. O hábito de se entocar em fendas na rocha pode ter dificultado o encontro e a captura destes. Esse comportamento criptobiótico é típico de aracnídeos e pode ser um fator que favorece a ocupação de habitats subterrâneo (HARVEY, 2003; TRAJANO; BICHUETTE, 2010). Ainda, é comum entre amblipígeos a ocupação e defesa de pequenas áreas e refúgios adequados para acomodar o corpo achatado dorso-ventralmente, tais como fissuras e fendas na rocha (CHAPIN, 2015). Além disso, diversas espécies de amblipígeos tendem a permanecer em refúgios ocupados por longos períodos (HEBETS, 2002; DIAS; MACHADO, 2006; CHAPIN, 2014, 2015; CURTIS; BLOCH, 2014; CHAPIN; HILL-LINDSAY, 2015), percorrendo distâncias de aproximadamente 38 m em três dias e retornando ao local mesmo após

serem deslocados artificialmente (HEBETS et al., 2014) . No caso de *C. eleonora*, as recapturas mostraram deslocamentos curtos, até mais que o observado para espécies epígeas, corroborando a ideia de que esta espécie tem deslocamento menor.

Para os opiliões *E. cavernicola* e *E. aduncus* as estimativas do tamanho populacional foram semelhantes (349 e 311, respectivamente). Ambas populações são menos numerosas e com distribuições mais restritas (até 500 m à montante da ressurgência) comparadas com *I. uai*. Entretanto, os valores estimados foram semelhantes aos observados para o opilião troglófilo *Daguerreia inermis* (PINTO-DA-ROCHA, 1996a) e para as espécies troglófilas *Mitogoniella taquara* (MACHADO et al., 2003) e *Heteromitobates albiscryptus* (WILLEMART; GNASPINI, 2004).

As maiores estimativas de tamanho populacional observada para *I. uai*, em relação aos troglófilos (*E. cavernicola* e *E. aduncus*), podem estar relacionadas a diversos fatores, como a presença de um maior número de predadores no trecho próximo à ressurgência (onde as duas espécies troglófilas ocorrem), como grandes aranhas errantes do gênero *Ctenus*, amblipígeos *Trichodamon froesi* e aranhas marrom do gênero *Loxosceles*, à presença de uma barreira física devido uma constricção à aproximadamente 500 m da ressurgência restringindo a distribuição das espécies, e aos fatores históricos, já que *I. uai* é um troglóbio que deve ter um tempo de isolamento significativamente maior em relação às populações troglófilas e, portanto, populações bem estabelecidas e estáveis.

Hara e Pinto-da-Rocha (2010) discutiram a distribuição do gênero *Eusarcus* em relação à dispersão em Floresta Atlântica Costeira do interior do Brasil. Segundo os autores, é possível que a distribuição atual, especialmente em áreas mais secas, como a região do Peruaçu, seja evidência da existência de uma cobertura florestal maior (e, portanto, ambientes mais úmidos) no passado. Assim, devido às mudanças climáticas

seguidas por modificações na fitosionomia, estas espécies ficaram restritas a remanescentes de florestas ou a locais com condições semelhantes, como matas ciliares e mesmo cavernas, explicando a distribuição de *E. cavernicola* e *E. aduncus*.

Opiliões em geral possuem populações com proporções equilibradas entre machos e fêmeas (cerca de 50%). Essa proporção foi observada em trabalhos com populações do troglófilo *Daguerreia inermis* e do troglóbio *Pachylospeleus strinatii* (GNASPINI, 1996, PINTO-DA-ROCHA, 1996b). No presente trabalho observam-se nas estimativas uma predominância sutil de machos (51,27%) para a população de *I. uai*. Entretanto, espécies do gênero *Eusarcus* possui dimorfismo entre machos, com pelo menos duas formas morfologicamente distintas (SILVA; KURY, 2007) e, a existência de machos menores nas duas espécies de *Eusarcus* aqui estudadas, próximos ao tamanho das fêmeas, pode ter influenciado nos resultados obtidos para a razão sexual (HARA; PINTO-DA-ROCHA, 2010). Sendo assim, um estudo morfológico com foco na descrição das formas juvenis e adultos de machos e fêmeas de *E. cavernicola* e *E. aduncus* é necessário para entender as diferenças nas dinâmicas populacionais nas populações da Gruta Olhos d' Água.

No caso de *I. uai*, o aumento no tamanho total foi devido ao incremento do número de machos, observado principalmente em 2015, entre as ocasiões 3 e 4 (Outubro/2014 e Junho/2015). As probabilidades de sobrevivência Φ , captura (p) e de entrada ($pent$) para essa população aumentaram durante 2015, principalmente na ocasião 5 (Setembro/2015) para *I. uai*.

Os maiores valores estimados para 2015 podem ser reflexo do maior aporte alimentar devido a precipitação maior neste ano. Na região do Peruaçu, durante o período chuvoso (Janeiro/2015 a Abril/2015), é comum a ocorrência de trombas d' água na Gruta Olhos d' Água que carregam para dentro uma variedade de detritos,

umentando a oferta de recursos alimentares. Junho e Setembro são meses tipicamente secos, com precipitação média próximo a 20mm (INMET, 2010). O período seco de 2015 (Maio/2015 a Outubro/2015) foi precedido por um período chuvoso com maiores taxas, principalmente no mês de Fevereiro/2015 (250 mm), em relação ao mesmo período de 2014 (25 mm) (INMET, 2010). Conseqüentemente, a ocorrência de trombas d' água mais frequentes em 2015 deve ter aumentado o aporte e a oferta alimentar, mesmo durante o período seco, ocasionando em maiores tamanhos populacionais estimados, considerando-se *I. uai* e *E. aduncus*.

Ainda, as altas taxas de sobrevivência para os machos da população de *I. uai* são reflexo da permanência desses indivíduos ao longo dos dois anos de estudo. Neste caso, devemos considerar a possibilidade de migrações verticais para microhabitats no período de enchentes (Novembro a Abril) possibilita a sobrevivência destes animais quando o nível de água eleva-se e estes animais se manteriam aí até o rebaixamento do nível freático. Movimentos relacionados à sazonalidade ambiental foram identificados em opiliões epígeos tropicais, como por exemplo, para a espécie *Jussara* sp. como ocorrência em floresta tropical no sul do Brasil (PAGOTTI; WILLEMART, 2015). Neste caso, a sazonalidade para as populações de adultos foi acentuada, correlacionada positivamente com variação de temperatura e humidade (PAGOTTI; WILLEMART, 2015).

Devemos considerar que as populações foram subestimadas. Esses valores podem ser ainda mais elevados se considerarmos a ocupação de regiões mais altas e os deslocamentos verticais ao longo da caverna. Em diversas regiões do trecho estudado são encontrados grandes salões que apresentam uma diversidade de habitats potenciais para ocorrência principalmente de *I. uai* e *C. eleonora*. Durante o estudo avistamos indivíduos de ambas populações em locais com alturas próximas a 3,5 m. Entretanto,

acreditamos que em alguns destes salões indivíduos sejam capaz de ocupar regiões superiores a essa formando subpopulações com movimentos sazonalmente marcado pelas enchentes no interior da caverna. Tal hipótese ainda necessita de investigações populacionais futuras para confirmação.

Assim, as condições restritivas do ambiente subterrâneo são devidas a uma variedade de fatores, como a ausência total da luz e de produção primária por organismos fotoautotróficos, e estão relacionadas a limitação de aspectos populacionais, como tamanhos e densidades, observados para troglóxenos, troglófilos e troglóbios. No caso dos troglóbios, devido à dependência dos recursos disponíveis e à restrição espacial no meio subterrâneo, esses valores podem ser ainda mais limitados. Entretanto, nossos resultados mostraram que para as populações da Gruta Olhos d' Água essa restrição é amenizada, considerando os altos valores estimados para o tamanho e para densidades dos opiliões, principalmente do troglóbio *I. uai*. Além disso, para essas populações e para *C. elenora* esses valores variaram durante o período de estudo, sendo que, para os opiliões os parâmetros calculados variaram distintamente para os machos e fêmeas. Portanto, esses aspectos populacionais, assim como a alta riqueza taxonômica, a diversidade genética (baseada no grau de especialização de espécies individuais, isto é, acumulação de autapomorfias) e presença de indicadores filogenéticos (TRAJANO et al., 2016), mostram a extrema importância da Gruta Olhos d' Água para prioridade na conservação, já que a ressurgência da caverna está fora dos limites do PNCP e, portanto, fora da proteção legal.

1.5 REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **Os domínios morfoclimáticos na América do Sul**. Primeira aproximação. São Paulo, Geomorfologia, 1977. v. 52, p. 1–21.

AKAIKE, H. (1998) Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In: _____. **Selected Papers of Hirotugu Akaike**. New York: Springer, 1998, p. 199-213.

AMSTRUP, S. C.; DURNER, G. M.; STIRLING, I.; MCDONALD, T. L. Allocating harvests among polar bear stocks in the Beaufort Sea. **Arctic**, p. 247-259, 2005.

BAPTISTA R. L. C. ; GIUPPONI, A. P. New troglomorfo *Charinus* from Minas Gerais state, Brazil Arachnida: Amblypygi: Charinidae. **Revista Ibérica de Aracnologia**, v. 7, p.79-84, 2003.

BARR, T.C. Cave ecology and the evolution of troglobites. **Evolutionary biology**. v. 2, p. 35-102, 1968.

BICHUETTE, M. E. ; TRAJANO, E. Population density and habitat of an endangered cave fish *Eigenmannia vicentespelaea* Triques, 1996 Ostariophysi: Gymnotiformes from a karst area in central Brazil. **Neotropical Ichthyology**, v. 131, p. 113-122, 2015.

BOLFARINI, M. P. ; BICHUETTE, M. E. *Endecous peruassuensis* n. sp. Orthoptera: Grylloidea: Phalangopsidae from caves of Eastern Brazil: evidence of isolation in the subterranean realm ; discussion about troglomorfoisms. **Zootaxa** v. 40323: p. 297–308, 2015.

BURNHAM, K. P.; OVERTON, W. S. Estimation of the size of a closed population when capture probabilities vary among animals. **Biometrika**, p. 625-633, 1978.

CARVALHO, L.S.; OLIVEIRA-MARQUES, F. N.; SILVA, P.R.R. Arachnida, Amblypygi, *Heterophrynus longicornis* (Butler 1873): Distribution extension for the state of Piauí northeastern Brazil. **Check List**. v. 7. p. 267–269. 2011.

CARVALHO, L.S.; GOMES, J.O.; NECKEL-OLIVEIRA, S.; LO-MANHUNG, N. F. Microhabitat use and intraspecific associations in the whip spider *Heterophrynus longicornis* (Arachnida: Amblypygi) in forest fragments formed by the Tucuruí Dam lake, Pará, Brazil. **Journal of Natural History**. v. 46. p.1263–1272. 2012

CHAPIN, K. J. Microhabitat and spatial complexity predict group size of the whip spider *Heterophrynus batesii* in Amazonian Ecuador. **Journal of Tropical Ecology** v. 30, p. 173–177, 2014.

CHAPIN, K. J. Cave-epigeal behavioral variation of the whip spider *Phrynus longipes* (Arachnida: Amblypygi) evidenced by activity, vigilance, and aggression. **Journal of Arachnology**, v. 43, p. 214-219, 2015.

CODDINGTON, J. A.; HORNER, M.; SODERSTROM, E. A. Mass aggregations in tropical harvestmen (Opiliones, Gagrellidae: *Prionostemma* sp.). **Rev. Arachnol.** v. 8. p. 213–219. 1990.

COOCH, E.; WHITE, G. Program Mark. A Gentle Introduction. Colorado State University. 2001.

CULVER, D. C. **Cave Life. Evolution and Ecology.** Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts and London, England, p. 189, 1982.

CULVER, D. C.; PIPAN, T. **The biology of caves and other subterranean habitats.** USA: Oxford University Press. 2009.

CURTIS, D.J.; MACHADO, G. Ecology, In: PINTO-DA-ROCHA, R.; MACHADO, G., GIRIBET, G. **Harvestmen: The Biology of Opiliones.** Harvard University Press, Cambridge, p. 280–308, 2007.

CURTIS, C.A.; BLOCH, C.P. Seasonal patterns of microhabitat selection by a subtropical whip spider, *Phrynus longipes* in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. **Journal of Arachnology.** v. 42, p. 126–129, 2014.

CHAPIN, K.J.; HILL-LINDSAY, S. Territoriality evidenced by asymmetric intruder-holder motivation in an amblypygid. **Behavioural Processes** v. 122, p. 110-115, 2015.

DIAS, S. C.; MACHADO, G. Microhabitat use by the whip spider *Heterophrynus longicornis* (Amblypygi, Phrynidae) in Central Amazon. **Journal of Arachnology,** v. 34, p. 540-544, 2006.

EDGAR, A. L. Studies on the biology and ecology of Michigan Phalangida (Opiliones). Miscellaneous publications/University of Michigan, Museum of Zoology. v. 144, p.1–64. 1971.

FENÓLIO, D. B.; NIEMILLER, M. L.; BONETT, R. M.; GRAENING, G. O. Life history, demography, and the influence of cave. **Herpetological Conservation and Biology,** v. 9, p. 394-405, 2014.

FOWLER-FINN, K.D.; HEBETS, E.A. An examination of agonistic interactions in the whip spider *Phrynus marginemaculatus* (Arachnida, Amblypygi). **Journal of Arachnology** v. 34. p. 62–76. 2006.

GUADANUCCI, J. P. L.; BRAGA, P. L. M.; ; SÁ, F. D. S. Aspects of the activity rhythm and population size of troglomorphic mygalomorph spiders (*Trechona* sp., Dipluridae) in a quartzite cave in Minas Gerais, Brazil. **Journal of Natural History,** v. 49, p. 889-903, 2015.

GNASPINI, P. Population ecology of *Goniosoma spelaeum*, a cavernicolous harvestman from south-eastern Brazil (Arachnida: Opiliones: Gonyleptidae). **Journal of Zoology,** v. 239, p. 417-435, 1996.

GIRIBET, G.; KURY, A. B. Phylogeny and biogeography. Harvestmen: The Biology of Opiliones. Cambridge: **Harvard University Press,** p. 62-87, 2007.

- HARA M. R.; PINTO-DA-ROCHA R. A new species of Brazilian troglobitic harvestman of the genus *Iandumoema* Opiliones: Gonyleptidae. **Zootaxa**, v. 1744, p. 50-58, 2008.
- HARA M. R.; PINTO-DA-ROCHA R. Systematic review and cladistic analysis of the genus *Eusarcus* Perty 1833 (Arachnida, Opiliones, Gonyleptidae). **Zootaxa**, v. 2698, p. 1-136, 2010.
- HARVEY, M. S. Catalogue of the smaller arachnid orders of the World: Amblypygi, Uropygi, Schizomida, Palpigradi, Ricinulei and Solifugae. **CSIRO publishing**, 2003.
- HEBETS, E. A. Relating the unique sensory system of amblypygids to the ecology and behavior of *Phrynus parvulus* from Costa Rica (Arachnida, Amblypygi). **Canadian Journal of Zoology**, v. 80, p. 286-295, 2002.
- HEBETS, E. A.; GERING, E. J.; BINGMAN, V. P.; WIEGMANN, D. D. Nocturnal homing in the tropical amblypygid *Phrynus pseudoparvulus* (Class Arachnida, Order Amblypygi). **Animal cognition**, v. 17, p. 1013-1018, 2014.
- HOWARTH, F. G. The zoogeography of specialized cave animals: a bioclimatic model, 1980.
- INMET. Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 Versão revista e ampliada. [p.465.17yst://www.inmet.gov.br/portal/17yste.php?r=clima/normaisClimatologics](http://www.inmet.gov.br/portal/17yste.php?r=clima/normaisClimatologics), 2010.
- JOLLY, G. M. Explicit estimates from capture-recapture data with both death and immigration-stochastic model. **Biometrika**, v. 52, p. 225-247, 1965.
- JUBERTHIE, C. Recherches sur la biologie des opilions. **Annals of Spéléologie**. v. 19, p. 1-244. 1964.
- KALTSAS, D.; MYLONAS, M. The population structure of *Mesobuthus gibbosus* (Scorpiones: Buthidae) on Koufonisi Island (central Aegean Archipelago, Greece). **Euscorpius**, v. 2007, p. 1-8, 2016.
- KOCH, C.L. (1839) Die Arachniden getreu nach der Natur abgebildet und beschrieben. C.H. Zeh'schen Buchhandlung, Nuremberg, 1839.
- KREBS, C. J. **Ecological Methodology**. Menlo Park: Addison Wesley Educational Publishers, 1999.
- KURY, A. B. Annotated catalogue of the Laniatores of the New World: (Arachnida, Opiliones). **Revista Ibérica de Aracnología**, v. 7, p. 5-337, 2003.
- KURY, A. B. Two new troglomorph Pachylinae (Opiliones, Laniatores, Gonyleptidae) from caves in Bahia, Brazil. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 43, p. 247-253, 2008.
- KURY, A.B.; PÉREZ-GONZÁLEZ A. The first cave-dwelling Spinopilar Mello-Leitão 1940 (Opiliones, Gonyleptidae, Tricommatinae), described from a Brazilian cave. **Tropical Zoology**, v. 21, p. 259-267, 2008.

KURY, A.B. (2017). Worldwide Opiliones species count. Página institucional na internet, acessada em outubro de 2016, [<http://acd.ufrj.br/mndi/Aracnologia/aracnol.htm>].

LAAKE, J.; REXSTAD, E. RMark—an alternative approach to building linear models in MARK. *Program MARK: a gentle introduction*, C1-C113, 2008.

LAAKE, J.; RAKHIMBERDIEV, B. A.; TUREK, D. Package ‘RMark’, 2016.

LEBRETON, J. D., BURNHAM, K. P., CLOBERT, J.; ANDERSON, D. R. (1992). Modeling survival and testing biological hypotheses using marked animals: a unified approach with case studies. **Ecological monographs**, v. 62, p. 67-118, 1992.

LINCOLN, F.C. Calculating waterfowl abundance on the basis of banding returns. *US Dept of Agriculture*, v. 118, p. 1-4, 1930.

LINK, W. A.; BARKER, R. J. Modeling association among demographic parameters in analysis of open population capture–recapture data. *Biometrics*, v. 61, p. 46-54, 2005.

MACHADO, G.; RAIMUNDO, R. L. G.; OLIVEIRA, P. S. Daily activity schedule, gregariousness, and defensive behaviour in the Neotropical harvestmen *Goniosoma longipes* (Opiliones: Gonyleptidae). **Journal of Natural History**, v. 34, p. 587–596, 2000.

MACHADO, S. F., FERREIRA L. R. ; MARTINS, R. P. Aspects of population ecology of *Goniosoma* sp. (Arachnida Opiliones Gonyleptidae) in limestone caves in southeastern Brazil. **Tropical Zoology**, v. 16: p. 13-3, 2003.

MELLO-LEITÃO, C.F. de. 1931. Quatro novos opiliões. Rio de Janeiro: **Boletim do Museu Nacional**, v. 7, p. 115–119, 1931.

MELLO-LEITÃO, C.F. Opiliões do Brasil. **Revista do Museu Paulista**, v. 17, p. 1–505, 1932.

MESTRE, L. A. M.; PINTO-DA-ROCHA, R. Population dynamics of an isolated population of the harvestman *Ilhaia cuspidata* (Opiliones, Gonyleptidae), in araucaria forest (Curitiba, Parana, Brazil). **Journal of Arachnology**, v. 32, p. 208-220, 2004.

OTIS, D. L. et al. Statistical inference from capture data on closed animal populations. **Wildlife Monographs**. v. 62, p. 1–135, 1978.

PAGOTI, G. F.; WILLEMART, R. H. (2015). Strong seasonality and clear choice of resting plant in a Neotropical harvestman (Arachnida: Opiliones). **Journal of arachnology**, v. 43, p. 207-213.

PEEL, M. C.; FINLAYSON B. L.; MCMAHON T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology earth system sciences discussions**, v. 42, p. 439-473, 2007.

PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; PROUD, D. N.; CECARELLI, S. F.; CRUZ-LÓPEZ, J.; OLIVEIRA DO MONTE B. G.; BICHUETTE, M. E. A seletiva arca de Noé: Opiliones

Arthropoda: Arachnida relictuais cavernícolas evidenciam a história geoclimática do planeta. In: **XXXI Congresso Brasileiro de Zoologia**, Cuiabá, p. 755, 2016.

PETERSEN, C. G. J. The early immigration of young plaice into Limfjord from the German sea. **Report of the danish biological station**, v. 6, p. 5-84, 1986.

PILÓ, L. B.; KÖHLER, H.C. Do Vale do Peruaçu ao São Francisco : uma viagem ao interior da terra. Belo Horizonte: **Anais do III Congresso da Associação Brasileira do Estudo do Quaternário**, v. 2, p. 57-73, 1991.

PINTO-DA-ROCHA, R. *Iandumoema uai*, a new genus and species of troglobitic harvestman from Brazil (Arachnida, Opiliones, Gonyleptidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 13, p. 843-848, 1996a.

PINTO-DA-ROCHA, R. Description of male of *Daguerreia inermis* Soares & Soares, with biological notes on population size in Gruta da Lancinha, Paraná, Brazil (Arachnida, Opiliones, Gonyleptidae). **Revista Brasileira de Zoologia** v. 13, p. 833–842, 1996b.

PINTO-DA-ROCHA, R. Biological notes on and population size of *Pachylospeleus strinatii* Silhavy', 1974 in the Gruta das Areias de Cima, Iporanga, south-eastern Brazil (Arachnida, Opiliones, Gonyleptidae). **Bulletin-british arachnological society**, v. 10, 189–192, 1996c.

PINTO-DA-ROCHA, R.; SILVA, M. B.; BRAGAGNOLO C. Faunistic similarity and biogeography of the harvestmen of southern and southeastern Atlantic rain forest of Brazil. **Journal of Arachnology**. v. 33, p. 290–299. 2005.

PINTO-DA-ROCHA, R., DA FONSECA-FERREIRA R.; BICHUETTE M. E. A new highly specialized cave harvestman from Brazil and the first blind species of the genus: *Iandumoema smeagol* sp. n. (Arachnida, Opiliones, Gonyleptidae). **ZooKeys**, v. 537, p. 79, 2015.

POULSON, T.L.; WHITE, W.B. The cave environment. **Science**, v. 165, p. 971-980, 1969.

PRADEL, R. Utilization of capture-mark-recapture for the study of recruitment and population growth rate. **Biometrics**, p. 703-709, 1996.

RACOVITZA, E.G. Essai sur les problèmes biospéologiques. **Arch Zool Exp Gen** v. 6, p. 371-488, 1907.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016.

RAMIN, A. Z. Deslocamento ao longo da noite e outros aspectos da biologia do opilião *Serracutisoma pseudovarium* no Parque Estadual Intervales, São Paulo, Brasil. 2014. Tese (Doutorado em Zoologia) Universidade de São Paulo.

SAVORY, T. H. Notes on the biology of harvestmen. **Journal Quekett Microsc. Club**. v. 1. p. 89–94. 1938.

- SEBER, G. A. A note on the multiple-recapture census. *Biometrika*, v. 52, p. 249-259, 1965.
- SCHWARZ, C. J.; ARNASON, A. N. A general methodology for the analysis of capture-recapture experiments in open populations. **Biometrics**, p. 860-873, 1996.
- SCHWARZ, C. J.; ARNASON, A. N. (2006) Jolly-Seber models in MARK. Program MARK “A Gentle Introduction”.
- SOARES, H. E. M. Opiliones da "Coleyao Gofferje" (Opiliones: Gonyleptidae, Phalangodidae). Sao Paulo: **Papeis avulsos**, v. 18, p. 87-102, 1966.
- SUNDEVALL, C. J.; HARDIN, S.; HAMMARGREN, E. T. (1833) *Conspectus Arachnidum*. Typ. CF Berling, 1833.
- TCHMERIS, A. N. Contribution to the knowledge of the harvestman fauna in the Russian Far East and Eastern Siberia (Arachnida: Opiliones). **Arthropoda Selecta**, v. 9, p. 31–49. 2000.
- TRAJANO, E.; DE PINNA, M. C. C. A new cave species of *Trichomycterus* from eastern Brazil Siluriformes, Trichomycteridae. **Revue Française d’Aquariologie et Herpetologie**, v. 23, p. 85-90, 1996.
- TRAJANO, E. Population ecology of *Trichomycterus itacarambiensis*, a cave catfish from eastern Brazil Siluriformes, Trichomycteridae. **Environmental Biology of fish**, v. 504, p. 357-369, 1997a.
- TRAJANO, E. Food and reproduction of *Trichomycterus itacarambiensis*, cave catfish from south-eastern Brazil. **Journal of Fish Biology**, v. 51, p. 53-63, 1997b.
- TRAJANO, E. Ecological classification of subterranean organisms. In: Culver D.C. White W.B. San Diego: **The encyclopedia of caves**, p. 275-277, 2012.
- TRAJANO, E. Variações anuais e infra-anuais em ecossistemas subterrâneos: implicações para estudos ambientais e preservação de cavernas. **Revista da Biologia**, 2013.
- TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. Diversity of Brazilian subterranean invertebrates, with a list of troglomorΦc taxa. **Subterranean Biology**, v. 7, p. 1-16, 2010.
- TRAJANO, E.; COBOLLI, M. (2012) Evolution of lineages. In: White W..B, Culver D..C, editors. *Encyclopedia of Caves*. Amsterdam: Elsevier Academic Press. 2012; pp. 230–234.
- TRAJANO, E.; GALLÃO J. E.; BICHUETTE, M. E. Spots of high diversity of troglobites in Brazil: the challenge of measuring subterranean diversity. **Biological Conservation**, v. 25 p. 1805-1828, 2016.
- TOBIN, B. W.; HUTCHINS, B. T.; SCHWARTZ, B. F. Spatial and temporal changes in invertebrate assemblage structure from the entrance to deep-cave zone of a temperate marble cave: *International Journal of Speleology*, v. 42, p. 203–214, 2013.

TODD, V. The habits and ecology of the British harvestmen (Arachnida, Opiliones) with special reference to those of the Oxford District. *Journal Animal Ecology*. v. 18, p. 209–229, 1949.

WILLEMART, R.; GNASPINI, P. Spatial distribution, mobility, gregariousness, and defensive behavior in the Brazilian cave harvestman *Goniosoma albiscriptum* (Arachnida, Opiliones, Laniatores). *Animal Biology*, v. 54, p. 221–235, 2004.

WHITE, G. C.; BURNHAM, K. P. Program MARK: survival estimation from populations of marked animals. *Bird study*, v. 46, p. 120-139, 1999.

ZAR, J.H. *Biostatistical analysis*. 5th Edition. Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ. p. 944, 2010.

CAPÍTULO 2

Estabilidade ambiental e compartilhamento de espaço: o caso das populações de aracnídeos troglófilos e troglóbios da Gruta Olhos d' Água, norte de Minas Gerais

(Submetido a revista *Austral Ecology* – Anexo)

RESUMO

Apesar de estar sob regime sazonal regional, tropical úmido e inverno seco, a Gruta Olhos d' Água mantém-se relativamente estável em relação aos parâmetros topoclimáticos. Dentre as populações de troglóbios, estão as do opilião *Iandumoema uai* Pinto-da-Rocha 1996 e do amblipígeo *Charinus eleonora* Baptista & Giupponi 2003, espécies foco deste trabalho. Além destas, analisamos opiliões do gênero *Eusarcus* encontradas na caverna, *Eusarcus cavernicola* Hara & Pinto-da-Rocha 2010 e *Eusarcus aduncus* Mello-Leitão 1942. Verificamos as abundâncias com relação às variações sazonais de temperatura e umidade, e a distribuição espacial dessas populações na caverna. Utilizamos a metodologia de captura e marcação em seis ocasiões (Junho/2014, Agosto/2014, Outubro/2014, Junho/2015, Setembro/2015 e Outubro/2015). Marcamos os indivíduos com tinta lacanitrocelulose de secagem rápida no escudo dorsal e pernas IV. As amostras foram ao longo de 1.500 m da caverna, trecho que foi dividido em 50 bases de 30 m a partir da ressurgência, entrada, da caverna. A partir dessa metodologia contabilizamos os indivíduos, o maior valor foi para *I. uai* (n=2.302, 83,1%), seguido por *C. eleonora* (n=211, 7,6%). As populações *E. cavernicola* e *E. aduncus* apresentaram abundâncias de 134 (4,8%) e 122 (4,4%) indivíduos, respectivamente. Além disso, troglóbios e tróglófilos mostraram distribuições espaciais distintas, *E. aduncus* e *E. cavernicola* restritos a até 540 m de distância da ressurgência da caverna, *I. uai* e *C. eleonora* principalmente em regiões mais profundas, de 540 até 1.500 m. A distribuição espacial da população de *I. uai* está relacionada a aspectos físicos como, distância da ressurgência e presença de microhabitats e ao histórico e tempo de colonização das populações troglóbias e tróglófilas.

Palavras-chave: Ambiente subterrâneo, distribuição espacial, troglóbio, *Iandumoema uai*, *Charinus eleonora*.

ABSTRACT

The Olhos d'Água cave is considered a spot of high subterranean biodiversity in Brazil. The region is under tropical climate, with wet summers and dry winters (Köppen's Aw), but the cave environment is relatively stable in relation to topoclimatic parameters. Amongst the populations of troglobites, are those of the harvestmen *Iandumoema uai* and the amblypygi *Charinus eleonora*, both the main focus of this study. We also analyzed two *Eusarcus* harvestmen, *E. cavernicola* and *E. aduncus*, both troglaphiles, to understand how the different species were distributed along the cave. We hypothesized that the species present spatial segregation related and seasonal variations in their distribution. For all species, we compared the abundances in relation to seasonal changes (temperature and humidity), and their spatial distribution. We used the methodology of mark-recapture on six occasions and marked the individuals with lacanitrocelulose quick-drying on the dorsal shields and legs IV. We conducted samples on the accessible section of the cave, totaling 1.500 m divided into 50 bases, each one with 30 m of length, starting from the resurgence. Based on this methodology for the different populations, the highest values of abundances were for *I. uai* (n = 2.302, 83.1%), followed by *C. eleonora* (n = 211, 7.6%). The populations of *E. cavernicola* and *E. aduncus* showed abundances of 134 (4.8%) and 122 (4.4%) individuals, respectively. In addition, troglobites and troglaphiles had different spatial distributions, *E. cavernicola* and *E. aduncus* restricted to 540 m upstream away from the cave entrance, *I. uai* and *C. eleonora* mainly in regions from 540 to 1.500 m. Indeed, the spatial distribution of *I. uai* was related to physical aspects, such as distance from the entrance and the presence of microhabitats and historical history and colonization of the populations troglaphiles and troglobites.

Keywords: Subterranean environment, spatial distribution, troglobite, *Iandumoema uai*, *Charinus eleonora*.

2.1 INTRODUÇÃO

Populações podem responder às variações de temperatura e umidade tanto em ambientes superficiais (BELOZEROV, 2013; PAGOTI; WILLEMART, 2015) quanto em subterrâneos (MAMMOLA et al., 2015). Tais repostas são observadas em diversas espécies cavernícolas e referem-se às diferenças nas abundâncias, taxas de recrutamento, comportamentos, deslocamentos, ocupação e distribuição espacial (TRAJANO, 1997; TOBIN et al., 2013; MAMMOLA et al., 2015). Além disso, a dinâmica de diferentes populações cavernícolas está relacionada com características ambientais marcantes como a tendência à estabilidade ambiental e a ausência permanente da luz (POULSON; WHITE, 1969; CULVER; PIPAN, 2009).

O ambiente subterrâneo, ou hipógeo, é definido como conjunto de espaços da subsuperfície preenchido por ar ou água, ausência total e permanente da luz e relativa estabilidade ambiental, com pouca variação de temperatura e umidade relativa do ar próximo da saturação (JUBERTHIE, 2000; CULVER; PIPAN, 2009). Como consequência os recursos alimentares podem ser escassos, predominando o aporte alóctone, os processos biológicos dependentes da luz, como comportamentos visuais, atividades circadianas e secreção de hormônios são comprometidos (LANGECKER, 2000). Devido às características impostas pelo ambiente, as comunidades cavernícolas possuem diferenças marcantes com relação às superficiais (TRAJANO; COBOLLI, 2012).

A fauna cavernícola é classificada ecológico-evolutivamente em três classes segundo Schiner-Racovitza (RACOVITA, 1907; TRAJANO, 2012). Populações de espécies superficiais com hábitos noturnos e dieta generalista são encontradas frequentemente em cavernas (TRAJANO; COBOLLI, 2012). Algumas destas espécies ao longo do tempo podem estabelecer populações no ambiente hipógeo e epígeo, com

indivíduos se deslocando de um habitat para o outro, estes são chamados de troglófilos (TRAJANO, 2012). Em alguns casos, podem dar origem a espécies diferentes, devido à eventos vicariantes, estabelecendo populações de origem exclusivamente no ambiente hipógeo. Estas espécies com populações restritas ao meio subterrâneo são chamadas de troglóbios. Há ainda espécies que são encontradas regularmente em cavernas, mas com populações fonte superficial, os troglógenos (TRAJANO, 2012).

No ambiente cavernícola a distribuição espacial e a dinâmica populacional estão relacionadas à heterogeneidade ambiental, disponibilidade de recursos (BARR; KUEHNE, 1971; POULSON, 2005), história de colonização (FONG; CULVER, 1994), interação entre espécies e variabilidade microclimática (BARR; KUEHNE, 1971; HOWARTH, 1980; CULVER, 2009). Em regiões temperadas variações de temperatura e umidade são pronunciadas tanto no ambiente superficial como no subterrâneo, e influenciam na distribuição de populações de troglófilos, troglógenos e troglóbios (FEJÉR; MOLDOVAN, 2013). Entretanto, em cavernas localizadas em regiões tropicais a sazonalidade geral tende a ser distintamente menor. Nestes casos, mudanças temporais de temperatura e umidade superficiais podem não estar relacionadas a padrões de distribuição espacial e mudanças em populações cavernícolas.

Neste trabalho investigamos a distribuição espacial e a abundância populacional de aracnídeos da Gruta Olhos d' Água, município de Intacarambi, Minas Gerais. Considerando o regime sazonal da região, tropical úmido e inverno seco, e a tendência à estabilidade ambiental da caverna, investigamos as populações do opilião *Iandumoema uai* Pinto-da-Rocha (1996) e do amblipígeo *Charinus eleonora* Baptista e Giupponi (2003), ambos troglóbios. Além destas, consideramos populações dos opiliões *Eusarcus cavernicola* Hara e Pinto-da-Rocha (2010) e *Eusarcus aduncus* Mello-Leitão (1942), ambos classificados como troglófilos.

As quatro populações estão distribuídas na zona afótica da Gruta Olhos d' Água e representam uma parte significativa da comunidade de aracnídeos da caverna. Além disso, são ecologicamente próximas, com hábitos semelhantes. Entretanto, esperamos que estas populações estejam distintamente distribuídas ao longo do conduto, com abundâncias distintas e pouco relacionadas a variações anuais de temperatura e umidade. Sendo assim, pretendemos responder duas questões centrais: 1) Há flutuações sazonais nas abundâncias de *I. uai*, *C. eleonora*, *E. cavernicola* e *E. aduncus*? 2) Há sobreposição na distribuição espacial de troglóbios (*I. uai* e *C. eleonora*) e troglófilos (*E. cavernicola* e *E. aduncus*)? Para responder estes questionamentos, calculamos as abundâncias durante seis ocasiões ao longo de 1.500 m na caverna.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo, as espécies estudadas e a metodologia utilizada para marcação e recaptura de indivíduos estão descritos nos itens das páginas 6 e 23, respectivamente.

Medidas das bases

Considerando o trecho estudado (1.500m) da Gruta Olhos d' Água, utilizamos medidas de distância, altura e largura de cada base com objetivo de caracterizar fisicamente cada uma das bases amostradas. As medidas de distância foram feitas com auxílio de trena à laser e as medidas aproximadas de altura e largura foram feitas com auxílio de trena manual à partir fotografias de cada uma das 50 bases (Tabela 2.1).

Medidas de temperatura e umidade

Realizamos medidas de temperatura e umidade ao longo de cada viagem registramos com auxílio de termohigrômetro temperatura e umidade na entrada (Te e URe) e no interior da caverna, hipógeo (Th e Uh). Para os meses de 2014 (Junho, agosto e outubro) registramos três medidas de temperatura e umidade em dias distintos e para os meses de 2015 (Junho, setembro e outubro) registramos cinco medidas. Ainda, utilizamos dados regionais epígeos (Tep e URep) provenientes de três estações de medidas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2015) localizadas nos municípios Chapada Gaúcha, Mocambinho e Maltavânia, distantes aproximadamente 190, 250 e 100 km da entrada da caverna, respectivamente.

Tabela 2.1. Características ambientais do trecho (1.500m) estudado da gruta Olhos d' Água, município de Itacarambi, Minas Gerais.

Base	Altura do conduto (m) (mín-máx)	Distância da ressurgência(m)	Descrição geral das bases	Descrição dos microhabitats
0-1	1,5-1,8	0-10	Zona de entrada em ressurgência, seguida por pequeno trecho de zona de penumbra.	Presença de microespaços
1-14	1,9- 3,5	10-420	Início da zona afótica. Salão volumoso entre as bases 4 e 5, restrição na base 14	Presença de microespaços, cortinas, concreções
15-18	1,8-2,5	420-540	Região entre duas restrições. Base 18 restrição de aproximadamente 1,1m de altura e 0,6 de largura	Presença de microespaços, cortinas, concreções
19-32	1,4-1,9	540-960	Conduto. Diminuição gradativa na altura do conduto a partir da base 25	Presença de microespaços, cortinas, concreções. Rocha lisa a partir dos 600m
33-41	0,9-1,2	960-1230	Conduto em teto baixo	Teto do conduto formado por rocha lisa
42-46	2,5-10,5	1230-1380	Conduto em fenda	Presença de microespaços, cortinas, concreções
47-49	0,9-1,2	1380-1470	Conduto. Teto baixo formado por rocha lisa, com poucas fendas e micro espaços	Teto e paredes do conduto formado por rocha lisa
50	4-15,5	1470-1500	Região profunda com alturas superiores a 15m	Presença de microespaços, cortinas, concreções

Análise dos dados

Para analisar a variação de temperatura e umidade epígea (Tep e URep) utilizamos o teste para análise de dados circulares de Watson-Wheeler (ZAR, 2012) para as médias de cada mês de 2014 e 2015. Medimos de temperatura e umidade na entrada da caverna (Te e URe) e no ambiente hipógeo (Th e URh) em cada uma das viagens e analisamos com o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (GOTELLI; ELLISON, 2011).

Analisamos as abundâncias de cada ocasião com relação às variações sazonais de temperatura e umidade regional (Tep e URep) da entrada da caverna (Te) e hipógeo (Th e URh). Para tanto, utilizamos uma Análise de Correspondência Canônica (Canonical Correlation Analysis – CCA) para quantificar a associação entre estes dois grupos de variáveis (OKSANEN, 2011). A CCA é uma análise multivariada utilizada para elucidar as relações entre uma comunidade e o ambiente (TER BRAAK, 1986), associando os dados das variáveis ambientais (Tep, Te, Th, e URep, e URh) com a matriz de abundância das espécies (*I. uai*, *C. eleonora*, *E. cavernicola* e *E. aduncus*) em cada uma das seis ocasiões de amostragens (Junho/2014, Agosto/2014, Outubro/2014, Junho/2015, Setembro/2015 e Outubro/2015). Assim é empregada para discriminar a proporção da variação total dos dados das espécies que é explicada pelas variáveis ambientais (TER BRAAK, 1986).

2.3 RESULTADOS

Distribuição espacial

As quatro populações estudadas não estão distribuídas de forma homogênea ao longo da Gruta Olhos d' Água (Figura 2.1). As espécies troglófilas ocorrem até no máximo 540 m à montante da entrada, não ocorrendo em regiões mais profundas da

gruta (Figura 8c e d). Com relação à distribuição das populações troglóbias de *I.uai* e *C. eleonora* a análise de covariância mostrou que a abundância de *I. uai* ao longo de 1.500 m (Figura 2.1a e 2.1b) está correlacionada significativamente ($p < 0,05$) com a distância e a altura do conduto (Tabela 2.1). Neste caso, o melhor modelo (b. AIC=305,42) foi o que considerou a interação entre estas duas variáveis (dist*teto). Essa correlação não foi observada para *C. eleonora*, provavelmente devido a sua ampla distribuição, ocorrendo em regiões profundas e próximas a entrada da caverna (Tabela 2.1).

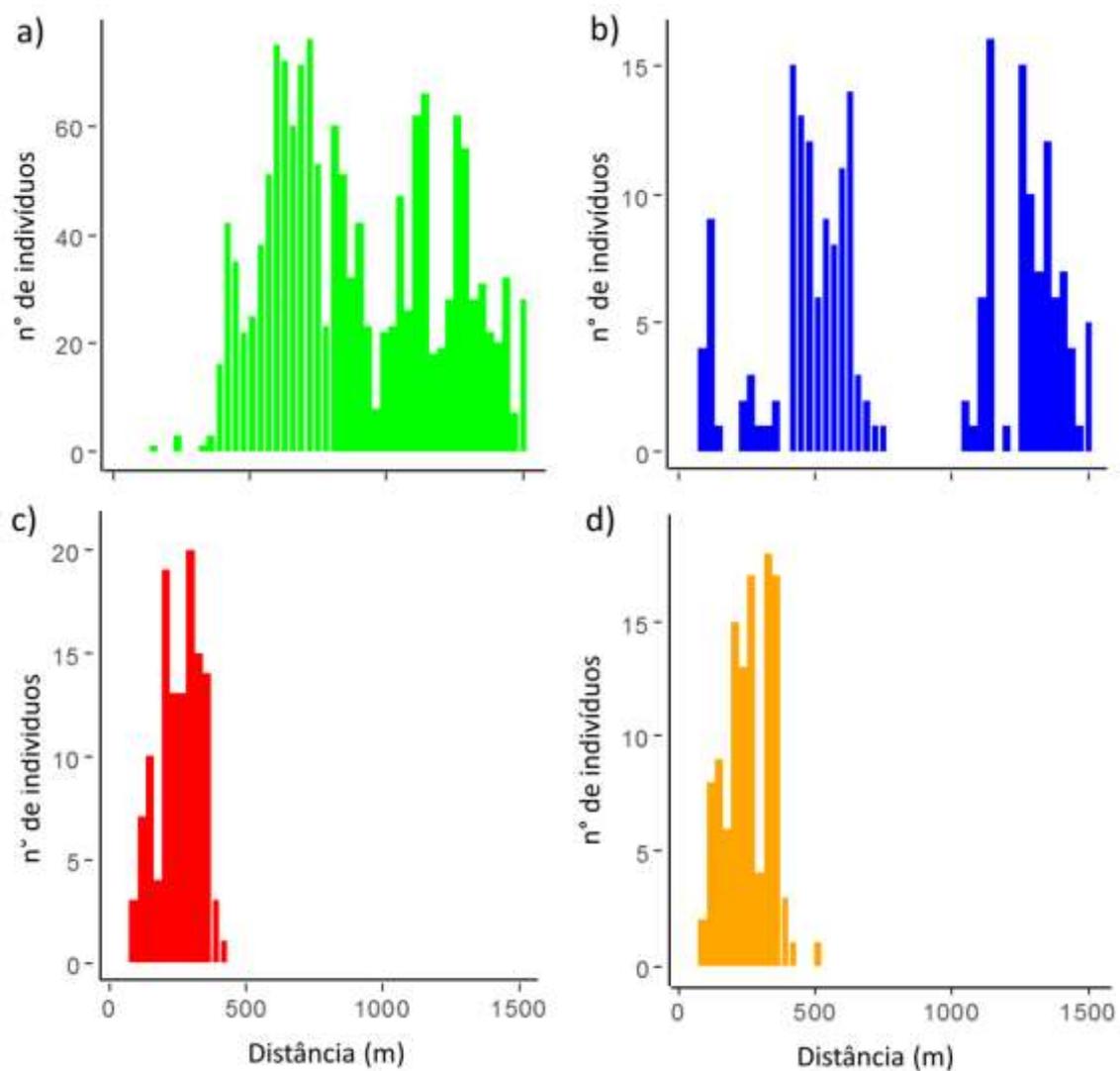


Figura 2.1 - Distribuição espacial das populações ao longo de 1.500 metros da Gruta Olhos d' Água, município de Itacarambi, Minas Gerais. a) *Iandumoema uai*, b) *Charinus eleonorae*, c) *Eusarcus cavernicola* e c) *Eusarcus aduncus*.

Abundância e influência climática

Durante as seis campanhas realizadas na Gruta Olhos d' Água capturamos e marcamos 2.769 indivíduos distribuídos nas faixas etárias adulto e jovem. A população mais abundante em todas as ocasiões foi a de *I. uai* (n=2.302, 83,1%), com 59% de adultos e 41% de jovens. Em seguida, o amblipígeo *C. eleonora* (n=211, 7,6%). As populações dos troglófilos *E. aduncus* e *E. cavernicola* apresentaram abundâncias muito próximas durante, 134 (4,8%) e 122 (4,4%), respectivamente. Capturamos poucos indivíduos jovens das populações de *Eusarcus*, cinco para *E. aduncus* e nenhum para *E. cavernicola*.

Medidas de temperatura e umidade relativa do ar epígeas provenientes de três estações climáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) mostram que a temperatura (Tep) e umidade (URep) variaram pouco durante os meses do ano de 2014 e 2015. O teste de Watson-Wheeler mostrou que as médias dos meses são homogêneas tanto para temperatura ($W = 0,36109$, $df = 2$, $p\text{-value} = 0,8348$) quanto para umidade ($W = 4,3686$, $df = 2$, $p\text{-value} = 0,1126$) (Figura 2.5).

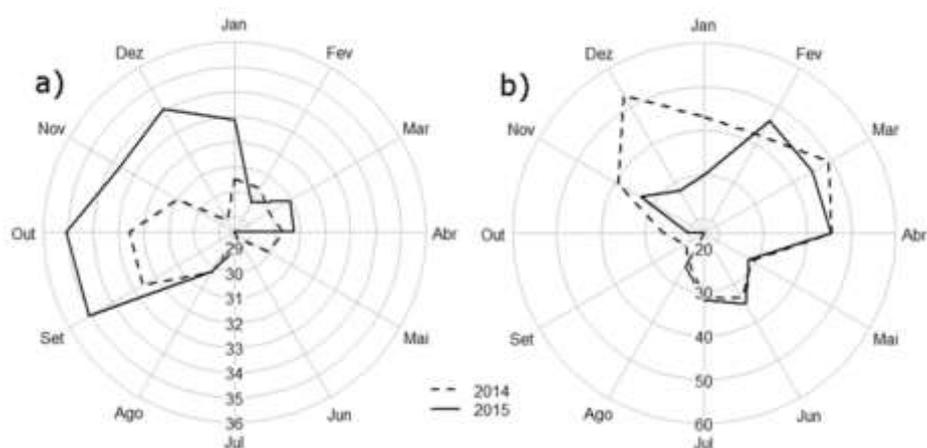


Figura 2.2 - Análise circular. a) temperatura (Tep), b) umidade epígea (URep) das estações dos municípios Chapada Gaúcha, Mocaminho e Moltalvânia da região do vale do Peruaçu, Minas Gerais.

Considerando as seis ocasiões de estudo, medidas para ambiente hipógeo e para entrada da caverna durante mostram que temperatura (T_h e T_e) e umidade relativa do ar (UR_h e UR_e) não variaram significativamente ($H = 6,736$, $p > 0,05$; $H = 9,885$, $p > 0,05$). Porém, o mês de Outubro/2015 ($T_h = 29,06 \pm 0,31$) apresentou temperatura média significativamente maior ($p < 0,05$) que Janeiro/2014 ($T_h = 26,33 \pm 0,88$) e Junho/2015 ($25,7 \pm 1,4$). Com relação à umidade essas diferenças ($p < 0,05$) foram entre Outubro/2015 ($74,1 \pm 0,93$) e Junho/2015 ($85,96 \pm 3,02$), e entre Junho/2015 e Outubro/2014 ($70,03 \pm 2,4$) (Figura 2.6).

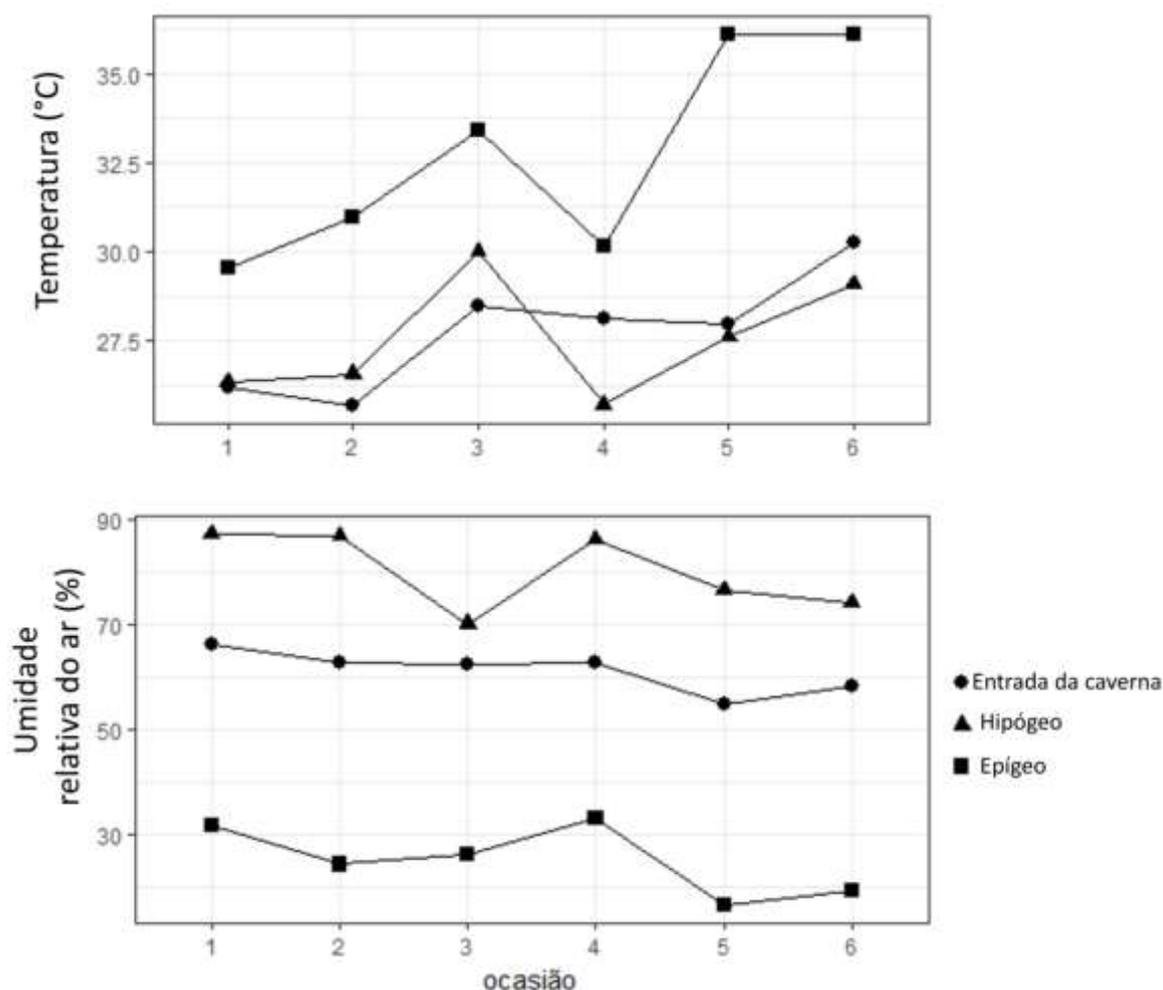


Figura 2.3 – Valores de temperatura e umidade relativa do ar medidas em cada umas das ocasiões de captura. Temperatura e umidade na entrada da caverna (T_e e UR_e), hipógea (T_h e UR_h) e epígea (T_{ep} e UR_{ep}). 1-6, Junho/2014, Agosto/2014, Outubro/2014, Junho/2015, Setembro/2015 e Outubro/2015.

Considerando-se a análise de correspondência canônica, os autovalores para os dois primeiros eixos foram de 0,05 e 0,016 e explicam 74 e 24% da variância total dos dados, respectivamente. Nos dois eixos temperatura e umidade foram negativamente correlacionadas (Figura 2.7). No primeiro a temperatura na entrada da caverna (Te) apresenta o maior valor de correlação (0,152) e a umidade regional (URep) negativamente correlacionada (-0,553). No segundo eixo o vetor que melhor se correlaciona é a temperatura epígea (Tep) (0,601) seguido pela temperatura hipógea (Th).

Com relação às populações, no primeiro eixo somente *I. uai* apresentou correlação positiva (0,098). A população de *E. aduncus* foi correlacionada negativamente nesse eixo (-0,504), seguida por *E. cavernicola* e *C. eleonora*. Estes valores indicam que esta população varia pouco em relação às variáveis ambientais temperatura e umidade ao longo do tempo, ou seja, não possui variação sazonal (Figura 2.4). Ao contrário a população de as abundâncias de *C. eleonora* e *E. aduncus* parecem responder a variações de temperatura e umidade (Tabela 2.2).

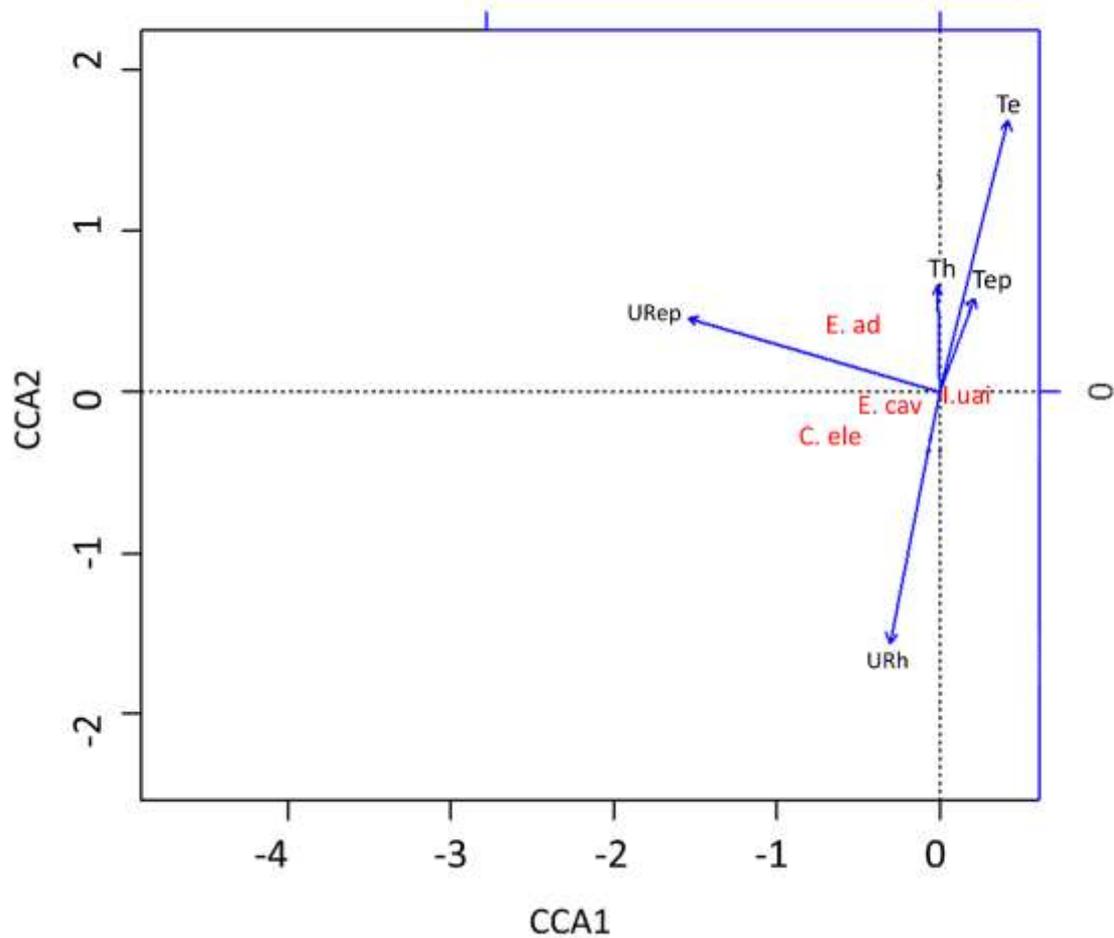


Figura 2.4 – Gráfico de ordenação da Análise de Correlação Canônica entre as abundâncias da cada população (*I. uai* = iuai, *C. eleonora* = cha, *E. aduncus* = ead, *E. cavernicola* = ecav) e temperatura e umidade epígea (Tep e Uep), hipógea (Th e Uep) e zona de entrada (Te).

Tabela 2.2 - Correlação canônica. Auto valores para CCA1 e CCA2 e coeficientes de correlação para as espécies e variáveis ambientais.

EIXOS	CCA1	CCA2
auto valores	0,0504	0,016
proporção explicada	0,748	0,244
Espécies		
<i>I. uai</i>	0,098	-0,001
<i>C. eleonora</i>	-0,059	-0,024
<i>E. aduncus</i>	-0,504	0,489
<i>E. cavernícola</i>	-0,274	-0,073
Variáveis ambientais		
Temperatura hipógea (Th)	-0,003	0,023
Temperatura entrada da caverna (Te)	0,152	0,601
Temperatura epígea (Tep)	0,078	0,206
Umidade epígea (URep)	-0,553	0,162
Umidade hipógea (URh)	-0,109	-0,092

2.4 DISCUSSÃO

A segregação espacial observada entre as populações dos troglóbios *I. uai* e *C. leonora* e dos troglófilos *E. cavernicola* e *E. aduncus* pode ser explicada por fatores como disponibilidade de recursos, variabilidade microclimática e histórico de colonização. Muitas das evidências sugerem que a segregação espacial de espécies é resultado da competição por espaços, devido ao uso e disponibilidade de recursos (MACARTHUR, 1972; SCHOENER, 1974). Entretanto, para o ambiente subterrâneo a variação da estrutura da comunidade e de suas populações pode estar associada ao efeito combinado características físicas e microclimáticas do ambiente (LUNGHI, et al., 2014). Mesmo para populações de predadores a distribuição espacial não foi relacionada com a competição, mas sim com a alta quantidade de recursos alimentares e efeitos históricos, relacionados à competição passada (RESENDE; BICHUETTE, 2016).

O aporte alimentar na Gruta Olhos d' Água ocorre principalmente devido à ocorrência de trombas d' água durante o período chuvoso na região (Janeiro a Maio). Durante esses meses, o fluxo de água para o interior da caverna aumenta, carregando detritos variados, como galhos, folhas, sementes, etc. Além disso, manchas de guano fresco de populações de morcegos frugívoros, hematófagos, e nectarívoros, por exemplo, *Carollia perspicillat*, *Desmodus rotundus*, *Diphylla ecaudata* e uma espécie da Subfamília Golossophaginae, são encontradas frequentemente ao longo do conduto. Outro aspecto que deve ser considerado é a abundância e a qualidade dos recursos alimentares da Gruta Olhos d' Água que pode ser corroborado pela diversidade da comunidade, com ocorrência de troglóbios, troglófilos e troglóxenos, além de um relictivo biogeográfico, sendo considerado um dos *spots* de diversidade de troglóbios do Brasil (TRAJANO et al., 2016). Muitos trabalhos, tanto em cavernas tropicais como em cavernas temperadas, associaram a diversidade das comunidades subterrâneas com a

abundância de alimentos. Cavernas que apresentam grande quantidade e qualidade de nutrientes podem apoiar comunidades mais diversificadas e robustas (POULSON; WHITE, 1969, GNASPINI-NETTO, 1989; JUBERTHIE; DECU, 1994; GNASPINI; TRAJANO, 2000; DEHARVENG; BEDOS, 2012; DEHARVENG et al., 2012; POULSON, 2012).

Muitos estudos associaram a distribuição e a segregação de populações a aspectos estruturais e microclimáticos do ambiente subterrâneo (LUNGHI, et al., 2014; MAMMOLA et al., 2015). A estrutura do conduto da Gruta Olhos d' Água ao longo do trecho estudado é diversa, principalmente pela ocorrência de microhabitats em regiões com maiores alturas, mas também, pela ocorrência de regiões que possuem o teto com alturas máximas a 1,2 m e restrições, onde o nível da água sobe rapidamente durante o período chuvoso. Para os troglóbios a presença de microhabitats, como fendas na rocha e pequenas tocas, está associada a alta abundância e distribuição, do opilião *I. uai* e do amblipígeo *C. elenora*. Com relação as populações dos troglófilos *E. cavernicola* e *E. aduncus*, a distribuição está limitada por um forte restrição à aproximadamente 500 m à montante da ressurgência que é submetido a elevações periódicas no nível da água, durante a estação chuvosa. Entretanto, consideramos que aspectos relacionados ao histórico e tempo de colonização devem estar associados a separação espacial entre troglóbio e troglófilos aqui estudados. Neste caso, consideramos que *E. cavernicola* e *E. aduncus* possuem distribuições restritas devido ao tempo menor de colonização que troglóbios e a barreira física provocada pela restrição.

Aspectos da dinâmica populacional de espécies troglóbias podem variar com relação ao clima do ambiente hipógeo, e este por sua vez em relação às variações sazonais de temperatura e umidade do ambiente superficial (FEJÉR; MOLDOVAN, 2013; TOBIN et al., 2013). Com relação à temperatura e umidade, as populações

estudadas não apresentaram sazonalidade evidente. Neste caso as respostas estão atenuadas no ambiente hipógeo devido a baixa variação de temperatura e umidade altas (90%) durante o período de estudo. Apesar da variação observada no ambiente epígeo, a caverna mantém-se relativamente estável em relação temperatura e umidade. Para a população do troglóbio *I. uai*, abundância não variou significativamente nas diferentes ocasiões, mantendo-se alta em todos os períodos. Mesmo para *E. cavernicola* e *E. aduncus* a abundância não variou durante as ocasiões. Ainda, devemos considerar a possibilidade de ciclos infra-anuais, superiores a um ano, como fator influenciador de variações populacionais (MARQUES; MENNA-BARRETO, 1999; TRAJANO, 2013).

Em cavernas de regiões temperadas do leste europeu diferenças significativas foram detectadas no deslocamento, distribuição e abundância dos besouros troglóbios *Sphodropsis ghiliani* e *Dellebeffaella roccae*. Tais diferenças foram observadas relacionando estudos de longo prazo em regiões mais superficiais da caverna, zona de entrada, onde temperatura e umidade variam seguindo o padrão sazonal epígeo, e regiões profundas, zona afótica, onde as variações microclimáticas motivadas pela sazonalidade ambiental da superfície são atenuadas (MAMMOLA et al., 2015). Nossos dados não seguem esse padrão, pois, em áreas tropicais a sazonalidade é menor que em regiões tropicais influenciando na alta abundância de indivíduos adultos durante o todo ano (NOVOTNY; BASSET, 1998).

Alguns estudos de cunho populacional para diferentes espécies cavernícolas brasileiras mostram resultados variados. Diplópodes troglóbios *Leodesmus yporangae* de cavernas do Alto do Ribeira (São Paulo), mostram decréscimos consideráveis nas abundâncias (THOMPSON; MORACCHIOLI, 1996). Estudos populacionais com o bagre troglóbio *Trichomycterus itacarambiensis*, endêmico da Gruta Olhos d' Água, demonstraram padrões sazonais de reprodução e baixas flutuações nas estimativas

populacionais, apesar de sutis diminuições desses valores ao longo do período de estudo (TRAJANO, 1997). Fatores climáticos como precipitação e enchentes periódicas atuam na abundância e recrutamento de adultos e sub-adultos do peixe elétrico troglóbio *Eigenmannia vicentespelaea* Triques (1996), endêmico do sistema de cavernas São Vicente, Goiás (BICHUETTE; TRAJANO, 2015). Análises ecológicas de populações do opilião troglóxico *Goniosoma spelaum* Mello-Leitão, 1932 em cavernas do Vale do Ribeira, estado de São Paulo, mostram diferentes estimativas em diferentes períodos do ano. Além disso, detectaram deslocamentos periódicos de forrageio nos ambientes epígeos do entorno das cavernas estudadas (GNASPINI, 1996).

As populações aqui estudadas possuem abundâncias diferentes entre elas e respostas distintas às variações de temperatura e umidade. Apesar de estar sob regime sazonal, a caverna mantém-se em relativa estabilidade ambiental. A estabilidade topoclimática da Gruta Olhos d'Água provavelmente é um fator crucial no regime seletivo para ocorrência de troglóbios, corroborado, inclusive pela existência de diversas populações de troglóbios, inclusive um relicto (PÉREZ-GONZÁLEZ et al., 2016; TRAJANO et al., 2016). Ao longo do trecho estudado, troglóbios e troglófilos possuem distribuições espaciais distintas, *E. aduncus* e *E. cavernicola* restritos às regiões próximas à entrada. Ao contrário, os troglóbios *I. uai* e *C. eleonora* são encontrados em regiões mais profundas. Além disso, para a população de *I. uai* aspectos físicos como, distância da ressurgência (entrada), altura do conduto e presença de microhabitats devem regular a distribuição das abundâncias.

2.5 REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. **Os domínios morfoclimáticos na América do Sul**. Primeira aproximação. São Paulo, Geomorfologia, 1977. 52, p. 1–21.
- AULER, A., RUBBIOLI, E. & BRANDI, R. **As grandes cavernas do Brasil**. Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, Belo Horizonte, 2001. 228 p.
- BARR, T. C. (1968) Cave ecology and the evolution of troglobites. **Evolutionary biology** Springer US. p. 35-102.
- BARR, T. C.; KUEHNE, R. A. Ecological studies in the Mammoth cave system of Kentucky: II. The ecosystem. **Ann. speleol.** v. 26, p. 47-96, 1971.
- BAPTISTA, R. L. C.; GIUPPONI, A. P. New troglomorphic *Charinus* from Minas Gerais state, Brazil Arachnida: Amblypygi: Charinidae. **Revista Ibérica de Aracnologia**, v. 7, p. 79-84, 2003.
- BELOZEROV, V. N. Seasonal aspects of the life cycles of pseudoscorpions Arachnida, Pseudoscorpiones. **Entomological Review**. v. 93, p. 634-652, 2013.
- BICHUETTE, M. E.; TRAJANO, E. Population density and habitat of an endangered cave fish *Eigenmannia vicentespelaea* Triques, 1996 Ostariophysi: Gymnotiformes from a karst area in central Brazil. **Neotropical Ichthyology**, v. 131, p. 113-122, 2015.
- CHECA, M.F., RODRIGUEZ J., WILLMOTT K.R.; LIGER B. Microclimate variability significantly affects the composition, abundance and phenology of butterfly communities in a highly threatened Neotropical dry forest. **Florida Entomologist**, v. 97, p. 1–13, 2014.
- CULVER, D. C., & PIPAN, T. **The biology of caves and other subterranean habitats**. OUP Oxford, 2009.
- DEHARVENG, L.; BEDOS, A. Diversity patterns in the tropics. In: WHITE, W.B.; CULVER, D.C. **Encyclopedia of caves**. Waltham (MA): Elsevier, 2012, p. 238–250.
- DEHARVENG, L.; GIBERT, J.; CULVER, D.C. Diversity patterns in Europe. In: WHITE, W.B.; CULVER, D.C. **Encyclopedia of caves**. Waltham (MA): Elsevier; p. 219–228, 2012.
- FEJÉR, A.; MOLDOVAN, O. T. Population size and dispersal patterns for a *Drimeotus* Coleoptera, Leiodidae, Leptodirini cave population. **Subterranean Biology**, v. 11, p. 31-44, 2013.
- FONG, D. W.; CULVER, D. C. Fine-scale biogeographic differences in the crustacean fauna of a cave system in West Virginia, USA. **Hydrobiologia**, v. 287, p. 29-37, 1994.
- GNASPINI, P. Population ecology of *Goniosoma spelaicum*, a cavernicolous harvestman from south-eastern Brazil (Arachnida: Opiliones: Gonyleptidae). **Journal of Zoology**, v. 239, p. 417-435, 1996.

GNASPINI, P, TRAJANO, E. Guano communities in tropical caves. In: WILKENS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHREYS, W. F. **Ecosystems of the world: subterranean ecosystems**. Amsterdam: Elsevier, p. 251-268, 2000.

GOTELLI N, J.; ELLISON A. M. **Princípios de estatística em ecologia**. Artmed, Porto Alegre, 2011.

HARA M, R.; PINTO-DA-ROCHA, R. Systematic review and cladistic analysis of the genus *Eusarcus* Perty 1833 (Arachnida, Opiliones, Gonyleptidae). **Zootaxa**, v. 2698, p. 1-136, 2010.

JUBERTHIE, C. (2000) The diversity of the karstic and pseudokarstic hypogean habitats in the world. In: WILKENS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHREYS, W. F. **Ecosystems of the World**, Amsterdam: Elsevier, 2000, p. 17-39.

JUBERTHIE, C.; DECU, V. (1994). Structure et diversité du domaine souterrain: particularités des habitats et adaptations des espèces. In: _____ . **Encyclopaedia Biospeleologica Tome I**. Moulis (France): Moulis-Bucarest, Société de Biospéologie; 1994, p. 5–22.

LANGHECKER, T. G. The effects of continuous darkness on cave ecology and cavernicolous evolution. In: WILKENS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHREYS, W. F. **Ecosystems of the World**. Amsterdam: Elsevier, 2000, p. 135–157.

LOBO, H. A. S.; PERINOTTO, J. A. J.; BOGGIANI, P. C. Monitoramento espeleoclimático do trecho turístico da caverna Santana Petar, speleoclimatic monitoring of the tourist zone of Santana Cave-Petar, São Paulo. **Revsita Mercator**, v. 13, p. 227- 341, 2014.

LUNGHI, E.; MANENTI, R.; FICETOLA, G. F. Do cave features affect underground habitat exploitation by non-troglobite species? **Acta Oecologica**, v. 55, p. 29-35, 2014.

MACARTHUR, R.; LEVINS, R. The limiting similarity, convergence and divergence of coexisting species. **The American Naturalist**. v. 101, p. 377–385, 1967.

MAMMOLA, S.; PIANO, E.; GIACHINO, P. M.; ISAIA, M. Seasonal dynamics and micro-climatic preference of two Alpine endemic hypogean beetles. **International Journal of Speleology**. v. 44, p. 239, 2015.

MANENTI, R.; LUNGHI, E.; FICETOLA, G. F. The distribution of cave twilight-zone spiders depends on microclimatic features and trophic supply. **Invertebrates Biology**. v. 134, p. 242-251, 2015.

MARQUES, N.; MENNA-BARRETO, L. S. **Introdução ao Estudo da Cronobiologia**. EDUSP Ícone Editora, Sao Paulo, 1999.

MONTE, B. G. O.; GALLÃO, J. E.; VON SCHIMONSKY, D. M.; BICHUETTE, M. E. New records of two endemic troglobitic & threatened arachnids Amblypygi & Opiliones from limestone caves of Minas Gerais state, southeast Brazil. **Biodiversity data Journal**, v. 3, 2015.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro, IBGE. 1979.

NOVOTNY, V.; BASSET, Y. Seasonality of sap-sucking insects Auchenorrhyncha, Hemiptera feeding on Ficus Moraceae in a lowland rain forest in New Guinea. **Oecologia**, v. 115, p. 514–522, 1998.

OKSANEN, J. Constrained Ordination: Tutorial with R and vegan. 9, 2011.

PAGOTI, G. F.; WILLEMART, R. H. Strong seasonality and clear choice of resting plant in a Neotropical harvestman (Arachnida: Opiliones). **Journal of Arachnology**. v. 43, p. 207-213l, 2015.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences Journal**. v. 42, p. 439-473, 2007.

PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; PROUD, D. N.; CECARELLI, S. F.; CRUZ-LÓPEZ, J.; OLIVEIRA DO MONTE, B. G.; BICHUETTE, M. E. A seletiva arca de Noé: Opiliones Arthropoda: Arachnida relictuais cavernícolas evidenciam a história geoclimática do planeta. In: **XXXI Congresso Brasileiro de Zoologia**, Cuiabá, p. 755, 2016.

PINTO-DA-ROCHA, R. *Iandumoema uai*, a new genus and species of troglobitic harvestman from Brazil (Arachnida, Opiliones, Gonyleptidae). **Revista Brasileira de Zoologia**. v. 13, p. 843-848, 1996.

PINTO-DA-ROCHA, R. Description of male of *Daguerreia inermis* Soares & Soares, with biological notes on population size in gruta da Lancinha, Paraná, Brazil (Arachnida, Opiliones, Gonyleptidae). **Revista Brasileira de Zoologia**. v. 13, p. 833–842, 1996a.

PINTO-DA-ROCHA, R. Biological notes on and population size of *Pachylospaleus strinatii* Silhavy', 1974 in the gruta das Areias de Cima, Iporanga, south-eastern Brazil (Arachnida, Opiliones, Gonyleptidae). **Bulletin of the British Arachnological Society**. v. 10, p. 189–192, 1996b.

PINTO-DA-ROCHA, R.; DA FONSECA-FERREIRA, R.; BICHUETTE, M. E. A new highly specialized cave harvestman from Brazil and the first blind species of the genus: *Iandumoema smeagol* sp. n. (Arachnida, Opiliones, Gonyleptidae). **ZooKeys**, v. 537, p.79-95, 2015.

POULSON, T. L. **Food sources**. Encyclopedia of caves. Elsevier, Burlington, 2005.

POULSON, T. L.; WHITE, W. B. **The cave environment**. Science. 1969, v. 165, p. 971–980.

POULSON, T. L.; & LAVOIE, K. The trophic basis of subsurface ecosystems, 2000.

POULSON, T. L. Food sources. In: White WB, Culver DC, editors. **Encyclopedia of caves**. Waltham (MA): Elsevier; 2012, p. 323–334.

RACOVITĂ, E.G. Essai sur les problèmes biospéologiques. **Arch. Zoo. Exp. et Gén.** v. 6, p. 371-488, 1907.

R CORE TEAM (2013) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R foundation for statistical computing, Vienna. Available from URL: <http://www.R-project.org/>

RESENDE, L. P. A.; BICHUETTE, M. E. Sharing the space: coexistence among terrestrial predators in Neotropical caves. **Journal of Natural History**, v. 50, p. 2107-2128, 2016.

TOBIN, B. W.; HUTCHINS, B. T.; SCHWARTZ B. F. Spatial and temporal changes in invertebrate assemblage structure from the entrance to deep-cave zone of a temperate marble cave. **International Journal of Speleology**. v. 42, p. 4, 2013.

THOMPSON, M. V. F.; MORACCHIOLI, N. Population ecology of *Chelodesmus yporangae* (Schubart, 1946) (Diplopoda: Polydesmida: Chelodesmidae), a cavernicolous millipede from southeastern Brazil. **Mémoires de biospéologie**, v. 23, p. 249-254, 1996.

TRAJANO, E. Population ecology of *Trichomycterus itacarambiensis*, a cave catfish from eastern Brazil Siluriformes, Trichomycteridae. **Environmental Biology of Fishes**. v. 504, p. 357-369, 1997.

TRAJANO, E. Variações anuais e infra-anuais em ecossistemas subterrâneos: implicações para estudos ambientais e preservação de cavernas. **Revista da Biologia**. v. 10, p. 1-7, 2013.

TRAJANO, E.; COBOLLI, M. Evolution of lineages. In: White, W. B.; Culver, D. C. **Encyclopedia of Caves**. Elsevier Academic Press. 2012. p. 230-234.

TRAJANO, E.; GALLÃO, J. E.; BICHUETTE, M. E. Spots of high diversity of troglobites in Brazil: the challenge of measuring subterranean diversity. **Biodiversity and Conservation**. v. 25, 1805-1828, 2016.

TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. Diversity of Brazilian subterranean invertebrates with a list of troglomorphic taxa. **Subterranean Biology**. v. 7, p. 1-16, 2010.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 2010.

CAPÍTULO 3

Diversidade da fauna subterrânea do Parque Nacional Cavernas do

Peruaçu, município de Itacarambi, norte de Minas Gerais

RESUMO

As características restritivas do ambiente subterrâneo, estabilidade ambiental, alta umidade relativa do ar e principalmente ausência permanente de luz, representam filtros ecológicos para os organismos e, em geral, os padrões de biodiversidade das comunidades de ambientes superficiais e subterrâneos apresentam disparidades significativas. Assim, a diversidade e a singularidade subterrânea são melhores expressas considerando-se a existência de espécies endêmicas e raras, as relações filogenéticas e taxonômicas da comunidade. Estes aspectos informam a respeito da fragilidade do ambiente e, portanto, possuem implicações para a conservação. Esse estudo teve por objetivo verificar a diversidade da fauna subterrânea em cavernas do Parque Nacional Caverna do Peruaçu (PNCP), município de Itacarambi, norte de Minas Gerais. Entre os anos de 2013 e 2015 realizamos coletas da fauna subterrânea em 14 cavernas do parque. Analisamos a diversidade da região com o índice de distinção taxonômica (*Taxonomic Distinctness* – TD Δ^+). Registramos 1.779 indivíduos pertencentes a 11 classes e 244 morfotipos, sendo oito espécies troglóbias. Dentre as 14 cavernas estudadas a Gruta Olhos d' Água apresentou maior distinção taxonômica, provavelmente devido à elevada riqueza de espécies troglóbias, 12 espécies até o momento, e ao longo período de estabilidade ambiental.

Palavras-chave: Gruta Olhos d' Água, distinção taxonômica, troglóbios, ambiente subterrâneo

ABSTRACT

The subterranean environment is characterized by environmental stability, high relative air quality and mainly permanent absence of light. These characteristics represent ecological filters for organisms and, in general, the biodiversity patterns of communities of surface and ground environments present significant disparities. Thus, a diversity and an underground singularity are better expressions considering an existence of endemic and rare species, such as phylogenetic and taxonomic relations of the community. Therefore, the significance of the relationship between the fragility of the environment and, therefore, has implications for conservation. The aim of this study was to verify a diversity of the underground fauna in caves of the Peruaçu Cave National Park (PCNP), municipality of Itacarambi, northern Minas Gerais. Between the years of 2013 and 2015 we carried out collections of the underground fauna in 14 caves of the park. We analyzed a diversity of the region with the taxonomic distinction index (TD Δ +), which is totally independent of the effort of sampling and consideration as rare and endemic species. We recorded 1779 individuals belonging to 11 classes and 244 morfotypes, with eight troglotic species. Among the 14 caves studied, Olhos d'Água cave presented a higher taxonomic distinction, probably due to the occurrence of troglodyte species and a biogeographic relict.

Key Words: Gruta Olhos d'Água cave, taxonomic distinctness, troglotic, subterranean environment.

3.1 INTRODUÇÃO

O ambiente subterrâneo ou hipógeo possui características marcantes que representam filtros ecológicos com regimes seletivos distintos daqueles superficiais. A ausência permanente de luz nas zonas profundas é a principal delas (HOENEN, 2005; HERVANT et al., 2000, POULSON; WHITE, 1969). Por conta disso, há dependência energética principalmente de matéria alóctone, já que os organismos fotoautotróficos são inexistentes (POULSON; LAVOIE, 2000). Outro aspecto importante é a estabilidade ambiental, com pouca variação de temperatura e umidade quando comparado com a superfície (JUBERTHIE, 2000; CULVER; PIPAN, 2009). Tais características são contrastantes com as dos ambientes epígeos e estão relacionadas com os processos de colonização e isolamento reprodutivo de espécies subterrâneas (TRAJANO, 2012).

As comunidades subterrâneas são formadas por populações que possuem relações ecológico-evolutivas distintas no ambiente hipógeo (TRAJANO, 2012) e são classificadas tradicionalmente em três categorias (RACOVITZA, 1907; TRAJANO, 2012). Os troglógenos deixam o habitat cavernícola periodicamente para completar seu ciclo de vida e buscar alimento, devido à insuficiência de recursos alimentares do meio hipógeo, por exemplo, os morcegos (RACOVITZA, 2006). Os troglófilos completam o seu ciclo de vida tanto dentro quanto fora do ambiente hipógeo e representam a maior parte dos táxons encontrados nesse ambiente (RACOVITZA, 2006). Há ainda espécies que são exclusivamente hipógeas (RACOVITZA, 2006) e não são capazes de colonizarem a superfície, pois evoluíram isoladamente em ambiente particular, com acúmulo de especializações (TRAJANO, 2012), os troglóbios (RACOVITZA, 2006). Essa condição é reconhecida pela presença de autapomorfias adquiridas ao longo do processo evolutivo, chamadas de troglomorfismos (HOLSINGER; CULVER, 1988;

HOLSINGER, 1988; TRAJANO; BICHUETTE, 2010). Embora o termo troglomorfismo (*sensu* CHRISTIANSEN, 1962) tenha sido originalmente proposto para características morfológicas, tem sido aplicado também às características comportamentais e fisiológicas (CHRISTIANSEN, 2012). Essa classificação foi ampliada e discutida por Trajano e Cobolli (2012) com o conceito de população fonte, que considera aspectos populacionais para o reconhecimento do *status* de troglóbio de uma espécie.

Os padrões de diversidade das comunidades de ambientes superficiais e subterrâneo apresentam disparidades significativas. Embora muito menor do que os ecossistemas superficiais, em escala global a diversidade subterrânea pode ser considerada alta (GIBERT; DEHARVENG, 2002). Ainda, para linhagens que colonizaram os dois habitats em uma mesma área geográfica, a proporção de espécies endêmicas é mais elevada no ambiente hipógeo que no epígeo (GIBERT; DEHARVENG, 2002). A identificação de tais padrões e características são essenciais para respaldar propostas de conservação (TRAJANO, 2010).

O conhecimento sobre a diversidade da fauna subterrânea brasileira vem sendo ampliado nas últimas duas décadas, sendo as primeiras listas produzidas para a área cárstica do Vale Ribeira, São Paulo e Paraná (TRAJANO; BICHUETTE, 2010). Além destas, outras regiões tiveram sua diversidade estudada, incluindo áreas cársticas nos estados de Minas Gerais, Bahia, Mato Grosso do Sul, Goiás e Rio Grande do Norte (GNASPINI; TRAJANO, 1994; PINTO-DA-ROCHA, 1993; TRAJANO; BICHUETTE, 2010; FERREIRA et al., 2010; GALLÃO; BICHUETTE, 2015).

Algumas destas áreas ganharam destaque por apresentarem sistemas com particularidades importantes em relação à diversidade subterrânea, como riqueza de espécies, presença de indicadores filogenéticos e alta diversidade genética (TRAJANO

et al., 2016). Essa última baseada no grau de especialização de espécies individuais, como acumulação de autapomorfias, em geral relacionada à presença de troglóbios, e aquela relacionada com a presença de espécies que representam relíctos biogeográficos (TRAJANO et al., 2016). Em geral, populações exclusivas dos ambientes subterrâneos são frágeis e representam um dos principais argumentos em favor da conservação de cavernas e sistemas (TRAJANO, 2010; TRAJANO et al., 2016). Assim, a identificação *spots* de diversidade é fundamental, pois são a base para o entendimento de padrões e processos evolutivos nos ambientes subterrâneos e imprescindíveis para políticas de conservação frente aos avanços que ameaçam a fragilidade destes ambientes (TRAJANO et al., 2016).

Considerando-se essas informações, investigamos a diversidade das cavernas do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (PNCP), norte do estado de Minas Gerais. A região do parque conta atualmente com 140 cavernas cadastradas, das quais a Gruta Olhos d' Água destaca-se pelo seu desenvolvimento horizontal, aproximadamente 9100 m, e pelo número de troglóbios descritos até o momento (TRAJANO et al., 2016). Assim, investigamos a riqueza de espécies e presença de troglóbios e com o objetivo de responder a duas questões centrais: 1) A Gruta Olhos d' Água apresenta maior diversidade considerando outras cavernas do PNCP? e 2) As cavernas do PNCP possuem diversidade filogenética elevada?

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

Conduzimos o estudo em 14 cavernas localizadas no Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (PNCP), município de Itacarambi, norte de Minas Gerais. No Parque, assim como a região em que está inserido, predominam rochas carbonáticas do

Grupo Bambuí, mais especificamente calcários e dolomitos laminados da Formação Januária/Itacarambi (PILÓ; KOHLER, 1991). Dentro dos limites do PNCP o rio Peruaçu percorre um vale ao longo de 17 Km formado por grandes paredões, condutos e dolinas, formando o cânion do rio Peruaçu, tributário esquerdo do alto-médio rio São Francisco.

O Vale do Peruaçu, onde está localizado o PNCP, encontra-se em uma região de transição, entre os domínios morfoclimáticos Cerrado e Caatinga (AB'SABER, 1977). O clima da região do Peruaçu, segundo Köppen-Geiger, é classificado como tropical úmido e inverno seco (PEEL et al.,2007), e caracteriza-se por inverno seco, entre maio e outubro, e verão chuvoso, entre novembro e abril, com temperatura média anual de 24° C e precipitação de 800 mm (INMET, 2010).

Amostragens

Entre os anos de 2013 e 2015 realizamos coletas nas cavernas: Lapa da Onça, Lapa d' Água, Lapa do Branco I, Lapa do Branco IV, Toca do Pedrinho, Toca Mina d'Água, Gruta Olhos d' Água, Lapa do Cipó, Lapa do Mogno, Gruta Troncos, Caverna dos Cascudos, Caverna Janelão, Caverna Boquete e Caverna Bonita (Figura 3.1). Durante esse período realizamos sete campanhas de amostragens na Gruta Olhos d' Água, quatro na Lapa do Cipó e uma nas demais cavidades.

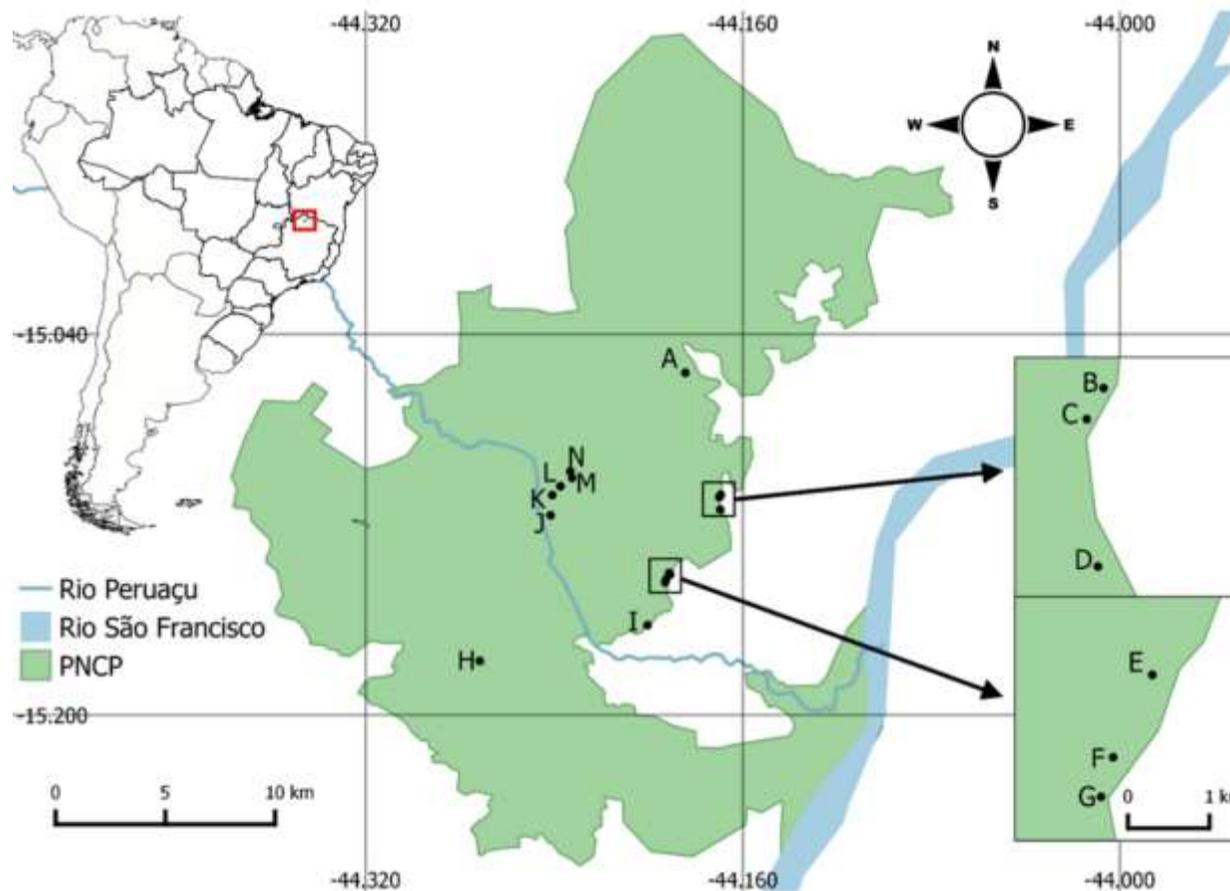


Figura 3.1 – Área de estudo. Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (PNCP), município de Itacarambi, estado de Minas Gerais. A – Lapa do Cipó, B – gruta Mina d’ Água, C – Toca do Pedrinho, D – Gruta Olhos d’ Água, E - Lapa da Onça, F – Lapa do Branco I, G – Lapa do Branco IV, H- Lapa dos Sonhos, I- Lapa do Mogno, J – Gruta Janelão, K – Gruta Bonita, L – Caverna Boquete, M – Gruta dos Troncos e N – Caverna dos Cascudos.

Os espécimes foram coletados por busca ativa e fixados *in loco* em álcool 70% e 50%. As identificações foram feitas em laboratório até o nível taxonômico menos inclusivo possível. Os espécimes coletados foram fixados e identificados em laboratório até o nível taxonômico menos inclusivo possível utilizando-se literatura especializada (BORROR et al., 1989; ADIS, 2002; COSTA et al., 2006). Ainda, consulta a especialistas foi realizada para identificação mais refinada: Bolfarini, M.P. (Orthoptera - LES/UFSCar), Brescovit, A. (Ctenidae – Instituto Butantan), Carvalho, L.S. (Pholcidae - UFG), Chagas-Jr, A. (Chilopoda - UFMT), Fernandes, C.S. (Isopoda – LES/UFSCar), Gallão, J.E. (Scorpiones - LES/UFSCar), Gallo, J.S. (Diplopoda - LES/UFSCar), Prado, L.P. (Formicidae – Museu de Zoologia/USP), Cizauskas, I. (Araneae - Museu de Zoologia/USP), von Schimonsky, D.M. (Pseudoscorpiones - LES/UFSCar), Salvador, R.D. (Gastropoda - State Museum of Natural History Stuttgart, German).

Análise dos dados

Para a análise de diversidade utilizamos o índice de distinção taxonômica (*Taxonomic Distinctness* - TD) (Δ^+) que é definido como a média do tamanho do caminho entre duas espécies escolhidas aleatoriamente, traçado através de uma classificação Linneana ou filogenética do conjunto completo de espécies envolvidas (WARWICK; CLARKE, 1998).

A distinção taxonômica (TD) não é um índice de diversidade tradicional e, por isso, consegue distinguir entre a ocorrência de espécies raras e comuns, atribuindo-lhes pesos diferentes (WARWICK; CLARKE, 1998; CIANCIARUSO et al., 2009). Além de incluir a contribuição relativa de cada espécie na quantificação, como o número de espécies e a maneira como os indivíduos se distribuem, a TD inclui o valor taxonômico de cada espécie na comunidade. Assim, a distinção taxonômica é estimada

pelo número esperado de nós entre quaisquer dois indivíduos de espécies diferentes sorteados em uma comunidade (WARWICK; CLARKE, 1998), ou seja, uma espécie possuirá uma distinguibilidade maior quanto menos nós ou ligações ela apresentar com outras espécies (WARWICK; CLARKE, 1998; CIANCIARUSO et al., 2009). Além disso, a análise de distinção taxonômica é uma medida robusta comparada aos índices tradicionais de diversidade, pois é independente do grau de esforço amostral (WARWICK; CLARKE, 1998). Para o cálculo da TD utilizamos o pacote Vegan (OKSANEN, 2009) desenvolvido para o programa R versão 3.1.2. (R Core Team, 2014).

3.3 RESULTADOS

Nas cavidades estudadas registramos uma abundância de 1.779 indivíduos classificados em 244 morfotipos de 11 Classes (Actinopterygii (Osteichthyes), Amphibia, Arachnida, Chilopoda, Clitellata, Diplopoda, Entognatha, Gastropoda, Insecta, Malacostraca e Mammalia) (detalhes no Apêndice I), sendo que as classes Arachnida e Insecta predominaram em relação à abundância (46,6% e 35,9%, respectivamente) e à riqueza (42,2% e 38,5%, respectivamente) (Figura 3.2).

As demais classes como, por exemplo, Amphibia, Clitellata e Actinopterygii, foram as menos abundantes (0,22%, 0,28% e 0,67%, respectivamente) e com menores riquezas (0,81%, 0,81% e 0,4%, respectivamente). Para Actinopterygii, o único representante foi o peixe troglóbio *T. itacarambiensi*, endêmico da Gruta Olhos d' Água (Apêndice II). As classes Entognatha e Mammalia apresentaram abundâncias iguais a 1,06% e riquezas com valores de 0,81% e 1,63%, respectivamente. Os mamíferos foram representados por morcegos das espécies *Carollia perspicillat*, *Desmodus rotundus*, *Diphylla ecaudata* e uma espécie da subfamília Golossophaginae (não identificada),

todos com ocorrência na Gruta Olhos d' Água. (Apêndice II). Com relação às classes Diplopoda e Chilopoda, a abundância foi de 1,63% e 1,23% respectivamente e a riqueza foi 2,04% e 2,86%. Diplópodes do gênero *Katantodesmus* foram muito abundantes em bancos de sedimento em diversos trechos da Gruta Olhos d' Água (Apêndice II). Com relação a abundancia, as Classes Malacostraca e Gastropoda representaram 8,65% e 2,58% do total amostrado, respectivamente. Esse número se inverte para esses grupos quando consideramos os valores de riqueza, sendo Gastropoda com 6,55% e Malacostraca com 3,27%.

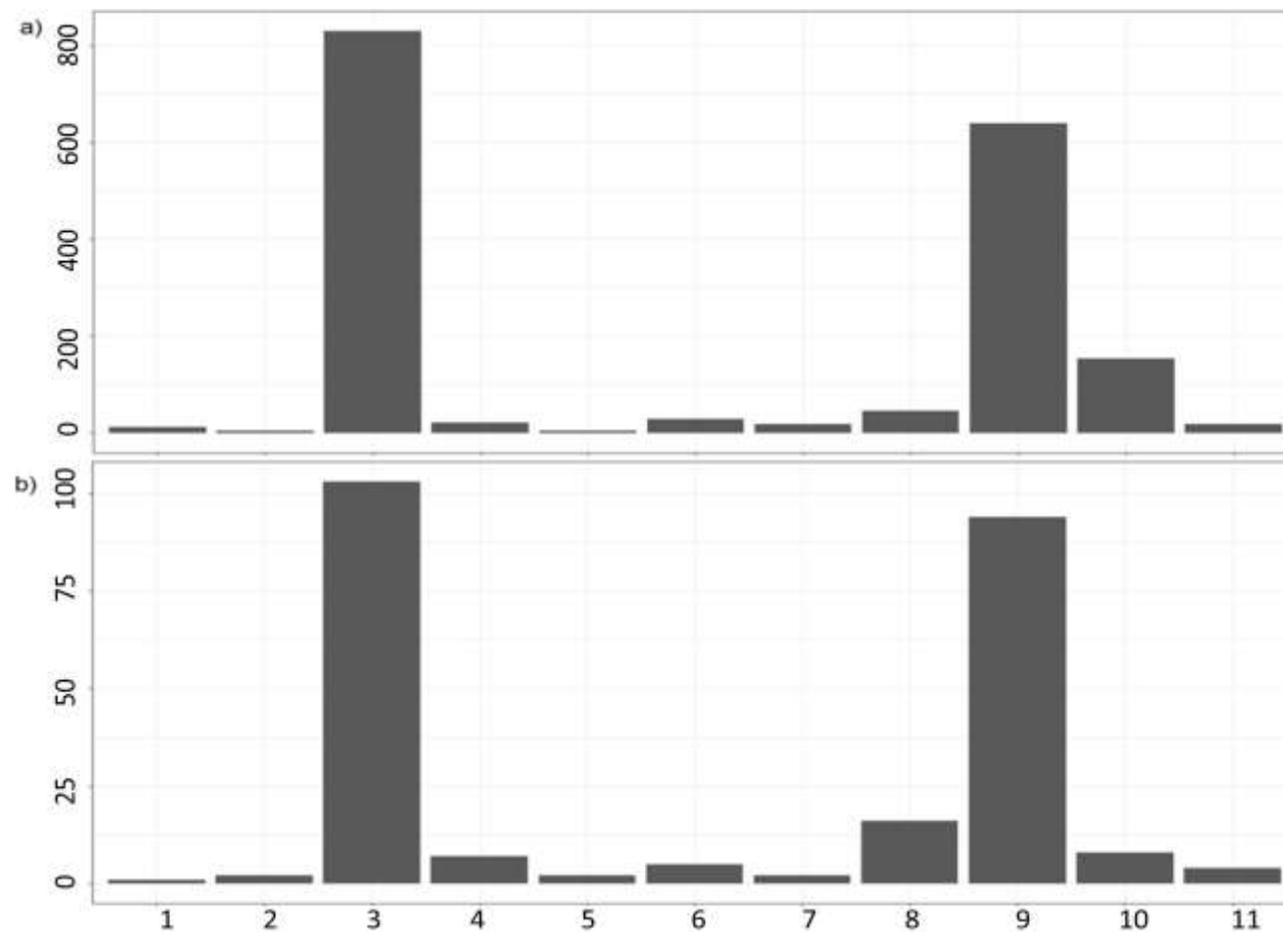


Figura 3.2 – a) Abundância e b) Riqueza total das cavernas do PNCP. 1 – 11: (Actinopterygii (Osteichthyes), Amphibia, Arachnida, Chilopoda, Clitellata, Diplopoda, Entognatha, Gastropoda, Insecta, Malacostraca e Mammalia).

As aranhas (Araneomorphae e Mygalomorphae) representaram 60,7% dos aracnídeos registrados, principalmente da Infraordem Araneomorphae. Entretanto, registramos táxons das ordens Opiliones (14,3%), Amblypygi (1,3%), Pseudoscorpiones (12,1%), Scorpiones (1,2%), Acari (5,4%) e Opilioacarida (0,9%).

Os insetos são representados por 13 Ordens, as mais abundantes foram os coleópteros (19,3%), seguidos por lepidópteros (16,6%) e dípteros (15,7%). Exemplos da fauna das cavernas do Peruaçu são mostrados nos Apêndices III e IV.

Dentre a fauna registrada identificamos nove espécies novas, todas confirmadas por especialistas. Duas delas foram descritas em trabalhos publicados em 2014 e 2015. O isópode anfíbio *Xangoniscus odara* Campos-Filho, Araujo e Taiti (2014) (Figura 3.3a), ocorrendo em pequenas poças (CAMPOS-FILHO et al., 2014) e sob rochas submersas da Lapa do Cipó. O grilo troglóbio *Endecous peruassuensis* Bolfarini e Bichuette, 2015 (Figura 3.3b) registrado na Gruta Olhos d' Água e na Lapa do Cipó (BOLFARINI; BICHUETTE, 2015). Além destes, um opilião troglóbio da família Kimulidae, em descrição (PÉREZ-GONZÁLEZ et al., 2016) (Figura 3.3c e 3.3d); um Diplopoda da família Polydesmida (Figura 3.3f); um Palpigradi; um Collembola (Entomobryomorpha) e três isópodes oniscídeos (GALLÃO, 2012). Além destas, registramos uma espécie nova de aranha do gênero *Plato*, família Theridiosomatidae onita (I. Cizauskas, com. pess.), neste caso, uma espécie troglófila.

A região encontra-se inserida em uma transição entre Cerrado e Caatinga, entretanto, é comum à ocorrência de pastagens na região (Apêndice V).

Aspectos físicos das cavernas estudadas diferiram consideravelmente, principalmente em relação ao desenvolvimento horizontal e zonação. Por exemplo, a Gruta Olhos d' Água é um longo conduto com extensa zona afótica, a Gruta Janelão apresenta grandes salões e trechos extensos de zona de penumbra e aberturas para o ambiente externo (Tabela 3.1)

(Apêndice VI). Algumas delas possuem tamanho restrito sem ocorrência de zona afótica e corpo d' água perene, este é o caso da Lapa do Sonho, Toca do Pedrinho, Gruta Mina d' Água. A descrição detalhada de cada uma das cavernas é apresentada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Descrição das cavernas estudadas do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, Itacarambi, Minas Gerais, Brasil. Desenvolvimento horizontal das cavernas; entrada; altitude da entrada (m); presença de corpo d'água; zonação e grau de preservação caverna.

Caverna	Coordenadas	Desenvolvimento horizontal (m)	Entrada	Altitude da entrada (m)	Corpo d'água	Zonação	Grau de preservação
Gruta Olhos d' Água	S15.1137;W44.1696	9100	ressurgência	s.inf.	presente	ZE/ZP/ZA	Alto
Lapa do Branco IV	S15.1443;W44.1930	200	sumidouro	s.inf.	ausente	ZE/ZP	Médio
Toca do Pedrinho	S15.1085;W44.1700	200	sumidouro	510	ausente	ZE/ZP	Médio
Lapa da Onça	S15.1403;W44.1913	1680	sumidouro	501	presente	ZE/ZP/ZA	Médio
Lapa do Cipó	S15.0562;W44.1844	1800	sumidouro	616	presente	ZE/ZP/ZA	Alto
Gruta Janelão	S15.1161;W44.2416	4740	sumidouro	520	presente	ZE/ZP/ZA	Médio
Lapa do Mogno	S15.16231;W44.2004	230	sumidouro	506	presente	ZE/ZP/ZA	Médio
Gruta Mina d' Água	S15.1074;W44.1694	160	ressurgência	507	ausente	ZE/ZP	Médio
Gruta Bonita	S15.1076;W44.2409	420	sumidouro	s.inf.	ausente	ZE/ZP/ZA	Baixo
Lapa do Branco I	S15.1430;W44.1926	180	sumidouro	544	ausente	ZE/ZP	Médio
Caverna dos Troncos	S15.1004;W44.2325	220	sumidouro	572	presente	ZE/ZP	Médio
Lapa dos Sonho	S15.0804;W44.1004	190	sumidouro	s.inf.	ausente	ZE/ZP	Médio
Gruta Boquete	S15.1039;W44.2374	400	sumidouro	s.inf.	ausente	ZE/ZP/ZA	Baixo
Caverna dos Cascudos	S15.0976;W44.2332	180	sumidouro	546	presente	ZE/ZP	Médio



Figura 3.3 – Registros de novas espécies (troglóbias, troglófilas) e novas ocorrências para a Gruta Olhos d' Água e a Lapa do Cipó. a) *Xangoniscus odara* (Isopoda) (Lapa do Cipó, troglóbio), b) *Endecous peruassuensis* (Orthoptera) (Gruta Olhos d' Água e Lapa do Cipó, troglóbio), c) família Kimulidae gen. n. sp. n. (Opiliones) (Gruta Olhos d' Água, troglóbio relictivo) habitus, dorsal e d) habitus, lateral, d), e) *Siphonops paulensis* (Gymnophiona) (Gruta Olhos d' Água, acidental), e f) *Katantodesmus* sp. n. (Gruta Olhos d' Água, troglóbio). Fotografias: a, e - von Shimonsky, D.M.; b,d,f – Bolfarini, M.P.; c e d– Fernandes L.B.R.

A distinção taxonômica (TD, Δ^+) esperada foi de 85,92. Apenas uma cavidade apresentou TD (Δ^+) acima do esperado: Gruta Olhos d' Água ($\Delta^+ = 89,45$) (Figura 3.6). Além disso, seis cavidades apresentaram valores de TD abaixo do esperado e fora do intervalo de confiança: Caverna Cascudo ($\Delta^+ = 67,64$), Caverna Boquete ($\Delta^+ = 76,36$), Lapa dos Sonhos ($\Delta^+ = 80,80$), Gruta Mina d' Água ($\Delta^+ = 82,42$), Lapa do Cipó ($\Delta^+ = 82,72$) e Caverna Janelão (82,73) (Figura 1.4, Tabela 3.2).

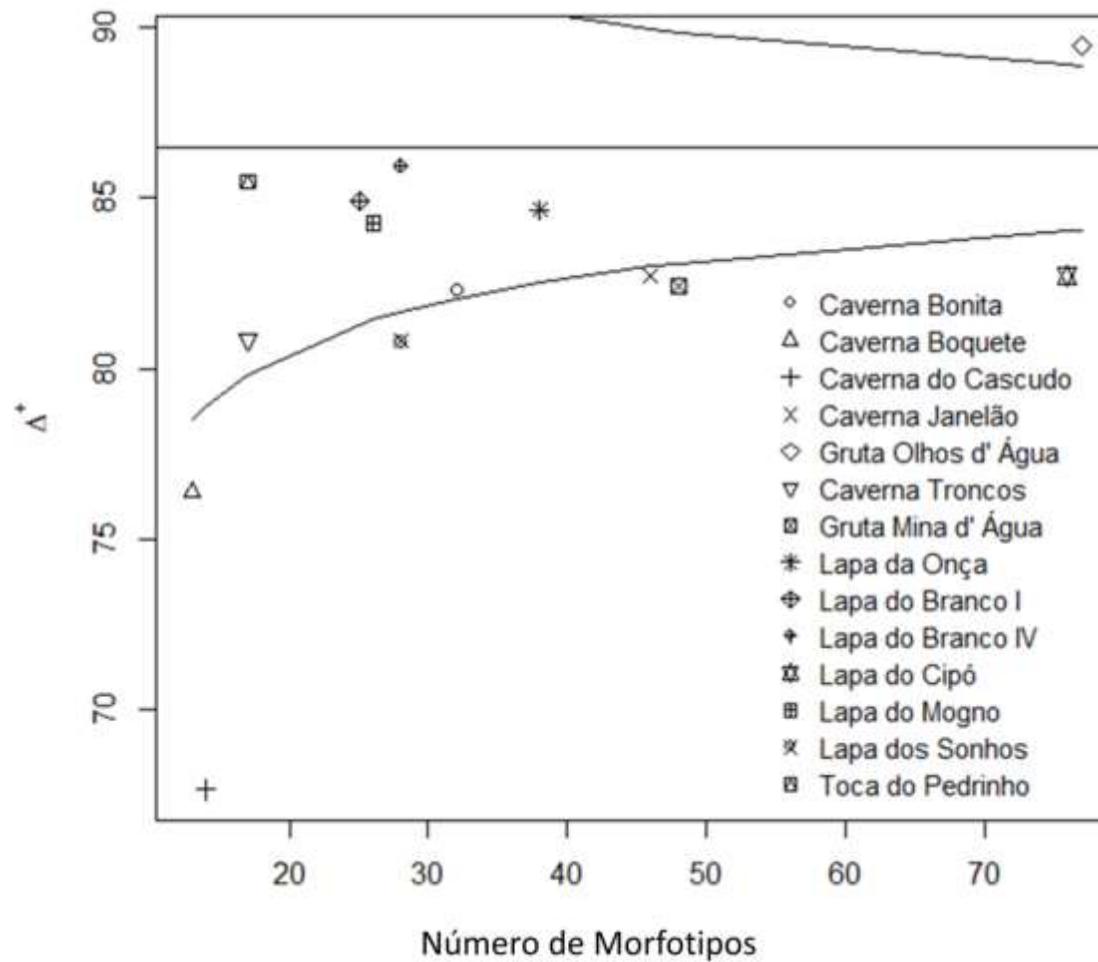


Figura 3.4 – Distinção taxonômica calculada para as 14 cavernas estudadas do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (PNCP), Itacarambi, Minas Gerais.

Tabela 3.2 – Valores da Distinção taxonômica para as cavernas estudadas no Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, Itacrambi, Minas Gerais. Δ^+ = Distinção taxonômica; N = número de indivíduos. ‘***’p< 0,001 , ‘**’p< 0,01, ‘*’ p<0,05.

Caverna	Δ^+	N	Riqueza	Troglóbios
Gruta Olhos d’ Água	89,45*	287	72	12
Lapa do Branco IV	85,97	84	28	0
Toca do Pedrinho	85,47	26	17	0
Lapa do Branco I	84,91	66	25	0
Lapa da Onça	84,66	107	37	0
Lapa do Mogno	84,26	69	26	0
Caverna Janelão	82,73*	191	46	0
Lapa do Cipó	82,72**	330	76	4
Gruta Mina d’ Água	82,42*	125	48	0
Caverna Bonita	82,29	145	32	0
Caverna dos Troncos	80,85	340	17	0
Lapa dos sonhos	80,80*	78	28	0
Caverna Boquete	76,36*	49	13	0
Caverna do Cascudo	67,64***	27	14	0
Delta+ esperado	86,47			

3.4 DISCUSSÃO

A região do PNCP ganhou destaque no estudo da diversidade subterrânea brasileira a partir da descrição e publicação de espécies troglóbias, como o bagre cego *Trichomycterus itacarambiensis* Trajano e Pinna (1996) e o opilião *Iandumoema uai* Pinto-da-Rocha (1996), ambos registrados na Gruta Olhos d' Água. Atualmente, essa caverna é considerada um dos *spots* de diversidade de troglóbios brasileiros, com cinco espécies troglóbias descritas (TRAJANO et al., 2016), incluindo *T. itacarambiensis*, *I. uai*, *C. eleonora*, *E. peruasuenssis* e o pseudoescorpião *Pseudochthonius biseriatus* Mahnert (2001). Além destas, outras sete foram identificadas, totalizando 12 troglóbios para a caverna (GALLÃO, 2012).

Neste trabalho registramos uma riqueza de 240 espécies para 14 cavernas, o que pode ser considerada uma riqueza média, visto que não realizamos réplicas nas amostragens para a maior parte das cavernas. Trabalhos realizados em cavernas na mesma unidade geomorfológica (Bambuí) e com realização de pelo menos cinco réplicas mostraram uma riqueza elevada, por exemplo, a área cárstica de Presidente Olegário, Minas Gerais, com 386 espécies em sete cavernas (ZEPON, 2014) e a área cárstica de São Domingos, Goiás, com 385 espécies para sete cavernas estudadas (SIMÕES, 2013). Riquezas médias foram observadas em trabalho conduzido por Gallão e Bichuette (2015), que registraram 162 espécies em 11 cavernas areníticas da Chapada Diamantina, região da Serra do Espinhaço. Em cavernas do Alto Ribeira (unidade geomorfológica Açungui), estados de São Paulo e Paraná, foi registrada uma riqueza de 360 espécies (PINTO-DA-ROCHA, 1995).

Alguns grupos taxonômicos são recorrentes em cavernas tropicais, e, a maior abundância é observada para as classes Insecta e Arachnida (TRAJANO; GNASPINI, 1991; TRAJANO; BICHUETTE, 2010, ZEPON, 2014). Para as cavernas aqui

estudadas a maior diversidade e abundância foram para a classe Arachnida, sendo que as aranhas (Araneae) foram as mais representativas em número de indivíduos e espécies. Para a classe Insecta, os coleópteros formam o grupo mais representativo em termos de abundância e riqueza, como registrado para cavernas brasileiras (TRAJANO; BICHUETTE, 2010). Trabalhos realizados em Minas Gerais, Goiás e Alto do Ribeira registraram principalmente as famílias Staphylinidae e Carabidae (SIMÕES, 2013; TRAJANO, 2010; ZEPON, 2015). Para as cavernas do Peruçu, a família mais recorrente foi Staphylinidae e Ptilodactylidae.

Além do grande número de táxons, registramos uma quantidade significativa de espécies troglóbias na região do Peruçu. No Brasil, a região com maior número de espécies troglóbias é o Sistema Areias, localizado na área cárstica do Alto do Ribeira, estado de São Paulo, com 20 espécies descritas até então, seguido pela caverna Alambari de Cima, na mesma área, com 10 troglóbios (TRAJANO; BICHUETTE, 2010, TRAJANO et al., 2016). No estado da Bahia, foi identificada uma importante área na Chapada Diamantina, com registro de 23 troglóbios em 11 cavidades, 13 deles em uma única cavidade (Parede Vermelha), também considerada um *spot* de diversidade (TRAJANO et al., 2016, GALLÃO; BICHUETTE, 2015).

Entre as 14 cavidades estudadas, a Gruta Olhos d' Água destacou-se pela singularidade da fauna, evidenciado pelo alto valor da TD. Além de indicar um alto número de espécies com relação à ocorrência, distribuição e o total amostrado, este valor indica também a presença de táxons singulares, como por exemplo, espécies troglóbias e relictos biogeográficos da caverna (CIANCIARUSO et al., 2009; GALLÃO; BICHUETTE, 2015). A ocorrência de um relictos para esta cavidade indica uma estabilidade ambiental histórica que permite que espécies consigam sobreviver e evoluir neste ambiente, enquanto suas populações e grupos irmãos epígeos são extintos

pela ação de diversos fatores (*e.g.*, mudanças climáticas, exclusão por competição, desastres naturais estocásticos etc.). Tais táxons são testemunhas essenciais que contém evidência crucial para compreender a história evolutiva, biogeográfica e geoclimática (PEREZ-GONZÁLEZ et al., 2016).

O opilião troglóbio registrado na Gruta Olhos d' Água da família Kimulidae é grupo irmão do gênero *Tegipiolus*, com ocorrência somente para o estado de Pernambuco, nordeste do Brasil. Este novo opilião amplia a distribuição da família em mais de 1.000 km a sudoeste e, em termos de diversidade, eleva categoricamente a importância da caverna (PEREZ-GONZÁLEZ et al., 2016).

Além da Gruta Olhos d' Água, destacamos a Lapa do Cipó devido ao alto número de morfotipos e pela presença das populações dos troglóbios *I. uai*, *C. eleonora* (MONTE et al., 2015), *E. peruassuensis* (BOLFARINI; BICHUETTE, 2015) e *X. odara* (CAMPOS-FILHO, ARAUJO; TAITI, 2014). A presença das populações de troglóbios na Lapa do Cipó, distante 6,5 km da Gruta Olhos d' Água, pode indicar a existência de um complexo sistema de canais entre as duas cavernas (MONTE et al., 2015). Apesar disso, a caverna apresentou um valor de TD significativamente baixo, provavelmente devido à similaridade faunística em relação às demais cavernas, ou seja, devido à ocorrência de espécies comumente registradas.

A análise de distinção taxonômica considera que a diversidade é maior em uma comunidade em que as espécies são filogeneticamente distintas (CIANCIARUSO et al., 2009). Em um estudo realizado na Chapada Diamantina, Bahia, o maior valor de TD foi encontrado para a caverna que apresentou a menor riqueza (caverna Morro de Alvo), seguida pela caverna que apresentou o maior número de troglóbios (caverna Parede Vermelha) (GALLÃO; BICHUETTE, 2015). O alto índice de TD para caverna Morro do Alvo é explicado pela alta diversidade filogenética gerada pela distribuição das seis

espécies em quatro classes distintas concomitante ao elevado número de linhagens únicas que ocorrem na caverna Parede Vermelha, como discutido por Gallão e Bichuette (2015). Na região de Presidente Olegário, Minas Gerais, dentre as sete cavernas analisadas o maior valor de TD foi devido à presença de uma espécie de pseudoescorpião troglomórfico da família Chthoniidae, e também pela presença de manchas de guano exclusivas da Lapa Zé de Sidinei, as quais apresentaram espécies com preferência por esse tipo de substrato (ZEPON, 2015).

Valores reduzidos de TD podem indicar ambientes muito degradados ou poluídos (WARWICK; CLARKE, 1998). Para Caverna Cascudo, Caverna Boquete, Lapa dos Sonhos e Gruta Mina d' Água os valores de TD foram significativamente menores do que o esperado. Pelo menos para uma destas, podemos afirmar que esse valor pode estar relacionado ao impacto antrópico, devido à visitação, a Caverna Boquete. Valores não significativos de TD foram registrados em cavidades de outras localidades, por exemplo, Zepon (2015) argumentou que o baixo valor para a Gruta Juruva, Presidente Olegário, Minas Gerais, foi devido à baixa variedade e qualidade. Para cavernas da Bahia Gallão e Bichuette (2015) associaram o baixo valor de TD à extensiva mineração de diamantes no passado e que continua atualmente de forma residual e clandestina.

A região onde estão inseridas as cavernas do PNCP é importante com relação à fauna subterrânea. Nossos resultados corroboram a hipótese de que a Gruta Olhos d' Água é um *spot* de diversidade de troglóbios (TRAJANO et al, 2016) devido ao longo período de estabilidade ambiental, pela elevada riqueza e diversidade de espécies exclusivamente subterrâneas, pelo menos 12 até o momento (PEREZ-GONZALEZ et al., 2016). Ainda, identificamos outra localidade importante pela presença de troglóbios e uma espécie endêmica, a Lapa do Cipó. Por fim, nossos resultados mostram que

estudos contextualizados de diversidade são imprescindíveis para políticas de preservação, pois, além de caracterizar a fauna e identificar *spots* de troglóbios, auxiliam na identificação de sistemas subterrâneos complexos e ampliam o potencial de novos estudos, fundamentais para a conservação de áreas abrangentes que incluam sistemas subterrâneos, bem como toda área de influência não só cavernas isoladas.

3.5 REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **Os domínios morfoclimáticos na América do Sul**. Primeira aproximação. São Paulo, Geomorfologia, 1977. 52, p. 1–21.

BAPTISTA, R. L. C.; GIUPPONI, A. P. New troglomorphic *Charinus* from Minas Gerais state, Brazil Arachnida: Amblypygi: Charinidae. **Revista Ibérica de Aracnologia**, v. 7, p. 79-84, 2003.

BOLFARINI, M. P.; BICHUETTE, M. E. *Endecous peruassuensis* n. sp. Orthoptera: Grylloidea: Phalangopsidae from caves of Eastern Brazil: evidence of isolation in the subterranean realm and discussion about troglomorphisms. **Zootaxa**. v. 40323: p. 297–308, 2015.

BRUSCA, R. C.; BRUSCA, G. J. **Invertebrates**. 2 ed. Sunderland, Sinauer Associates, 2003, p. 895.

CAMPOS-FILHO, I. S.; BICHUETTE, M. E.; TAITI, S. Three new species of terrestrial isopods (Crustacea, Isopoda, Oniscidea) from Brazilian caves. **Nauplius**, p. 24, 2016.

CIANCIARUSO, M. V.; SILVA, I. A.; BATALHA, M. A. Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. **Biota Neotropica**, v. 9, p. 93-103, 2009.

CHRISTIANSEN, K. Proposition pour la classification des animaux cavernicoles. **Spelunca** v. 2, p. 76-78, 1962.

CHRISTIANSEN, K. Morphological adaptations. In: CULVER, D. C.; WHITE, W.B. **Encyclopedia of caves**, 2st edn. Elsevier, Amsterdam, 2002, p. 386–397.

CULVER, D. C.; PIPAN, T. **The biology of caves and other subterranean habitats**. Oxford University Press, USA, 2009.

GALLÃO, J. E. Estado de conservação e dados de distribuição da fauna troglóbia brasileira com propostas de áreas prioritárias para proteção, 2012.

GALLAO, J. E.; BICHUETTE, M. E. Taxonomic distinctness and conservation of a new high biodiversity subterranean area in Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. v. 87, p. 209-217, 2015.

GIBERT, J.; DEHARVENG, L. Subterranean Ecosystems: a Truncated Functional Biodiversity. **BioScience**. v. 52, p. 473-481, 2002.

GNASPINI, P.; TRAJANO, E. (1994) Brazilian cave invertebrates, with a checklist of troglomorphic taxa. **Revista Brasileira de Entomologia**. v. 38, p. 549–584, 1994.

HERVANT, F.; MATHIEU, J.; DURAND, J. P. Metabolism and circadian rhythms of the European blind cave salamander *Proteus anguinus* and a facultative cave dweller, the

- Pyrenean newt (*Euproctus asper*): **Canadian Journal of Zoology**, v. 78, no. 8, p. 1427–1432, 2000.
- HOENEN, S. Circadian patterns in the activity of the Brazilian cave cricket *Strinatia brevipennis* (Ensifera Phalangopsidae). **European Journal of Entomology**. v. 102, no. 4, p. 663–668, 2005.
- HOLSINGER, J. R. Troglóbites: The evolution of cave-dwelling organisms. **American Scientist**. v. 76, p. 146–153, 1988.
- HOLSINGER, J. R.; CULVER, D. C. The invertebrate cave fauna of Virginia and a part of eastern Tennessee—zoogeography and ecology. **Brimleyana**, (14), 1-162, 1988.
- Instituto Nacional de Meteorologia. <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acessado em Abril de 2010.
- JUBERTHIE, C. (2000) The diversity of the karstic and pseudokarstic hypogean habitats in the world. In: WILKENS, H.; CULVER, D.C.; HUMPHREYS, W. F. **Ecosystems of the World**. Subterranean Ecosystems. Amsterdam, Elsevier. 2000, p. 17-39.
- KREBS, C. J. (1989) **Ecological methodology**. University of British Columbia, Harper Collins Publishers, New York, U.S.A. 1989. p. 654.
- MAHNERT, V. Cave-dwelling pseudoscorpions Arachnida, Pseudoscorpiones from Brazil. **Revue Suisse de Zoologie**. v. 108. p. 95-148, 2001.
- MONTE, B. G. O.; GALLÃO, J. E.; VON SCHIMONSKY, D. M.; BICHUETTE, M. E. New records of two endemic troglóbitic & threatened arachnids *Amblypygi* & *Opiliones* from limestone caves of Minas Gerais state, southeast Brazil. **Biodiversity data Journal**, v. 3, 2015.
- OKSANEN, J. Multivariate analysis of ecological communities in R: vegan tutorial. 2009. URL: [<http://cc.oulu.fi/~jarioksa/opetus/metodi/vegantutor.pdf>].
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**. v. 42, p. 439-473, 2007.
- PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; PROUD, D. N.; CECARELLI, S. F.; CRUZ-LÓPEZ, J.; OLIVEIRA DO MONTE, B. G.; BICHUETTE, M. E. A seletiva arca de Noé: *Opiliones* Arthropoda: Arachnida relictuais cavernícolas evidenciam a história geoclimática do planeta. In: **XXXI Congresso Brasileiro de Zoologia**, Cuiabá, p. 755, 2016.
- PILÓ, L. B.; KÖHLER, H.C. Do Vale do Peruaçu ao São Francisco : uma viagem ao interior da terra. **Anais do III Congresso da Associação Brasileira do Estudo do Quaternário**. Belo Horizonte, v. 2, p. 57-73, 1991.
- PINTO-DA-ROCHA, R. Invertebrados cavernícolas da porção meridional da Província Espeleológica do Vale do Ribeira, Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**. v. 10, p. 229-255, 1993.

PINTO-DA-ROCHA, R. (1995) Sinopse da fauna cavernícola do Brasil (1907-1994). **Papéis avulsos de Zoologia**, v. 39, p. 6, 1995.

PINTO-DA-ROCHA, R. *Iandumoema uai*, a new genus and species of troglobitic harvestman from Brazil (Arachnida, Opiliones, Gonyleptidae). **Revista brasileira de Zoologia**, v. 13, p. 843-848, 1996.

POULSON, T. L.; LAVOIE, K. **The trophic basis of subsurface ecosystems**. 2000.

POULSON, T. L.; WHITE, W. B. The cave environment. **Science**, Washington/Cambridge, v. 3897, p. 971-980, 1969.

RACOVITZA, E. G. Essai sur les problèmes biospéologiques. **Archives de Zoologie Expérimentale et Générale**. v. 6, p. 371-488, 1907.

Racovitza, E. G. (2006) Essay on biospeleological problems: French, English, Romanian. [Facsimile of the publication Essai sur les problèmes biospéologiques (1907), translated by D. C. Culver, & O. Moldovan.] Cluj-Napoca, Romania: Institut de Speologie “Emil Racovitza.”

R Core Team (2014) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R foundation for statistical computing, Vienna. Available from URL: <http://www.R-project.org/>

RUPPERT, E. E.; FOX, R.; BARNES, R. D. **Zoologia dos Invertebrados**. 7. ed. São Paulo: Roca. 2005, p.1168.

SIMÕES, L. B. (2013) Biodiversidade da fauna subterrânea na área cárstica de São Domingos, nordeste de Goiás: relevância versus visibilidade de táxons. 197f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

TRAJANO, E.; DE PINNA, M. C. C. A new cave species of *Trichomycterus* from eastern Brazil Siluriformes, Trichomycteridae. **Revue Française d’Aquariologie et Herpetologie**, v. 23, p. 85-90, 1996.

TRAJANO, E. Cave faunas in the Atlantic tropical rain forest: composition, ecology and conservation. **Biotropica**. v. 32, p. 882-893, 2000.

TRAJANO, E. Políticas de conservação e critérios ambientais: princípios, conceitos e protocolos. **Estudos avançados**. v. 24, p. 135-146, 2010.

TRAJANO, E. (2012) Ecological classification of subterranean organisms. In: CULVER, D.C.; WHITE W.B. San Diego, Academic. **The encyclopedia of caves**. p. 275-277, 2012.

TRAJANO, E.; GNASPINI, P. Notes on the food webs in caves of southeastern Brazil. **Mémoires de Biospéologie**, Moulis. v. 8, p. 75-79, 1991.

TRAJANO, E.; COBOLLI, M. (2012) Evolution of lineages. In: WHITE, W. B.; CULVER, D.C. **Encyclopedia of Caves**. Amsterdam: Elsevier Academic Press. 2012; p. 230–234.

TRAJANO, E.; GALLÃO, J. E.; BICHUETTE, M. E. Spots of high diversity of troglobites in Brazil: the challenge of measuring subterranean diversity. **Biodiversity & Conservation**. v. 25, p. 1805-1828, 2016.

TRAJANO, E; BICHUETTE, M. E. Diversity of Brazilian subterranean invertebrates with a list of troglomorphic taxa. **Subterranean Biology**. v. 7, p. 1-16, 2010.

WARWICK, R.M.; CLARKE K.R. (1998) Taxonomic distinctness and environmental assessment. **J Appl Ecol**. v. 35, p. 532-543, 1998.

ZEPON, T. (2015) Zonação e estratificação da fauna subterrânea de Presidente Olegário, noroeste de Minas Gerais.

Apêndice I: Listagem faunística com a abundância dos táxons de quatorze cavernas do PNCP, município de Itacarambi, Minas Gerais, Brasil. Cavernas: BN = Gruta Bonita; BQ = Gruta Boquete; CD = Caverna do Cascudo; J = Gruta Janelão; Oda = Gruta Olhos d' Água; TR = Gruta Troncos; Mda = Gruta Mina d' Água; ON = Lapa da Onça; BI = Lapa do Branco I; BIV = Lapa do Branco IV; CPO = Lapa do Cipó; MGO = Lapa do Mogno; SNH = Lapa dos Sonhos; PD= Toca do Pedrinho. SubC – Subclasse; O – Ordem; F - Família; G – Gênero.

TÁXON	BN	BQ	CD	JAN	ODA	TR	MDA	ON	BI	BIV	CPO	MGO	SNH	PD
SubC. Lissamphibia														
O. Anura														
sp. 1					3									
O. Gymnophiona														
F. Siphonopidae														
<i>Siphonops paulensis</i> Boettger, 1892					1									
C. Clitellata														
sp. 1										2				
sp. 2					3									
C. Arachnida														
sp. 1					1									
sp. 2	1													
SubC. Acari														
sp. 1	1				4		1			6			1	
sp. 2	3				2		1						1	
sp. 3					1		1							
sp. 4							1		1					
sp. 5							1	1						
sp. 6							1							
O. Trombidiformes														
F. Erythraeidae														
sp. 1					10					1	1	1		

TÁXON	BN	BQ	CD	JAN	ODA	TR	MDA	ON	BI	BIV	CPO	MGO	SNH	PD
F. Argasidae														
sp. 1					3									
O. Amblypygi														
F. Charinidae														
<i>Charinus eleonora</i> Baptista & Giupponi, 2003					7						4			
F. Phrynichidae														
<i>Trichodamon froesi</i> Mello leitão, 1940							1		2	1				
O. Araneae														
InfraO. Araneomorphae														
sp. 1					1									
sp. 2								1						
sp. 3				1										
F. Araneidae														
sp. 1						1	1				8			
sp. 2												1		
<i>Alpaida</i> sp. 1					1			1						
F. Caponiidae														
sp. 1				1										
<i>Nops</i> sp. 1				2										
F. Corinnidae														
sp. 1			1	1										
sp. 2							1							
F. Ctenidae														
sp. 1				1		1	3				3		1	
sp. 2											1			

TÁXON	BN	BQ	CD	JAN	ODA	TR	MDA	ON	BI	BIV	CPO	MGO	SNH	PD
F. Deinopidae														
sp. 1													1	
Misionella sp. 1		27								2		1	4	
F. Filistatidae														
sp. 1							1							
Misionella sp. 1		27								2		1	4	
F. Linyphiidae														
<i>Agyneta</i> sp. 1				1										
<i>Sphecozone</i> sp. 1					2									
F. Lycosidae														
sp. 1								2					2	
sp. 2					1									
F. Mysmenidae														
sp. 1	1													
F. Nesticidae														
<i>Eidmannella pallida</i> Emerton, 1875											7			
F. Ochyroceratidae														
<i>Ochyrocera</i> sp. 1					1									
F. Oonopidae														
sp. 1				1							1			
<i>Neotrops</i> sp. 1				1										
F. Pholcidae														
sp. 1	1			7				20		1	1	2		1
sp. 2													3	
<i>Ibotyporanga</i> sp. 1							1							

TÁXON	BN	BQ	CD	JAN	ODA	TR	MDA	ON	BI	BIV	CPO	MGO	SNH	PD
<i>Mesabolivar</i> sp. 1			1		1		5	2	2	3	5	3	2	1
F. Prodidomidae														
sp. 1								1			1			
F. Salticidae														
sp. 1			1			4	5				1	5	2	
F. Scytodidae														
sp. 1				2										
<i>Scytodes</i> sp. 1				6										
<i>Scytodes</i> sp. 2				4				1						
F. Segestriidae														
sp. 1				1										
<i>Ariadna</i> sp. 1				4										
F. Selenopidae														
<i>Selenops</i> sp. 1					2									
F. Sicariidae														
sp. 1		1					5	2			3			
sp. 2											1			
<i>Loxosceles</i> sp. 1			4			2	8	4	5	6	19	7	3	1
F. Tetrablemmidae														
<i>Matta</i> sp. 1				14										
F. Tetragnathidae														
sp. 1	8		3			2	6	20		1	1	8	1	2
sp. 2													2	
sp. 3													3	
<i>Leucauge</i> sp. 1								3	9	10				2
F. Theridiidae														

TÁXON	BN	BQ	CD	JAN	ODA	TR	MDA	ON	BI	BIV	CPO	MGO	SNH	PD
sp. 1				1	2						4		6	
sp. 2											1			
sp. 3					2						1			
sp. 4											1			
sp. 5											1			
<i>Nesticodes rufipes</i> Lucas, 1846					14						8			
<i>Steatoda</i> sp. 1					1									
F. Theridiosomatidae														
sp. 1												4		
sp. 2	1													
sp. 3	1										2			
<i>Plato</i> sp. 1	11		1								12			
<i>Plato</i> sp. 2											5			
F. Thomosidae														
sp. 1					1									
F. Trechaleidae														
sp. 1	2						3	5	4		3	3		
sp. 2						1					1			
F. Uloboridae														
sp. 1				34										
sp. 2			1											
InfraO. Mygalomorphae														
sp. 1							1	4						
O. Opilioacarida														
sp. 1				7						1				

TÁXON	BN	BQ	CD	JAN	ODA	TR	MDA	ON	BI	BIV	CPO	MGO	SNH	PD
O. Opiliones														
F. Cosmetidae														
sp. 1	1		9	1	1	1					24			
sp. 2			1		2									
F. Sclerosomatidae														
SubF Gagrellinae														
sp. 1											5			
F. Gonyleptidae														
sp. 1											1		2	
sp. 2											1			
<i>Eusarcus aduncus</i> Mello Leitão, 1942			1		6						6			
<i>Eusarcus cavernicola</i> Hara & Pinto-da-Rocha, 2010			1		8						11			
<i>Iandumoema uai</i> Pinto-da-Rocha, 1996					10						15			
F. Kimulidae														
G. n.														
sp. n.					8									
F. Sclerosomatidae														
sp. 1			1	1							1		10	1
O. Pseudoscorpiones														
sp. 1							2			3		4	1	1
sp. 2							2					2		
F. Cheiridiidae														
sp. 1					1									
sp. 2	1													

TÁXON	BN	BQ	CD	JAN	ODA	TR	MDA	ON	BI	BIV	CPO	MGO	SNH	PD
F. Chernetidae														
sp. 1													1	
<i>Spelaeochernes bahiensis</i> Brum, 1975	6													
F. Chthoniidae														
<i>Pseudochthonius</i> sp. 1							1				3			
<i>Pseudochthonius biseriatus</i> Mahnert, 2001					2		1				1			
F. Olpiidae														
sp. 1					14		3	7		2				
<i>Progarypus</i> sp. 1					7		2	1	4					1
<i>Progarypus setifer</i> Mahnert, 2001	1	3		27										
O. Scorpiones														
<i>Tititus serrulatus</i> Lutz & Mello, 1992						1	2	1						
O. Palpigradi														
F. Eukoeneriidae														
sp. n (in prep.)					1									
C. Chilopoda														
O. Geophilomorpha														
<i>Hyphydrophilus</i> sp. 1				3										
O. Scolopendromorpha														
F. Scolopendridae														
<i>Schendylops</i> sp. 1												1		
<i>Otostigmus</i> sp. 1											1			
<i>Newportia balzanii</i> Silvestri, 1895									1					

TÁXON	BN	BQ	CD	JAN	ODA	TR	MDA	ON	BI	BIV	CPO	MGO	SNH	PD
<i>Newportia Tidops balzani</i> Silvestri, 1895							2					2		
<i>Otostigmus muticus</i> Karsch, 1888								2				2		
F. Psellioididae														
<i>Sphendononema guildingii</i> Newport, 1845				3		1			1		3			
C. Diplopoda														
sp. 1				2	12						1		1	
O. Polixenida														
sp. 1								1						
O. Polydesmida														
sp. 1					7							1		
O. Spirostreptida														
sp. 1				2										
O. Polydesmida														
F. Oniscodesmidae														
<i>Katantodesmus</i> sp. 1					5									
C. Entognatha														
SupO Collembola														
sp. 1					6			1			8			
sp. 2											4			
C. Gastropoda														
sp. 1					1			1	1	6				
sp. 2										1				
sp. 3					1					1				
sp. 4										1				
F. Bulimulidae														

TÁXON	BN	BQ	CD	JAN	ODA	TR	MDA	ON	BI	BIV	CPO	MGO	SNH	PD
<i>Drymaeus</i> sp. 1									3					
<i>Kora corallina</i> Simone, 2012				2					3	1			1	1
F. Epiphragmophoridae														
<i>Epiphragmophora bernardius</i> Pilsbry & Ihering, 1900										2				
F. Helicinidae														
<i>Helicina brasiliensis</i> Gray, 1824									6					
F. Odontostomidae														
<i>Cyclodontina inflata</i> Wagner 1827									1					
F. Pomatiopsidae														
<i>Idiopyrgus souleyetianus</i> Pilsbry, 1911									5					
F. Scolodontidae														
<i>Happia vitrina</i> Wagner, 1827					1									
<i>Systrophia</i> sp. 1									1					
F. Streptaxidae														
<i>Martinella af prisca</i>									1					
<i>Streptartemon cookeanus</i> Baker, 1914									3					
<i>Streptaxis tumescens</i> Suter, 1900					1				3					1
F. Subulinidae														
<i>Obeliscus</i> sp. 1									1					
C. Insecta														
O. Archaeognatha														
sp. 1									1					
O. Blattaria														

TÁXON	BN	BQ	CD	JAN	ODA	TR	MDA	ON	BI	BIV	CPO	MGO	SNH	PD
sp. 1				3	1						2			
sp. 2											1			
F. Blatidae														
sp. 1											2		1	
F. Blattellidae														
sp. 1				3	1						2			
O. Coleoptera														
sp. 1				9							2			
sp. 2	1				27		1			1	12			
sp. 3			1		1									
sp. 4							4							
O. Coleoptera														
sp. 5					1					9	1			
sp. 6						5						4		
sp. 7						1	7				2			
sp. 8						1								
sp. 9						1								
sp. 10														4
sp. 11														1
sp. 12										1				
sp. 13										1				
sp. 14							1							
sp. 15											4			
sp. 16											1			
F. Carabidae														
<i>Nemotarsus</i> sp. 1	6													

TÁXON	BN	BQ	CD	JAN	ODA	TR	MDA	ON	BI	BIV	CPO	MGO	SNH	PD
sp. 1				2										
F. Curculionidae														
sp. 1	1													
F. Elateridae														
sp. 1	1													
F. Endomychidae														
sp. 1	7													
F. Ptilodactylidae														
sp. 1					12									
F. Staphylinidae														
sp. 1	1				5	1		2			2			
sp. 2	1				7		1	1			8			
sp. 3										1				
O. Diptera														
sp. 1							1				4	2	5	2
sp. 2											1	1		
F. Cecidomyiidae														
sp. 1				1	1					12				
F. Ceratopogonidae														
sp. 1										2				
sp. 2	1													
F. Chironomidae														
sp. 1				20										
sp. 2				2										
F. Culicidae														
sp. 1											4	1	1	

TÁXON	BN	BQ	CD	JAN	ODA	TR	MDA	ON	BI	BIV	CPO	MGO	SNH	PD
sp. 2													1	
F. Dolichopodidae														
sp. 1	2	1												
F. Drosophilidae														
<i>Drosophila</i> sp. 1					23									
F. Keroplatidae					1									
sp.1														
<i>Neoditomyia</i> sp. 1							2							
F. Lauxaniidae														
sp. 1											1			
sp. 2		1												
F. Limoniidae														
sp. 1				1	3		3				1			
F. Milichiidae														
sp. 1				1	3									
F. Phoridae														
<i>Conicera</i> sp. 1					2									
F. Psychodidae														
sp. 1		1		1	4									
sp. 2											1			
F. Sciaridae														
sp. 1											1			
F. Sphaeroceridae														
sp. 1					1									
<i>Ephidroidea</i> sp. 1	1			1										
<i>Ephidroidea</i> sp. 2				1										

TÁXON	BN	BQ	CD	JAN	ODA	TR	MDA	ON	BI	BIV	CPO	MGO	SNH	PD
O. Hemiptera														
sp. 1					1	1	4	1			6		7	1
sp. 2													1	
F. Cixiidae														
sp. 1							1							
F. Lygaeidae														
sp. 1				1										
F. Miridae														
sp. 1	1													
F. Reduviidae														
<i>Zelurus</i> sp. 1	3	5		2	1		3	5			2			
<i>Zelurus ochripennis</i> Stal, 1854									1					
F. Gerridae														
<i>Brachymetra albinervis</i> Amyot & Serville, 1843						3								
O. Hymenoptera														
F. Formicidae														
sp. 1		1	1	1			1		3	3	4		2	4
sp. 2							1	1						
sp. 3								1						
sp. 4								1						
sp. 5								1						
<i>Brachymyrmex</i> sp. 1					5									
<i>Brachymyrmex</i> sp. 2					2									
<i>Cephalotes atratus</i>					1									
<i>Hypoponera</i> sp.1											1			

TÁXON	BN	BQ	CD	JAN	ODA	TR	MDA	ON	BI	BIV	CPO	MGO	SNH	PD
<i>Pheidole</i> sp. 1					1									
<i>Sericomyrmex</i> sp. 1				1										
<i>Solenopsis</i> sp. 1								2						
O. Lepidoptera														
sp. 1							2	1			2			1
sp. 2							1							
F. Noctuidae														
sp. 1	9			5					1		4			
F. Tineidae														
sp. 1	10	4		4			7		1		19	7	9	
sp. 2		1					4							
sp. 3		1												
O. Neuroptera														
sp. 1					2									
sp. 2								1						
F. Myrmeleontidae														
sp. 1	1	2												
F. Mantispidae														
sp. 1												1		
O. Orthoptera														
sp. 1				1			3	1			11	2	1	
sp. 2								1			1			
sp. 3					1									
F. Gryllidae														
sp. 1					1									
F. Mogoplistidae														

TÁXON	BN	BQ	CD	JAN	ODA	TR	MDA	ON	BI	BIV	CPO	MGO	SNH	PD
sp. 1											1			
F. Phalangopsidae														
sp. 1									3		3			
sp. 2	3			1		7	2							1
F. Phalangopsidae														
<i>Endecous peruassuensis</i> Bolfarini & Bichuette, 2015					15						15			
O. Psocoptera														
sp. 1	43	1			13		11	4		4	5	2	4	
O. Thysanura														
sp. 1											1			
O. Zygentoma														
sp. 1					3									
C. Malacostraca														
O. Isopoda														
F. Armadillidae														
<i>Cubares</i> sp. 1							3							
F. Dubinoniscidae														
sp. 1	14													
sp. 2					2			2						
sp. 3					4									
F. Scleropactidae														
sp. 1										1				
F. Stylonicidae														
sp. 1					9									
<i>Xangoniscus odara</i> Campos-Filho, Araujo & Taiti, 2014											20			

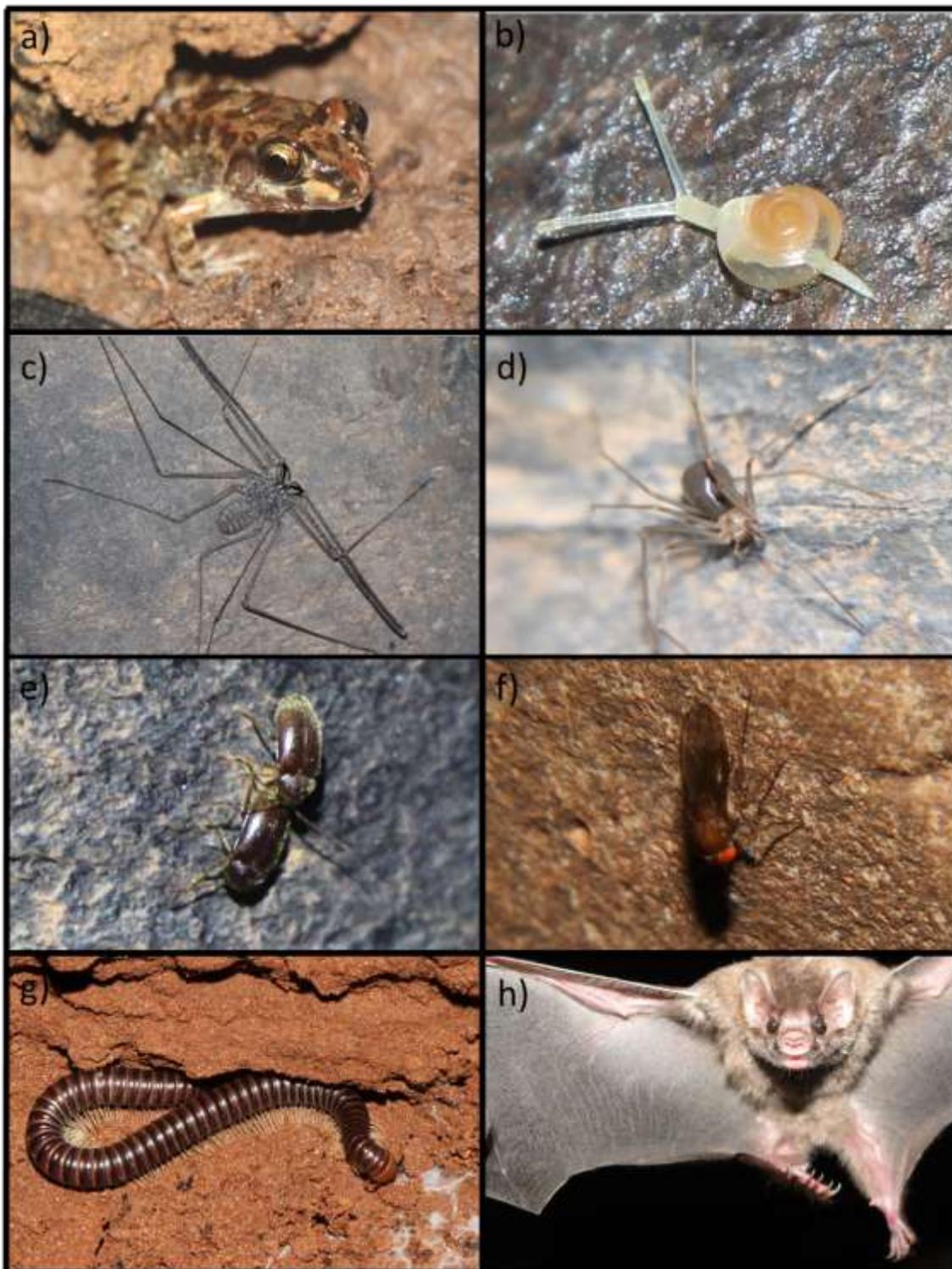
TÁXON	BN	BQ	CD	JAN	ODA	TR	MDA	ON	BI	BIV	CPO	MGO	SNH	PD
sp. 1					1									
C. Osteichthyes														
O. Siluriformes														
F. Trichomycteridae														
<i>Trichomycterus itacarambiensis</i> Trajano & Pinna, 1996					12									
C. Mammalia														
O. Chiroptera														
F. Phyllostomidae														
<i>Carollia perspicillata</i> Linnaeus, 1758 (frugívoro)					9									
<i>Desmodus rotundus</i> É. Geoffroy, 1810 (hematófago)					6									
<i>Diphylla ecaudata</i> Spix, 1823 (hematófago)					1									
Sub. F. Golossophaginae (nectarívoro)					3									

APÊNDICE II



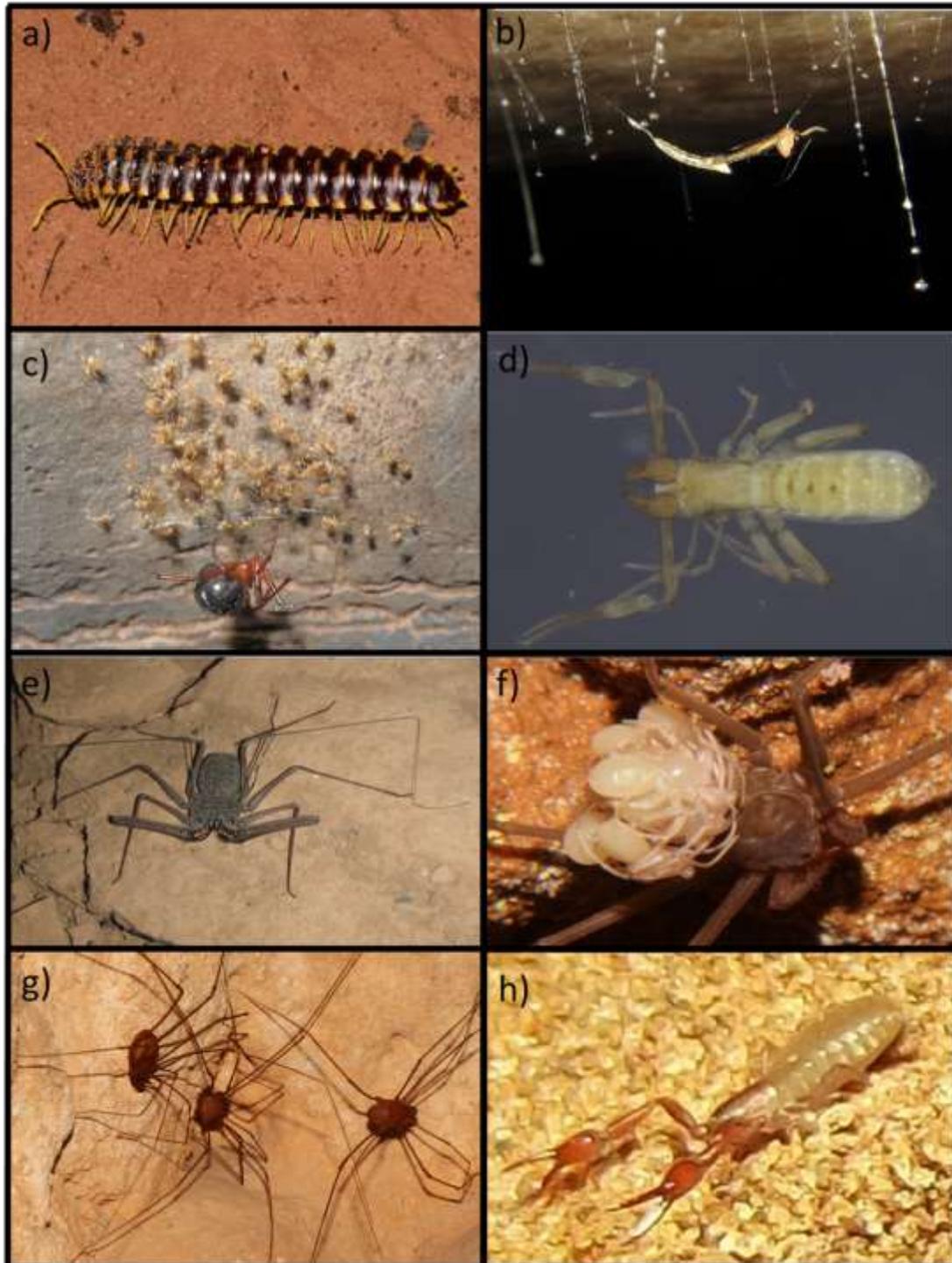
Diversidade da Gruta Olhos d' Água – a) *Trichomycterus itacarambiensis* Trajano & de Pinna, 1996 (Actinopterygii - Siluriformes), b) *Carollia perspicillata* Linnaeus, 1758 (Mammalia - Chiroptera), c) *Desmodus rotundus* Geoffroy, 1810, d) Colônia de *D. rotundus* (fêmeas com filhotes), e) e f) Banco de sedimento com diplópodes do gênero *Katantodesmus*. Fotografias: a- Fenolio, D.; b, c, d – Arnone, I.; e, f – Bolfarini, M.P.

APÊNDICE III



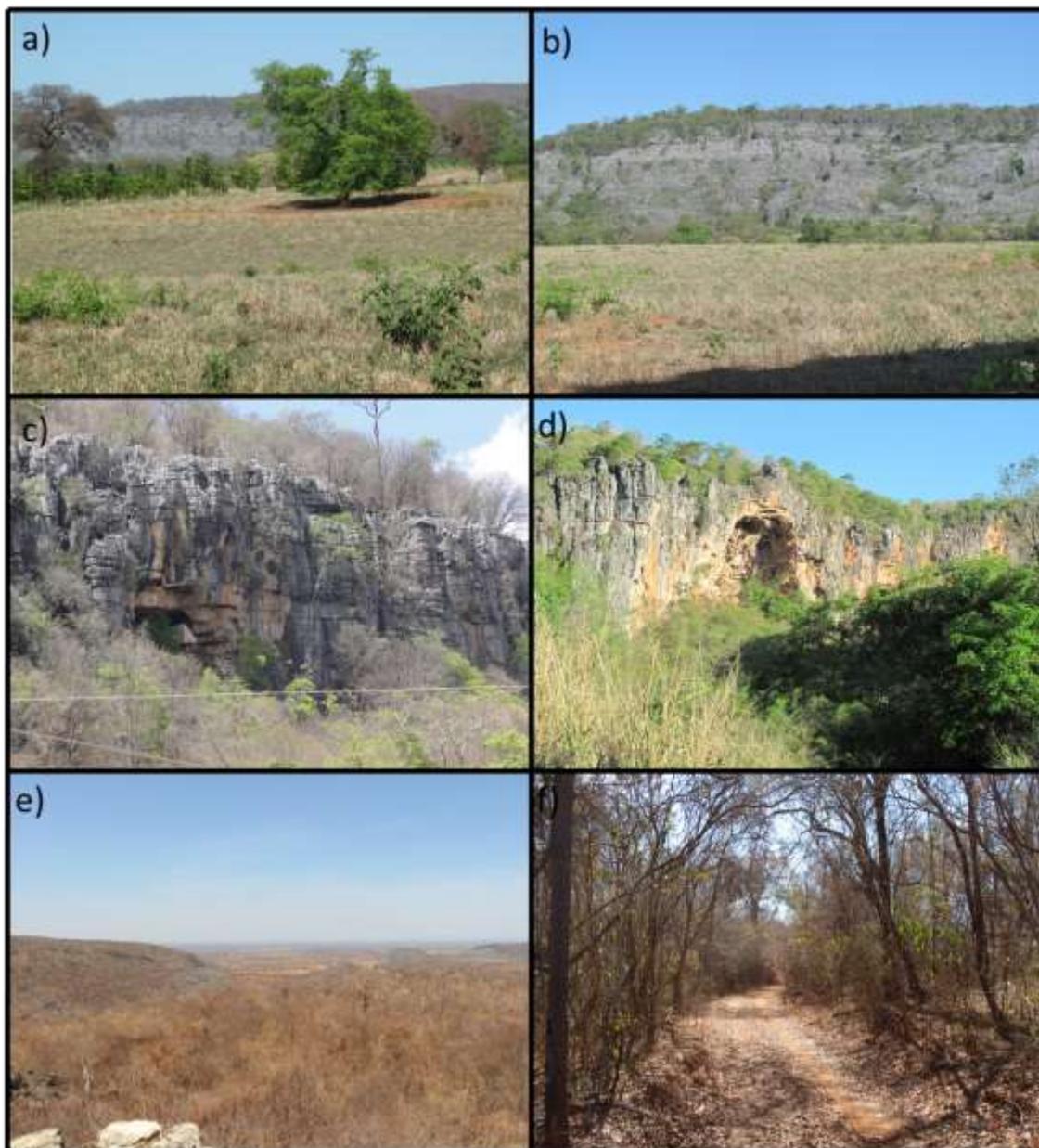
Diversidade registrada na Gruta Olhos d' Água, PNCP, Minas Gerais. a) Anura sp.1 (Lissamphibia); b) *Happia vitrina* Wagner, 1827 (Gastropoda); c) *Trichodamon froesi* (Amblypygi); d) *Loxosceles* sp. 1 (Araneae); e) Coleopteros; f) *Drosophia* sp. 1 (Diptera); g) Spirostreptida sp.1 (Diplopoda); h) *Diphylla ecaudata* Spix, 1823 (Chiroptera). Fotografias: a-g – Bolfarini, M.P.; h – Arnone, I.

APÊNDICE IV



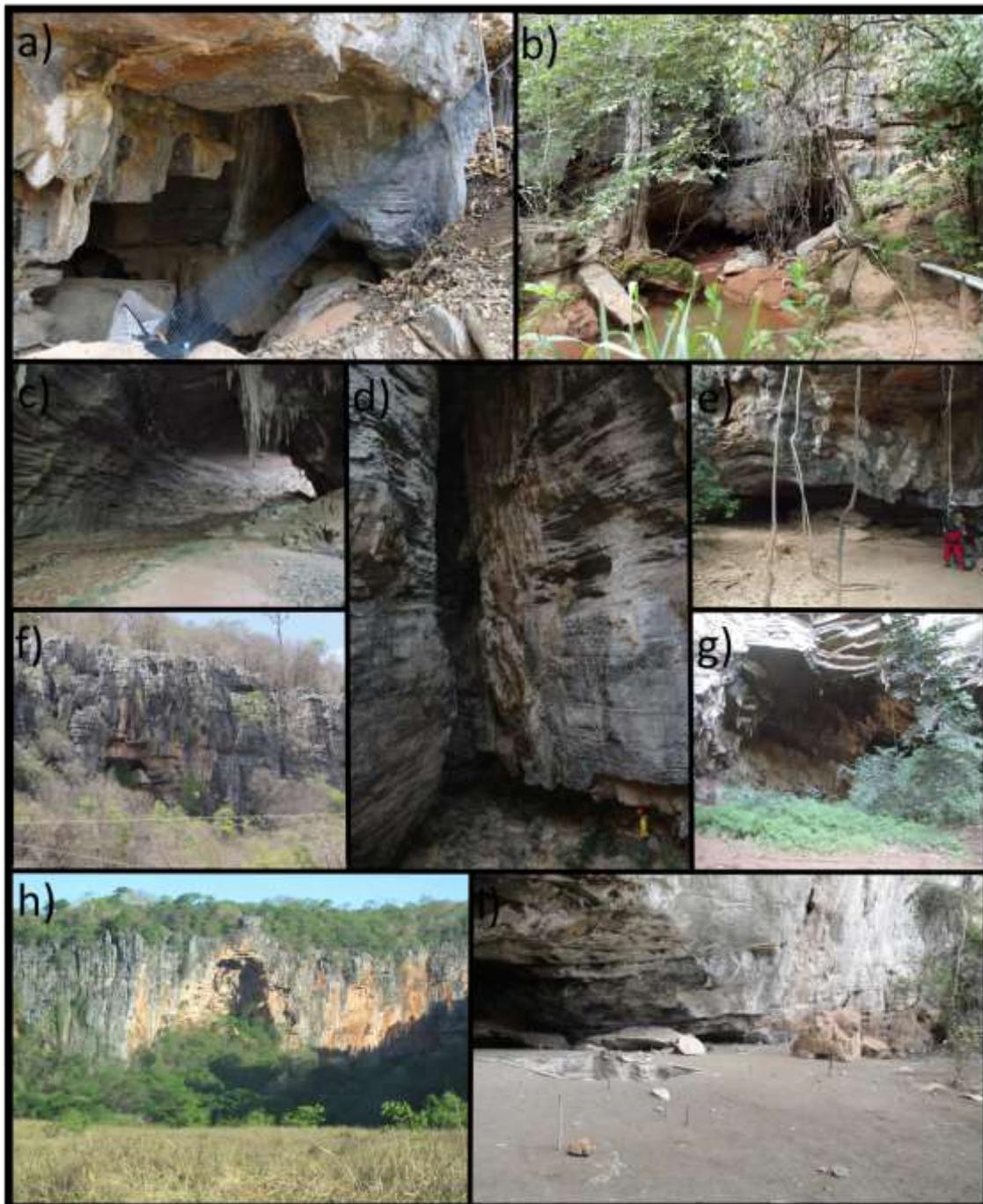
Diversidade da Gruta Olhos d' Água (a,b,c,d), da Lapa do Cipó (e,f,g) e da Toca do Pedrinho (h). a) Polydesmida (Diplopoda); b) Keroplastidae sp. 1 (Diptera); c) Aranha com filhotes; d) *Pseudochthonius biseriatus* Mahnert, 2001; e) *Trichodamon froesi* (Amblypygi) (Lapa do Cipó) f) *C. eleonora* com filhotes (Lapa do Cipó); g) Comestidae sp. 1 (Opiliones) (Lapa do Cipó); h) *Progarypus* sp. 1 (Pseudoscorpião) (Toca do Pedrinho). Fotografias: a, f, g - Bolfarini, M.P.; c - Bichuette, M.E.; b - Gallão, J.E.; e - Gallão, J.E.; Fernandes L.B.R.; h - Fonseca-Ferreira, R.

APÊNDICE V



Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (PNCP). a) e b) Serra do Cardoso; c) e d) Afloramentos da Gruta do Janelão; e) e f) Paisagens no período seco em Julho/2014 e Junho/2015. Fotografias: a – Bichuette, M.E.; b – Zepon, T.; c, d, e, f – Bolfarini, M.P.

APÊNDICE VI



Cavidades estudadas do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu. a) Ressurgência da Gruta Olhos d' Água com rede de neblina armada, b) Ressurgência da Gruta Olhos d' Água, c) Caverna do Cascudo, d) Lapa do Cipó, e) Toca do Pedrinho, f) Gruta Bonita, g) Caverna dos Troncos, h) Gruta Janelão e f) Caverna Boquete com escavações arqueológicas. Fotografias: a, f – Arnone, I.; b, h – Bichuette, M. E.; c, g – Gallão, J.E.; d – Bolfarini, M.P.; e – Fonseca-Ferreira, R.