



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa – PRPGP

Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação/PPGEC

Dissertação

DISTRIBUIÇÃO DA FAUNA DE COLÊMBOLOS CAVERNÍCOLAS EM MATRIZ DE MINÉRIO DE FERRO NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS, SUDESTE DO BRASIL

Mestranda: Thaís Gomes Machado

Orientador: Douglas Zeppelini Filho

Campina Grande – PB

Abril – 2016

THAIS GOMES MACHADO

**DISTRIBUIÇÃO DA FAUNA DE COLÊMBOLOS CAVERNÍCOLAS EM
MATRIZ DE MINÉRIO DE FERRO NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO,
MINAS GERAIS, SUDESTE DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Zeppelini Filho

CAMPINA GRANDE - PB
Abril, 2016

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

M149d Machado, Thais Gomes.
Distribuição da fauna de colêmbolos cavernícolas em matriz de minério de ferro no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais, Sudeste do Brasil [manuscrito] / Thais Gomes Machado. - 2016. 44 p. : il. color.

Digitado.
Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, 2016.
"Orientação: Prof. Dr. Douglas Zeppelini Filho, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa".

1. Fauna cavernícola. 2. Espeleologia. 3. Biogeografia. 4. Collembola. I. Título.

21. ed. CDD 595.725

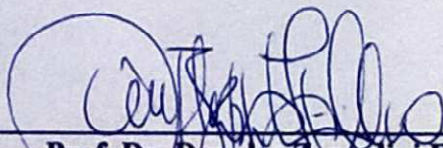
THAIS GOMES MACHADO

**DISTRIBUIÇÃO DA FAUNA DE COLÊMBOLOS CAVERNÍCOLAS EM
MATRIZ DE MINÉRIO DE FERRO NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO,
MINAS GERAIS, SUDESTE DO BRASIL**

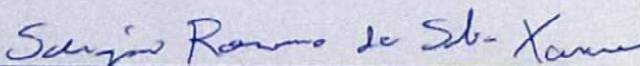
Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ecologia e Conservação
da Universidade Estadual da Paraíba, como
requisito à obtenção do título de Mestre.

Aprovada em: 29/04/2016

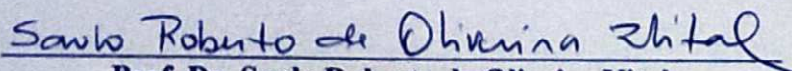
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Douglas Zeppelini Filho
Orientador - Universidade Estadual da Paraíba



Prof. Dr. Sérgio Romero da Silva Xavier
Examinador - Universidade Estadual da Paraíba



Prof. Dr. Saulo Roberto de Oliveira Vital
Examinador - Universidade Federal do Rio Grande do Norte

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Estadual da Paraíba (PPGEC - UEPB) pelo crescimento pessoal e acadêmico.

À Vale S.A. pela oportunidade de realizar este trabalho através do financiamento concedido e a Robson de Almeida Zampaulo por todo o auxílio durante o projeto.

Ao Prof. Dr. Douglas Zeppelini Filho pela orientação desta dissertação.

À Banca Examinadora Prof. Dr. Sérgio Romero da Silva Xavier e Prof. Dr. Saulo de Oliveira Vital pelas contribuições para o aperfeiçoamento deste trabalho.

A equipe do Laboratório de Sistemática de Collembola e Conservação, em especial a Roniere Brito pelas dicas e conselhos fornecidos e a Tatiana Ponce pela ajuda necessária.

Aos amigos Sara Pordeus e Felipe César por me hospedarem e me ajudarem no que fosse preciso. A Jéssica Sena pelas críticas, sugestões, descontrações e conversas. Aos meus amigos desde a graduação Mayara Barbalho, Vanessa de Lima e Bruno Melo pelo companheirismo e amizade até os dias de hoje. Agradeço também aos demais amigos que contribuíram de alguma forma nesta jornada.

A toda minha família pela compreensão dos dias ruins e das ausências, pelo incentivo, apoio e força para nunca desistir. Especialmente a meu pai Alberto e minha mãe Anelita, bem como Doralice, Jessica e Vandeivi, vocês foram essenciais para que eu conseguisse chegar até aqui, muito obrigada!

A Deus por me permitir superar as dificuldades.

RESUMO

Em geral, espécies cavernícolas possuem alterações em sua morfologia e fisiologia como forma de adaptação ao ambiente e podem ser classificadas como troglóbias, eutroglófilas, subtroglófilas e troglógenas. Quando comparados a ecossistemas epígeos, ecossistemas cavernícolas possuem baixa diversidade de espécies, dependência de nutrientes provenientes do meio externo e condições de umidade e temperatura estáveis ao longo do ano. Desta forma, este ambiente é fortemente influenciado por alterações ambientais externas, como a mineração, desmatamento, urbanização, entre outras. O presente estudo tem como objetivo avaliar a distribuição das espécies troglóbias de Collembola em cavernas inseridas em diferentes litologias em áreas de significativo interesse mineral. Localizado em Minas Gerais, o Quadrilátero Ferrífero representa uma das principais províncias metalogenéticas do Brasil. Analisamos o material biológico depositado na Coleção de Referência em Fauna de Solo da Paraíba da Universidade Estadual da Paraíba. Foi realizada a organização de um banco de dados com os registros da ocorrência e a distribuição geográfica das espécies, para o georreferenciamento de todas as cavidades. Foram analisados 1.589 espécimes, divididos em 16 famílias, 59 gêneros e 131 espécies. Destas, 13 foram consideradas possivelmente troglóbias. As espécies *Pararrhopalites* sp4, *Pararrhopalites* sp7, *Pseudosinella* sp4, *Trogolaphysa* sp6, *Troglobius ferroicus* e *Troglobius* sp2 foram consideradas troglóbias. *Arrhopalites* sp2 e *Arrhopalites* sp3 podem ser a mesma espécie. Acredita-se que *Pseudosinella* sp4 locomove-se pelo MSS e *Trogolaphysa* sp6 pode estar passando por um processo vicariante. As atividades antrópicas e o uso dos recursos naturais nestes ambientes acarretam degradação e extinção local ou regional das espécies. O ambiente cavernícola funciona como locais excelentes para estudos ecológicos e frequentemente abrigam espécies endêmicas, portanto é de fundamental importância à conservação deste ambiente e conseqüentemente de sua fauna.

Palavras-chave: Espeleologia; biogeografia; Collembola.

ABSTRACT

In general, cave species have changes in their morphology and physiology as way of adaptation to the environment and are classified as troglobites; eutroglophiles; subtroglophiles and troglonexes. Compared to epigean ecosystem, the cave ecosystem has low species diversity, dependence of nutrients from the external environment, humidity and stable temperature in the year, therefore, this environment is strongly influenced by external environmental changes, such as mining, deforestation, urbanization, etc. This study examines the distribution of troglobite species of Collembola caves in different lithologies in areas of mining interest. Located in Minas Gerais, the Quadrilátero Ferrífero represents one of the main metallogenetic provinces of Brazil. We examined the biological material deposited in the Reference Collection in the Paraíba Soil Fauna in the Universidade Estadual da Paraíba. Held up the organization of a database with records of occurrence and geographical distribution of species, for the geo-referencing of all wells. We performed the analysis of 1.589 specimens, divided into 16 families, 59 genera and 131 species. Of these, 13 were considered possible troglobites. The species *Pararrhopalites* sp4, *Pararrhopalites* sp7, *Pseudosinella* sp4, *Trogolaphysa* sp6, *Troglobius ferroicus* e *Troglobius* sp2 were confirmed troglobite. *Arrhopalites* sp2 and *Arrhopalites* sp3 can be the same specie and is believed that *Pseudosinella* sp4 move around on MSS and *Trogolaphysa* sp6 may be experiencing a vicarious process. Human activities and the use of natural resources in this environment entails degradation and local or regional extinction of species. The cave environment acts as excellent places for ecological studies and frequently have endemic species, so it is extremely important to preserve this environment and your fauna.

Keywords: Speleology; Biogeography; Collembola.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 O AMBIENTE CAVERNÍCOLA	9
1.2 A FAUNA CAVERNÍCOLA	11
1.3 ADAPTAÇÕES AO AMBIENTE CAVERNÍCOLA	12
2. OBJETIVO GERAL	15
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3. PERGUNTA.....	14
4. HIPÓTESE.....	14
MANUSCRITO: DISTRIBUIÇÃO DA FAUNA DE COLÊMBOLOS CAVERNÍCOLAS TROGLÓBIOS EM MATRIZ DE MINÉRIO DE FERRO	15
5.CONCLUSÕES GERAIS DA DISSERTAÇÃO.....	40
REFERÊNCIAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

1.1 O AMBIENTE CAVERNÍCOLA

Habitats subterrâneos são predominantes em margens continentais e oceânicas, abrangem toda a zona insaturada (zona vadosa) do subsolo, com maior evidência em áreas cársticas (cavernas, fissuras, rachaduras), que representam aproximadamente 4% dos afloramentos rochosos ao redor do mundo (GIBERT; DEHARVENG, 2002). Quando comparado aos outros continentes, a América do Sul apresenta áreas relativamente pequenas compostas por rochas carbonáticas. No entanto, importantes áreas cársticas são presentes neste continente com ocorrência de sítios espeleológicos significativos. O Brasil é um dos países da América do Sul com a maior área cárstica presente, com melhor distribuição na metade sul do país (AULER, 2004).

Por estarem envoltos por rochas ou sedimentos, os ecossistemas subterrâneos podem permanecer relativamente inalterados durante milhões de anos. Nestes ambientes, há fontes relativamente permanentes de alimentos, principalmente em habitats terrestres, capazes de suportar grandes populações de invertebrados. Seus recursos alimentares são representados por detritos vegetais, acúmulos de guano de morcegos e detritos animais ou indivíduos epígeos acidentais (GIBERT; DEHARVENG, 2002; TRAJANO, 2004).

Botosaneanu (1986) e Juberthie (2000) definem duas categorias primárias de habitats subterrâneos: 1) extensas cavidades e 2) pequenas cavidades intersticiais. Ambos os habitats apresentam ausência de luz e presença de espécies limitadas e modificadas pela vida subterrânea. A distribuição, evolução das espécies e ocupação do ambiente cavernícola e outros espaços subterrâneos são consequentes de fatores climáticos e mais geralmente do ambiente físico. Espeleólogos incluem outras diferenciações de características físicas nesta definição, tal como a ausência de variação temporal, especialmente cíclica (diurna e anual). Esta provável ausência de ciclos dificulta a compreensão sobre processos fisiológicos, como a reprodução (CULVER; PIPAN, 2008).

As cavernas podem ser divididas de acordo com a sua disponibilidade de luz externa em: zona de entrada (eufótica) onde há presença de luminosidade; zona intermediária de penumbra (disfótica) na qual há incidência indireta de luz; e a zona

profunda (afótica) com total ausência de luz. Na zona eufótica há uma riqueza elevada de recursos, na zona disfótica a temperatura é variável e na zona afótica a temperatura é praticamente constante anualmente, estas características ocorrem de acordo com a profundidade da caverna (POULSON; WHITE, 1969; HOWARTH, 1981; HOWARTH, 1983; HOLSINGER; CULVER, 1988). Contudo, não são todos os ambientes cavernícolas que possuem estas zonas definidas, apenas aqueles com maior extensão possuirão a zona afótica (HOENEN; MARQUES, 2000).

No ambiente subterrâneo pode existir uma extensão de fendas e fissuras entre a superfície e a rocha, além do que se conhece como cavernas. Esta extensão do domínio subterrâneo sob a superfície é chamada de Meio Subterrâneo Superficial - de *Milieu Souterrain Superficiel* no Francês original ou *Mesovoid Shallow Substratum* do Inglês (JUBERTHIE et al., 1980; WHITE; CULVER, 2012).

O MSS forma um habitat único, podendo manter uma fauna própria, como também pode desempenhar o papel de ecótono, entre troglóbios e demais espécies cavernícolas. Os espaços abertos do MSS surgem como resultado de vários fatores bióticos e abióticos, podendo ser caracterizados por quatro tipos básicos: MSS de declive (*Slope* MSS), formado em um plano inclinado, sendo o resultado da erosão e deposição de frações de rochas produzidas pela fragmentação mecânica da rocha matriz (JUBERTHIE et al., 1980); MSS de substrato rochoso (*Bedrock* MSS), formado pelo intemperismo de grande parte da rocha, um processo gradual encontrado em área com pouca ou nenhuma inclinação (GERS, 1992); MSS vulcânico (*Volcanic* MSS), resultado da acumulação de material vulcânico, contendo muitas fissuras interligadas que ao longo do tempo se tornam isoladas do meio exterior, são efêmeras, pois o depósito de material vulcânico é mais suscetível ao intemperismo; e o MSS aluvial (*Alluvial* MSS), que corresponde às fendas que se encontram sob os leitos dos cursos temporários de água.

O MSS não se restringe apenas a cavernas, estudos mostram que há locomoção de espécies tanto do ambiente cavernícola como também das presentes no ambiente epígeo (GERS, 1998; PIPAN et al., 2011), podendo-se assumir que o MSS não é isolado, mas que pode estar conectado entre ambientes cavernícolas e a superfície do solo, contribuindo para o aumento do fluxo gênico entre as populações de diferentes unidades cársticas.

A compreensão das peculiaridades existentes nas cavernas como seus limites, conexões com o MSS, profundidade em relação à superfície e tamanho do ambiente

subterrâneo é primordial para um melhor entendimento sobre a evolução da fauna, bem como sobre seus aspectos ecológicos (HOWARTH, 1983). A configuração das passagens, localização e tamanho das entradas e as taxas de umidade são extremamente importantes sobre o meio ambiente cavernícola (HOWARTH, 1973; CHRISTIANSEN; BULLION, 1978; HOWARTH, 1980).

1.2 A FAUNA CAVERNÍCOLA

O estudo da fauna cavernícola foi intensificado no Brasil a partir de 1980. A composição taxonômica das comunidades subterrâneas difere devido aos fatores biogeográficos, mecanismos evolutivos e processos ecológicos (TRAJANO, 2004). Os primeiros estudos foram em sua maioria taxonômicos, e servem de embasamento para estudos ecológicos e fisiológicos detalhados por possuírem uma base de espécies devidamente identificadas (MONTGOMERY, 1977; DAUNT-MERGENS, 1981).

Invertebrados cavernícolas são normalmente encontrados em sedimentos ou em superfícies rochosas, concentrados em detritos vegetais e animais. São eles minhocas, ácaros, amblipígeos, centopeias, isópodes (subordem Oniscidea), colêmbolos (Isotomidae, Paronellidae, Entomobryidae e Arrhopalitidae), dipluros da família Campodeidae, insetos ortópteros, larvas de mariposas da família Tineidae, besouros detritívoros em fase larval ou adulta, entre outros. Os predadores cavernícolas incluem ácaros, besouros, pseudoescorpiões, pequenas aranhas, centopeias e indivíduos da ordem Schizomida (PINTO-DA-ROCHA, 1995; TRAJANO, 2004).

Culver e Holsinger (1992) propuseram um total de 50.000 a 100.000 espécies troglóbias para o mundo, baseados em estimativas regionais. Porém, estes valores são muito subestimados devido à falta de conhecimento da fauna e da taxonomia de grande parte dos grupos subterrâneos. Sendo assim, em escala global, a biodiversidade subterrânea pode ser considerada alta (GIBERT; DEHARVENG, 2002). A caracterização das comunidades subterrâneas compreendem espécies em fases distintas de adaptação, como habitantes temporárias, com fortes afinidades hipógeas ou obrigatoriamente hipógeas. Apenas uma parte da comunidade possui especializações morfológicas, fisiológicas e comportamentais restritivas para habitar ambientes subterrâneos, características interessantes no entendimento da evolução da fauna em cavernas (GIBERT; DEHARVENG, 2002; DERKARABETIAN et al., 2010).

A fauna subterrânea responde ao meio em que vive de forma variada. Não existe uma característica comum, mas observam-se algumas tendências gerais (convergência), que mesmo frequentes não são exclusivas deste tipo de ambiente e estas adaptações não ocorrem juntas em todos os grupos faunísticos (CAMACHO; PRIETO, 2011). Processos ecológicos, evolutivos, eventos históricos e as condições geográficas são responsáveis pelos diferentes padrões de biodiversidade, assim, o ambiente subterrâneo possui variação de uma região para outra. Em escala global, quatro características são responsáveis por estas variações: baixo número de linhagens devido ao ambiente extremo; alta proporção de espécies endêmicas e um grande número de espécies vicariantes alopátricas; elevado nível de táxons relictos, através da relativa estabilidade e antiguidade do habitat; e teias alimentares incompletas, por não possuírem produtores primários e nenhum ou poucos predadores (GIBERT; DEHARVENG, 2002).

Grande parte das espécies cavernícolas especializadas são extremamente vulneráveis à perturbação humana (HOWARTH, 1983) e comunidades com poucas espécies possuem maior vulnerabilidade às perturbações (POULSON; KANE, 1977; RACOVITZA, 1980). Sendo assim, levantamentos biológicos detalhados devem ser considerados extremamente importantes, principalmente em áreas sob constante ameaça no uso da terra (HOWARTH, 1983).

1.3 ADAPTAÇÕES AO AMBIENTE CAVERNÍCOLA

Christiansen (1962) propôs o termo troglomorfo como uma ferramenta para a determinação de especializações morfológicas e fisiológicas decorrentes do isolamento no ambiente subterrâneo. Estas adaptações incluem a diminuição das estruturas oculares, aumento na série de instrumentos sensoriais (e.g. sensilas na antena), redução da pigmentação do corpo, alongamento de apêndices e aumento no tamanho dos ovos e por consequência da prole. Acredita-se que esses traços, observados em diferentes táxons animais, são resultados de processos evolutivos convergentes, e são interpretados como uma resposta às pressões seletivas (ou ausência delas) do ambiente cavernícola (CULVER, 1982; CULVER; PIPAN, 2009). Estas transformações são ocasionadas por mecanismos de evolução como a deriva genética, seleção natural e mutação ou migração (LEROI et al., 1994).

Assim como em outros grupos taxonômicos, o grau de adaptação dos colêmbolos ao ambiente subterrâneo permite classificá-los de acordo com o sistema mais recente proposto por Sket (2008): (I) troglóbios são os cavernícolas obrigatórios, estritamente vinculados ao habitat hipógeo, sendo considerados endêmicos; (II) eutroglófilos são essencialmente de domínio epígeo, mas capazes de manter uma população permanente em habitat subterrâneo; (III) subtroglófilos estão voltados definitiva ou temporariamente para habitats subterrâneos, mas ligados ao meio epígeo por algumas funções biológicas (alimentação, por exemplo); e (IV) troglógenos são as espécies que ocorrem esporadicamente no ambiente cavernícola.

Neste grupo, os caracteres troglomórficos como a redução de olhos e da pigmentação, citados anteriormente, são de ampla ocorrência em espécies restritas ao ambiente cavernícola, sendo utilizado normalmente para definir o “status” de troglóbio. Entretanto, essa definição pode ser dificultada, pois nem todos os troglóbios possuem necessariamente troglomorfismos evidentes. Espécies com recente isolamento em habitats subterrâneos podem ainda não terem tido tempo para desenvolver adaptações apomórficas, ou podem estar em ambientes cujas pressões seletivas não conduziram ao desenvolvimento de troglomorfismos. Também existem espécies, pertencentes a grupos tipicamente sem olhos e pigmentação, que não são troglóbios (CULVER, 1982; CULVER; PIPAN, 2009), mas que desenvolveram essas características em ambientes com pressões seletivas similares àquelas encontradas em cavernas (CHRISTIANSEN, 1962).

Entretanto, ainda que existam exceções, a morfologia como critério para classificação dos troglóbios tem se mostrado eficiente. Nos colêmbolos, as espécies dos gêneros *Arrhopalites* Börner, 1906, *Pseudosinella* Schäffer 1897 e *Trogolaphysa* Mills, 1938 (entre outros) são caracterizadas pela redução no número de olhos, dentre outros caracteres morfológicos. No entanto, o alto grau de adaptação ao ambiente cavernícola, como alongamento de pernas e antenas, redução dos olhos, ausência de pigmentos, e complexos empodiais adaptados à locomoção em superfícies saturadas de água permitem classificar, com certa segurança, espécies destes gêneros como troglóbios (TRAJANO, 1987; MACHADO et al., 2008).

Portanto, o desenvolvimento de órgãos sensoriais, a despigmentação e a regressão ocular não são encontrados obrigatoriamente nos táxons troglóbios e presença de caracteres troglomórficos podem ser encontrados em espécies de zonas epígeas, contidos na fauna euedáfica e hemiedáfica do solo, como troncos de árvores e

cupinzeiros. Sendo assim, somente uma combinação de caracteres troglomórficos pode indicar com certa segurança a adaptação à vida cavernícola, e sua classificação em uma espécie restrita ao ambiente subterrâneo, ou seja, troglóbio (ZEPPELINI et al., 2003).

O alongamento das antenas de muitos troglóbios supostamente ocorre para aumentar a sensação tátil na escuridão total (CHRISTIANSEN, 1961; BARR, 1968; POULSON; WHITE, 1969; PECK, 1973). Além disso, há um crescimento nas estruturas sensoriais e estas podem funcionar como quimiorreceptores ou são sensíveis à umidade relativa (LUCARELLI; SBORDONI, 1978; JUBERTHIE; MASSOUD, 1980). Muitos troglóbios exibem um metabolismo bastante reduzido se comparado com a fauna epígea, isto tem sido interpretado como uma adaptação para maior eficácia em seu ambiente com baixo nível energético (POULSON, 1964; POULSON; WHITE, 1969; POULSON, 1981).

As adaptações diferenciadas que restringem troglóbios a uma vida cavernícola, juntamente com a ideia de que vivem isolados, reforçaram a hipótese de que estes são frágeis e levam uma existência em risco. A propósito, muitos destes animais são considerados ameaçados de extinção (LISOWSKI; POULSON, 1981; HOWARTH, 1982; MACHADO et al., 2008). O estado de conservação sobre as espécies de invertebrados cavernícolas são em geral dificultadas pela carência de informações ecológicas robustas referentes às particularidades de cada espécie (RACOVITZA, 1980; PUGSLEY, 1981; HOWARTH, 1982).

2. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo analisar a distribuição das espécies possivelmente troglóbias de colêmbolos cavernícolas em diferentes litologias do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Mapear a distribuição de cada espécie potencialmente troglóbia;
2. Mapear a distribuição das cavernas na matriz rochosa;
3. Verificar a sobreposição na distribuição das espécies.

3. PERGUNTA

Existe restrição na distribuição de espécies troglóbias de Collembola nos distintos sítios litológicos do Quadrilátero Ferrífero?

4. HIPÓTESE

Há restrição na distribuição de espécies troglóbias de Collembola nos distintos sítios litológicos do Quadrilátero Ferrífero.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa – PRPGP
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação/PPGEC

Manuscrito a ser submetido à Subterranean Biology

**DISTRIBUIÇÃO DA FAUNA DE COLÊMBOLOS CAVERNÍCOLAS
TROGLÓBIOS EM MATRIZ DE MINÉRIO DE FERRO**

Thaís Gomes Machado e Douglas Zeppelini

Campina Grande – PB
Abril – 2016

Distribuição da fauna de colêmbolos cavernícolas troglóbios em matriz de minério de ferro

Thaís Gomes Machado; Douglas Zeppelini

Laboratório de Sistemática de Collembola e Conservação, Campus V, CCBSA, UEPB, Cristo Redentor, João Pessoa, PB. Email: thais_gmachado@hotmail.com

Resumo

Em geral, espécies cavernícolas possuem alterações em sua morfologia e fisiologia como forma de adaptação ao ambiente e podem ser classificadas como troglóbias, eutroglófilas, subtroglófilas e troglógenas. Quando comparados a ecossistemas epígeos, ecossistemas cavernícolas possuem baixa diversidade de espécies, dependência de nutrientes provenientes do meio externo e condições de umidade e temperatura estáveis ao longo do ano. Desta forma, este ambiente é fortemente influenciado por alterações ambientais externas, como a mineração, desmatamento, urbanização, entre outras. O presente estudo tem como objetivo avaliar a distribuição das espécies troglóbias de Collembola em cavernas inseridas em diferentes litologias em áreas de significativo interesse mineral. Localizado em Minas Gerais, o Quadrilátero Ferrífero representa uma das principais províncias metalogenéticas do Brasil. Analisamos o material biológico depositado na Coleção de Referência em Fauna de Solo da Paraíba da Universidade Estadual da Paraíba. Foi realizada a organização de um banco de dados com os registros da ocorrência e a distribuição geográfica das espécies, para o georreferenciamento de todas as cavidades. Foram analisados 1.589 espécimes, divididos em 16 famílias, 59 gêneros e 131 espécies. Destas, 13 foram consideradas possivelmente troglóbias. As espécies *Pararrhopalites* sp4, *Pararrhopalites* sp7, *Pseudosinella* sp4, *Trogolaphysa* sp6, *Troglobius ferroicus* e *Troglobius* sp2 foram consideradas troglóbias. *Arrhopalites* sp2 e *Arrhopalites* sp3 podem ser a mesma espécie. Acredita-se que *Pseudosinella* sp4 locomove-se pelo MSS e *Trogolaphysa* sp6 pode estar passando por um processo vicariante. As atividades antrópicas e o uso dos recursos naturais nestes ambientes acarretam degradação e extinção local ou regional das espécies. O ambiente cavernícola funciona como locais excelentes para estudos ecológicos e frequentemente abrigam espécies endêmicas, portanto é de fundamental importância à conservação deste ambiente e conseqüentemente de sua fauna.

Palavras-chave: Espeleologia; Biogeografia; Collembola; Quadrilátero Ferrífero.

Introdução

O ambiente subterrâneo possui características peculiares, sendo assim, as espécies ocorrentes neste habitat tendem a apresentar especializações morfológicas e fisiológicas que incluem a redução da pigmentação do corpo, diminuição das estruturas oculares e aumento na série de estruturas sensoriais, como sensilas na antena, apêndices alongados e aumento no volume dos ovos, estas modificações foram denominadas de troglomorfismo por Christiansen (1962). A fauna cavernícola pode ser classificada de acordo com o sistema proposto por Sket (2008) que consiste em: troglóbios, organismos cavernícolas obrigatórios; eutroglófilos, os essencialmente de domínio epígeo, mas capazes de manter uma população permanente em habitat subterrâneo; subtroglófilos voltados definitiva ou temporariamente para habitats subterrâneos, mas ligados ao meio epígeo por funções biológicas; e troglóxenos, espécies ocorrentes esporadicamente no substrato cavernícola.

As transformações troglomórficas são consideradas adaptações à vida em cavernas ocasionadas por mecanismos de evolução como deriva genética, seleção natural, mutação ou migração (Leroi et al., 1994). As adaptações diferenciadas que restringem troglóbios a uma vida cavernícola, juntamente com a ideia de que vivem isolados, reforçaram o pensamento de que estes são frágeis e levam uma existência em risco. A propósito, muitos destes animais são considerados ameaçados de extinção (Lisowski e Poulson, 1981, Howarth, 1982, Machado et al., 2008).

Estudos bioespeleológicos presentes em sítios ferruginosos foram bastante subestimados em decorrência da ideia de que por estas cavidades apresentarem dimensões reduzidas, em grande parte dos casos, iriam obrigatoriamente possuir uma baixa diversidade biológica (Ferreira, 2005). No entanto, trabalhos recentes desenvolvidos em cavidades em formações ferríferas têm revelado uma fauna diversificada com elevado número de espécies troglomórficas (Ferreira, 2005, Coelho et al., 2010, Souza-Silva et al., 2011, Mascarenhas, 2013, Oliveira et al., 2013, Prous, 2013, Zampaulo, 2015).

As cavidades em minério de ferro apresentam elevada riqueza, diversidade, complexidade biológica, baixa similaridade, heterogeneidade espacial, restrição geográfica e vulnerabilidade se compararmos às ocorrentes em outras litologias (Ferreira, 2005; Souza-Silva et al., 2011; Carmo e Jacobi, 2012). Muitos destes ambientes desenvolvem-se preferencialmente no contato entre a canga (crosta

ferruginosa) e a rocha matriz, com isto, são caracterizados por apresentarem espaços subterrâneos relativamente superficiais. Outra característica é a presença de uma elevada permeabilidade através da porosidade natural e de fendas subterrâneas, que possibilitam a movimentação da fauna entre o ambiente epígeo e hipógeo (Ferreira, 2005). Estas fendas e fissuras localizadas entre as superfícies das rochas em ambientes cavernícolas são similares ao Meio Subterrâneo Superficial (Juberthie et al., 1980, White e Culver, 2012).

O Meio Subterrâneo Superficial dos sistemas subterrâneos ferruginosos apresenta pequeno diâmetro e forma conexões extensas de espaços intersticiais entre macrocavernas a partir de micro e mesocavidades. Tal condição pode justificar a elevada variação da composição faunística observada nestes sistemas. Estas fissuras sob a rocha possibilitam a locomoção das espécies em cavidades próximas na qual colabora para a manutenção da diversidade β de cada área (Ferreira, 2005). O MSS não está restrito apenas a uma caverna, o movimento dos organismos acontece tanto por aqueles que são encontrados no ambiente cavernícola como dos que se deslocam entre o solo e o MSS (Gers, 1998, Pipan et al., 2011).

A região estudada compreende uma das principais áreas de exploração de minério do Brasil, no qual a remoção da canga para possibilitar acesso aos depósitos minerais ocasiona alteração da paisagem, bem como danos irreversíveis ao ambiente subterrâneo (Auler e Piló, 2005, Jacobi e Carmo, 2008). O tipo da formação de cavidades naturais em rochas (quartzito, minério de ferro e gnaiss, entre outras) assim como os afloramentos ferruginosos, são muito ameaçados por atividades antrópicas, principalmente por sua distribuição restrita e associação aos principais depósitos de minério de ferro conhecidos no Brasil (Jacobi e Carmo, 2008, Auler et al., 2011).

Cavernas localizadas em formações ferríferas possuem frequentes ameaçadas através das atividades de exploração mineral em virtude de sua distribuição restrita e interesse econômico pelo recurso. Sendo assim, o mapeamento de áreas biologicamente importantes são de extrema necessidade para o manejo do ambiente, bem como para o conhecimento da fauna local e sua distribuição, de forma a viabilizar a proteção da biodiversidade através da verificação da condição troglóbia das espécies ocorrentes.

Métodos

O estudo foi realizado em 448 cavidades de uma Província Espeleológica, inserida em matriz de minério de ferro, na região do Quadrilátero Ferrífero, no Estado de Minas Gerais, estado com maior número de cavernas do país. O sítio espeleológico presente no Quadrilátero Ferrífero, situado na porção centro-sul de Minas Gerais, é uma das principais províncias metalogenéticas do Brasil. O estudo foi concentrado nos municípios de Brumadinho, Caeté, Congonhas, Igarapé, Itabirito, Mariana e Santa Bárbara (Figura 1). O material utilizado no presente estudo é advindo de estudos de consultoria ambiental, referente a projetos de licenciamento, regularização ou monitoramento ambiental, em sua maioria de áreas de mineração. Estas coletas foram realizadas entre os anos de 2007 a 2014, com a verificação das lâminas a partir do número de tomo 40 até 5148. Após análise prévia das distribuições, foram selecionadas 97 cavidades e 13 espécies, apenas analisando as localidades do Quadrilátero Ferrífero nas quais as potencialmente troglóbias foram encontradas, sendo assim, para estas cavidades a extensão variou de 2 metros (cavidades AP-46, AP-112, AP-116 e AP-147) a 116 metros (cavidade CH-07).

A fauna de Collembola do Quadrilátero Ferrífero analisada está depositada na Coleção de Referência em Fauna de Solo da Paraíba (CRFS-UEPB), e foi identificada no Laboratório de Sistemática de Collembola e Conservação da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), que recebe o material coletado nos projetos de consultoria espeleológica. Em geral, a coleta ocorreu de forma manual, realizada por pincéis úmidos, bem como armadilhas de queda instaladas em cavernas ou em furos de sondagem. Todos os exemplares estão disponíveis para análise morfológica na CRFS-UEPB. Além disso, foi organizado um banco de dados com os registros de ocorrências e a distribuição geográfica das espécies, através do georreferenciamento de todas as cavidades.

Para elaboração dos mapas, foram inseridos, utilizando o programa ARCGIS 10.3, os dados referentes à distribuição das espécies troglomórficas no Quadrilátero Ferrífero (coordenadas geográficas dos pontos onde estiveram presentes) e a formação litológica para cada sítio espeleológico mapeado. Os mapas foram separados por gênero taxonômico para facilitar a compreensão acerca da disposição das espécies de acordo com a distribuição e assim classificá-las em troglóbias ou não e determinar o status de espécie. A comparação entre elas foi realizada de acordo com análises morfológicas e

litológicas para avaliar a presença de espécies isoladas, espécies no mesmo tipo de litologia ou ocorrentes no MSS e compreender suas distribuições.

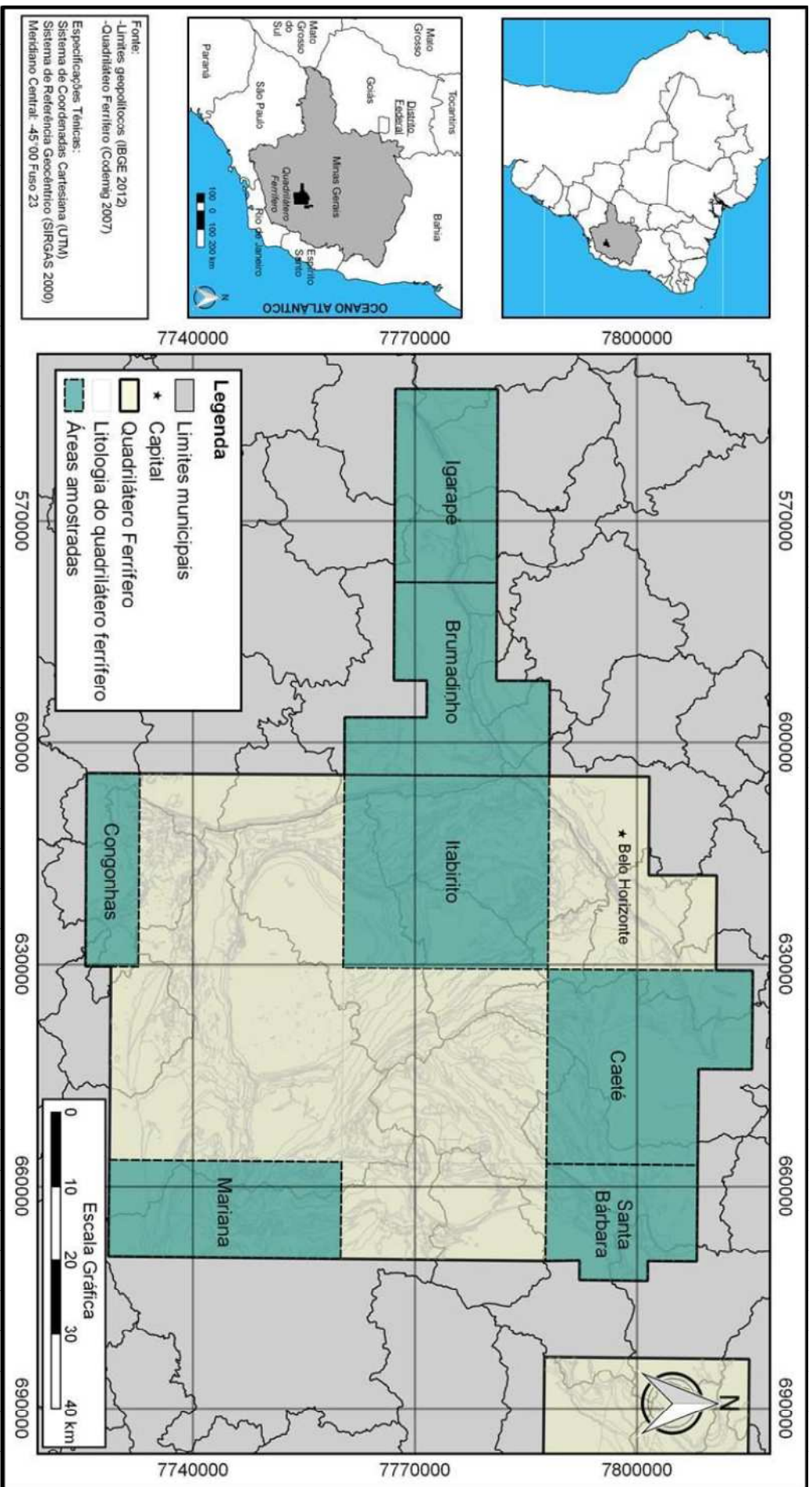


Figura 1 – Municípios com cavidades amostradas nas quais as espécies possivelmente troglóbias estiveram presentes, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil.

Resultados e Discussão

Foram analisados 1.589 espécimes de Collembola da CRFS-UEPB, distribuídas em 16 famílias (Arrhopalitidae, Brachystomellidae, Dicyrtomidae, Entombryidae, Heteromuridae, Hypogastruridae, Isotomidae, Lepidocyrtidae, Neanuridae, Neelidae, Onychiuridae, Seiridae, Sminthuridae, Sminthurididae, Sturmiidae e Tullbergiidae), 59 gêneros e 131 espécies (Tabela 1), as que apresentam características potencialmente troglóbias são indicadas através de um “*”. Neste estudo foram mapeadas apenas as prováveis espécies troglóbias presentes nas cavidades inseridas no Quadrilátero Ferrífero (n = 13), são elas: *Arrhopalites* sp2, *Arrhopalites* sp3, *Arrhopalites* sp4, *Pararrhopalites* sp1, *Pararrhopalites* sp2, *Pararrhopalites* sp3, *Pararrhopalites* sp4, *Pararrhopalites sideroicus*, *Pararrhopalites* sp7, *Pseudosinella* sp4, *Troglobius ferroicus*, *Troglobius* sp2 e *Trogolaphysa* sp6.

Os gêneros troglóbios encontrados neste estudo são os mais representativos quanto a adaptações ao ambiente subterrâneo (troglóbios) encontrados em estudos anteriores (Palacios-Vargas et al., 1985, Palacios-Vargas e Wilson, 1990, Palacios-Vargas e Zeppelini, 1995, Palacios-Vargas e Mejía-Recamier, 2011, Soto-Adames e Taylor, 2013). Entretanto, vale ainda destacar a dificuldade em denominar o “status” troglóbio para as espécies troglomórficas, principalmente no Brasil, pois as regiões tropicais abrigam uma mega-diversidade no meio externo e isto associado à falta de levantamento faunístico dificulta o uso da distribuição na determinação do grau de restrição ao ambiente cavernícola das espécies (Auler et al., 2011).

As cavidades PBR_0025 (*Pararrhopalites* sp1, *Pararrhopalites* sp3 e *Pararrhopalites* sp4), VL-29 (*Pararrhopalites* sp1, *Pararrhopalites sideroicus* e *Troglobius ferroicus*) e VL-35 (*Pararrhopalites* sp1, *Pararrhopalites* sp3 e *Pararrhopalites sideroicus*) apresentaram três espécies potencialmente troglóbias cada e possuíram como semelhança a morfoespécie *Pararrhopalites* sp1. Pelo fato das cavidades inventariadas deste estudo estarem localizadas em uma região com alto impacto antrópico, devido à mineração, as espécies troglomórficas estão sob constante ameaça de extinção local. Com isto, faz-se necessária a conservação deste ambiente e de sua fauna para preservar as relações ecológicas presentes unicamente neste meio e também para a manutenção do mesmo (Auler et al., 2011).

Nas figuras de 2 a 6 é possível ver as espécies troglomórficas ocorrentes no Quadrilátero Ferrífero bem como a formação litológica na qual estão inseridas. A

distribuição esparsa do gênero *Arrhopalites*, no qual *Arrhopalites* sp2 e *Arrhopalites* sp3 estão sobrepostas nas mesmas cavidades (figura 2) na litologia presente entre localidades próximas (exceto um ponto da *Arrhopalites* sp2 que se encontra isolado em outra área) indica que podem ser a mesma espécie, pois, além disso, possuem características morfológicas semelhantes. *Arrhopalites* sp4 ocorreu em dois fragmentos isolados localizados em dois locais relativamente distantes, é necessário estudo morfológico e molecular para verificar se são populações isoladas da mesma espécie ou espécies distintas.

De acordo com os padrões de distribuição, o gênero *Pararrhopalites* é o mais bem distribuído. A espécie *Pararrhopalites* sp3 possuiu distribuição considerável no Quadrilátero Ferrífero e esta sobrepôs alguns pontos da *Pararrhopalites* sp1 e *Pararrhopalites* sp2 (figura 3), o que pode indicar que se tratam da mesma espécie. A *Pararrhopalites sideroicus* apresentou distribuição disjunta e ocorrências nas mesmas localidades que a *Pararrhopalites* sp1 e *Pararrhopalites* sp3, sendo assim, sua distribuição não possui fácil visualização no mapa, isto nos indica que esta espécie esteja subdividida em mais de uma, sendo necessária revisão das identificações e verificar detalhadamente a morfologia das espécies para confirmar ou refutar essa conclusão. As espécies *Pararrhopalites* sp4 e sp7 apresentaram distribuição isolada e por estarem restritas às cavidades foram denominadas troglóbias.

A espécie altamente troglomórfica *Pseudosinella* sp4 (figura 4) apresentou grande parte de suas ocorrências associadas a cavernas inseridas em áreas de canga localizados bem próximas entre si, com exceção de uma cavidade inserida no itabirito (um dos litotipos da formação ferrífera) com uma distância bastante considerável, esta foi revisada após análise da distribuição e se constatou diferença na estrutura do complexo empodial, ou seja, não se tratam da mesma espécie. Faz-se necessário um estudo completo da quetotaxia destas espécies bem como descrevê-las para um maior conhecimento faunístico da região. A distribuição da *Pseudosinella* sp4 nos leva a acreditar que, além de se tratar de uma espécie troglóbia encontrando-se restrita a determinada área, esta se movimenta pelo MSS por estar na mesma formação litológica e seus pontos estarem bem próximos entre si.

A distribuição das espécies *Troglobius ferroicus* e *Troglobius* sp2 apresenta-se isolada (figura 5), cada uma está restrita a uma cavidade e litologia diferente, isto confirma a ideia de que são troglóbios verdadeiros. A separação de dois grandes grupos da espécie *Trogolaphysa* sp6 sugere a presença de um processo vicariante (figura 6), na

qual as espécies estejam subdivididas por sofrerem processos evolutivos distintos, inseridos no mesmo tipo de formação. As forças seletivas e restrições oriundas do ambiente subterrâneo são basicamente as mesmas, com isto, espécies ancestrais geram diferentes populações que isoladas tendem a evoluir em uma mesma direção, com características apomórficas similares e morfologia de difícil distinção, ou seja, uma evolução paralela. Geralmente, as espécies resultantes de eventos de especiação são apenas identificadas através de métodos genéticos (Trajano e Cobolli, 2012). Na distribuição da espécie *Trogolaphysa* sp6 os pontos estão presentes em duas áreas distintas, porém relativamente próximas e com o mesmo tipo de litologia (canga), isto nos leva a crer que no passado existia uma grande rocha que após algum evento foi fragmentada dividindo a população em dois grandes grupos, com isto podemos analisar que esta espécie por ter apresentado restrição local é considerada troglóbia e pode estar sofrendo um processo vicariante, sendo então formadas duas espécies diferentes.

Em virtude da observação da restrição ou sobreposição de espécies troglóbias no Quadrilátero Ferrífero foram plotados polígonos que relacionam os pontos com ocorrências destas espécies. A distribuição geral das espécies troglóbias é representada pela figura 7, neste mapa é visualizado que as espécies *Pararrhopalites* sp1, *Pararrhopalites* sp2, *Pararrhopalites* sp3 e *Pararrhopalites sideroicus* estão sobrepostas o que indica a possibilidade das espécies do gênero *Pararrhopalites* serem a mesma e que possuam interconexões entre cavidades através do MSS nas quais aumenta sua abrangência ao meio. A espécie *Trogolaphysa* sp6 apresentou uma distribuição disjunta e foi considerada troglóbia. Já as espécies *Arrhopalites* sp2 e *Pseudosinella* sp4 não possuíram sobreposição com as demais. Neste mapa é visto que *Arrhopalites* sp2 encontra-se de forma isolada e não é observada a sua sobreposição com *Arrhopalites* sp3 como na figura 2. As espécies *Pararrhopalites* sp1, *Pararrhopalites* sp2 e *Pararrhopalites* sp3 possuem sobreposição evidente, isto sugere que sejam a mesma espécie. *Pararrhopalites sideroicus* apresentou duas regiões com sobreposição à *Pararrhopalites* sp1 e *Pararrhopalites* sp3, como visto na figura 3, há necessidade de averiguação se são a mesma espécie, pois existe abrangência em sua distribuição, dificultando esta confirmação. O polígono que engloba a espécie *Trogolaphysa* sp6 possuiu distribuição contínua.

Como pode ser visto nos mapas das figuras 3, 4, 5 e 6, as espécies troglomórficas *Pararrhopalites* sp4, *Pararrhopalites* sp7, *Pseudosinella* sp4, *Trogolaphysa* sp6, *Troglobius ferroicus* e *Troglobius* sp2 apresentam uma distribuição restrita, isto

confirma que são troglóbias verdadeiras, já que além de possuírem características troglomórficas possuem restrição à cavidade e à determinada litologia no ambiente subterrâneo.

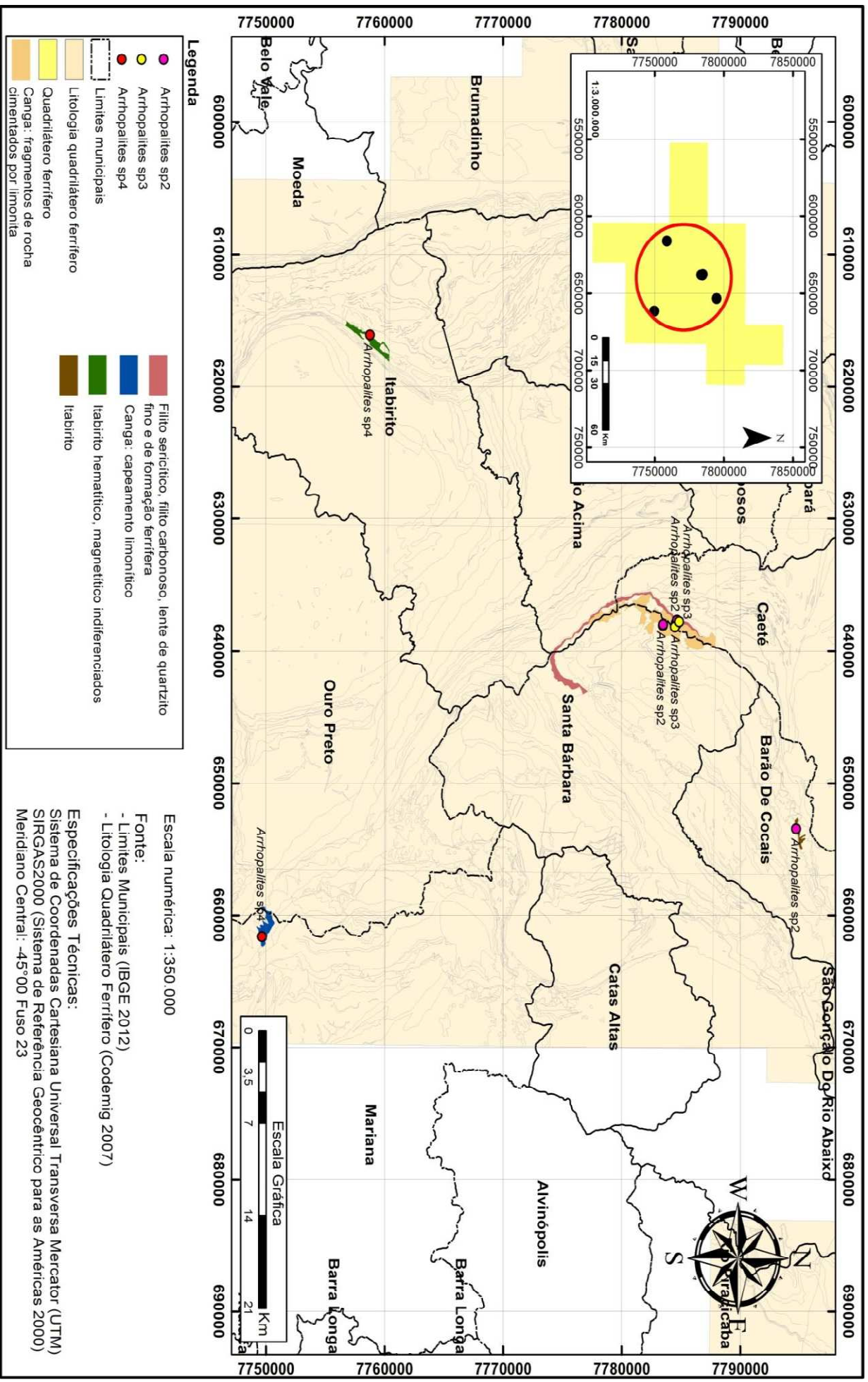


Figura 2 - As espécies *Arrhopalites* sp2 e *Arrhopalites* sp3 estão sobrepostas nas mesmas cavidades e *Arrhopalites* sp4 ocorreu em áreas isoladas.

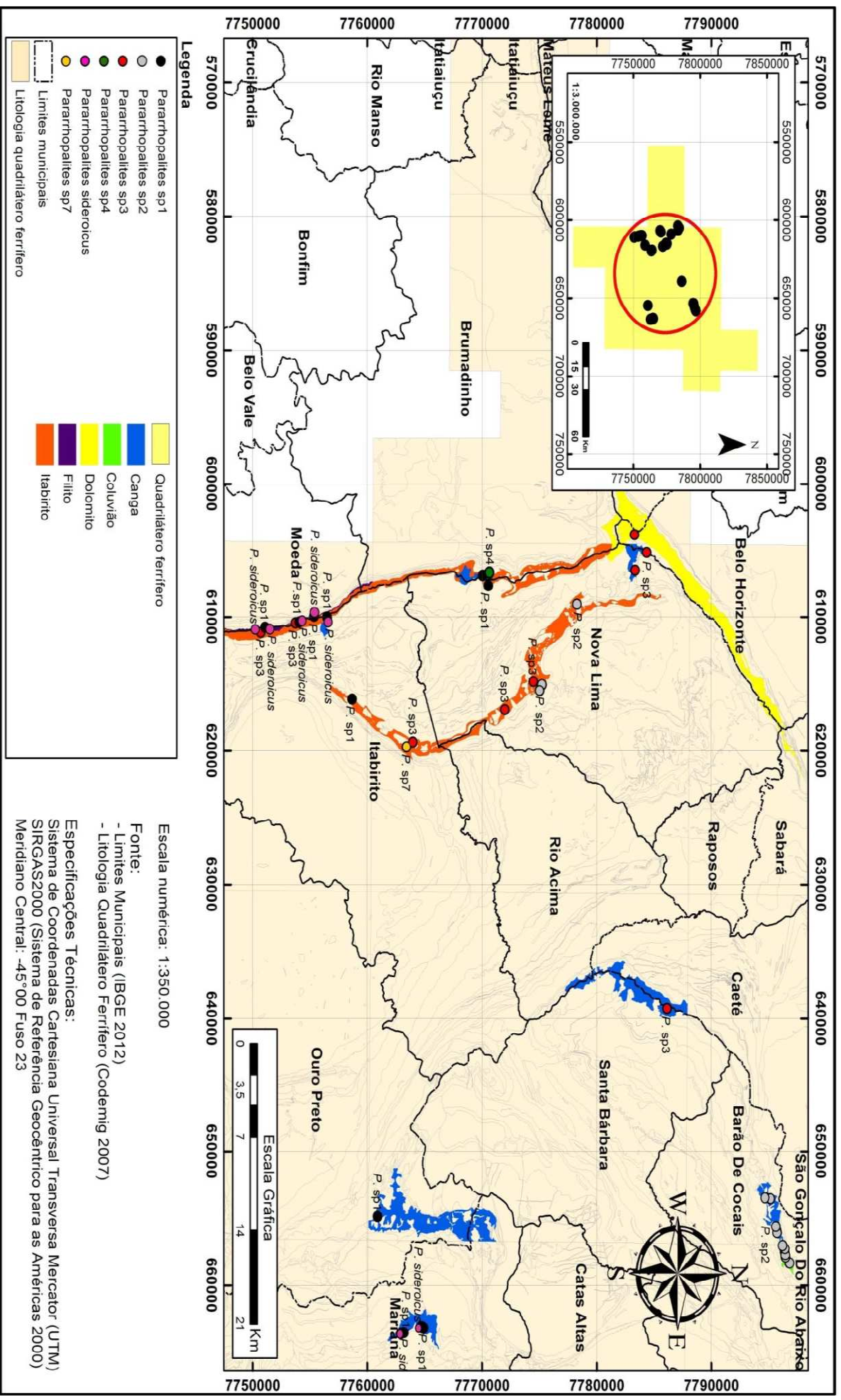


Figura 3 - As espécies *Pararrhopalites* sp1 e *Pararrhopalites* sp2 possuem distribuição semelhante. A espécie *Pararrhopalites* sp3 obteve a maior quantidade de ocorrências, a *Pararrhopalites* *sideroicus* apresentou ampla distribuição no Quadrilátero Ferrífero. As espécies *Pararrhopalites* sp4 e sp7 possuíram distribuição isolada.

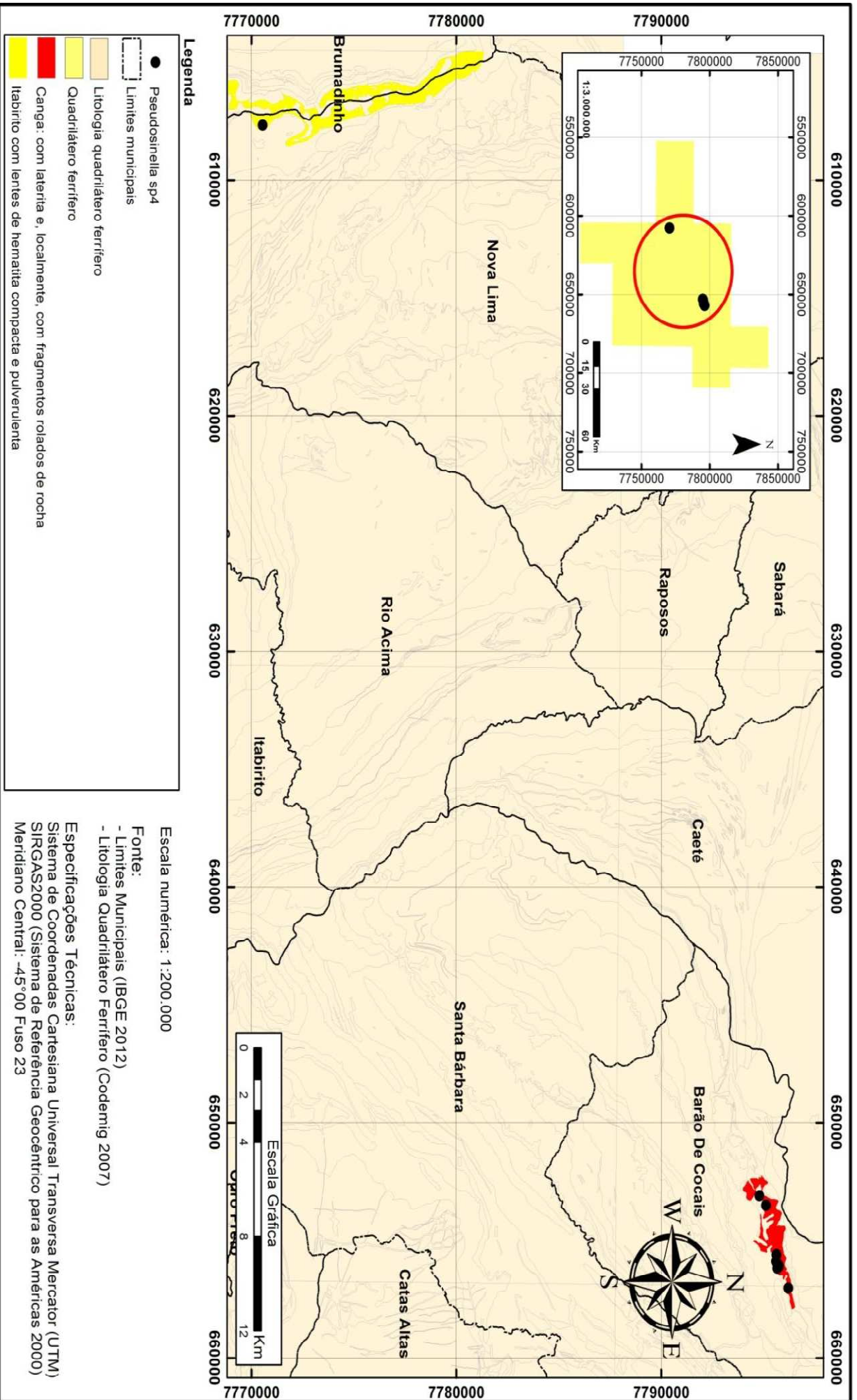


Figura 4 – Observa-se a espécie *Pseudosinella* sp4 em uma mesma formação (Canga) e com pontos bem próximos entre si e apenas um ponto isolado.

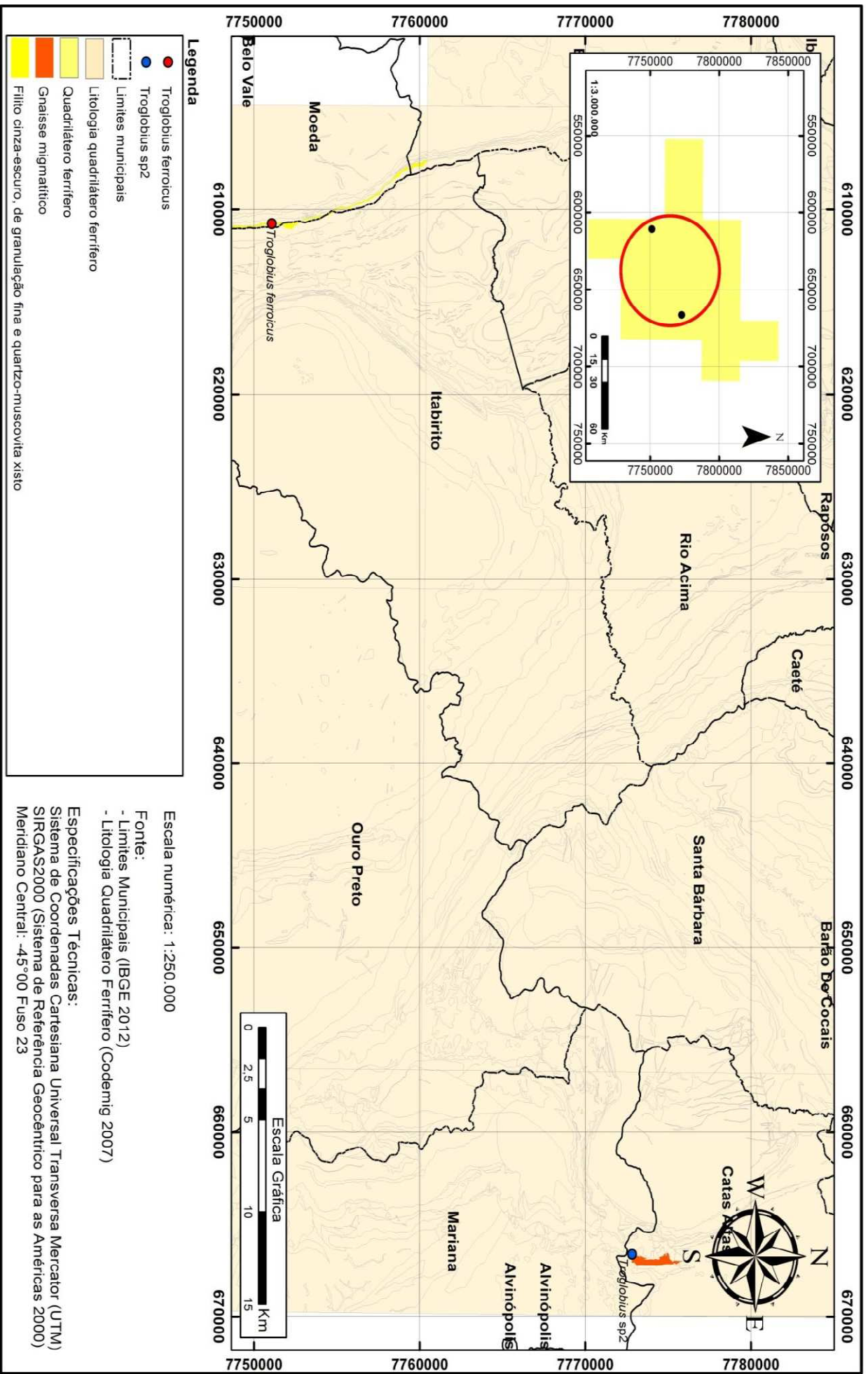


Figura 5 - A distribuição de *Troglolobius ferroicus* e *Troglolobius sp2* encontra-se isolada.

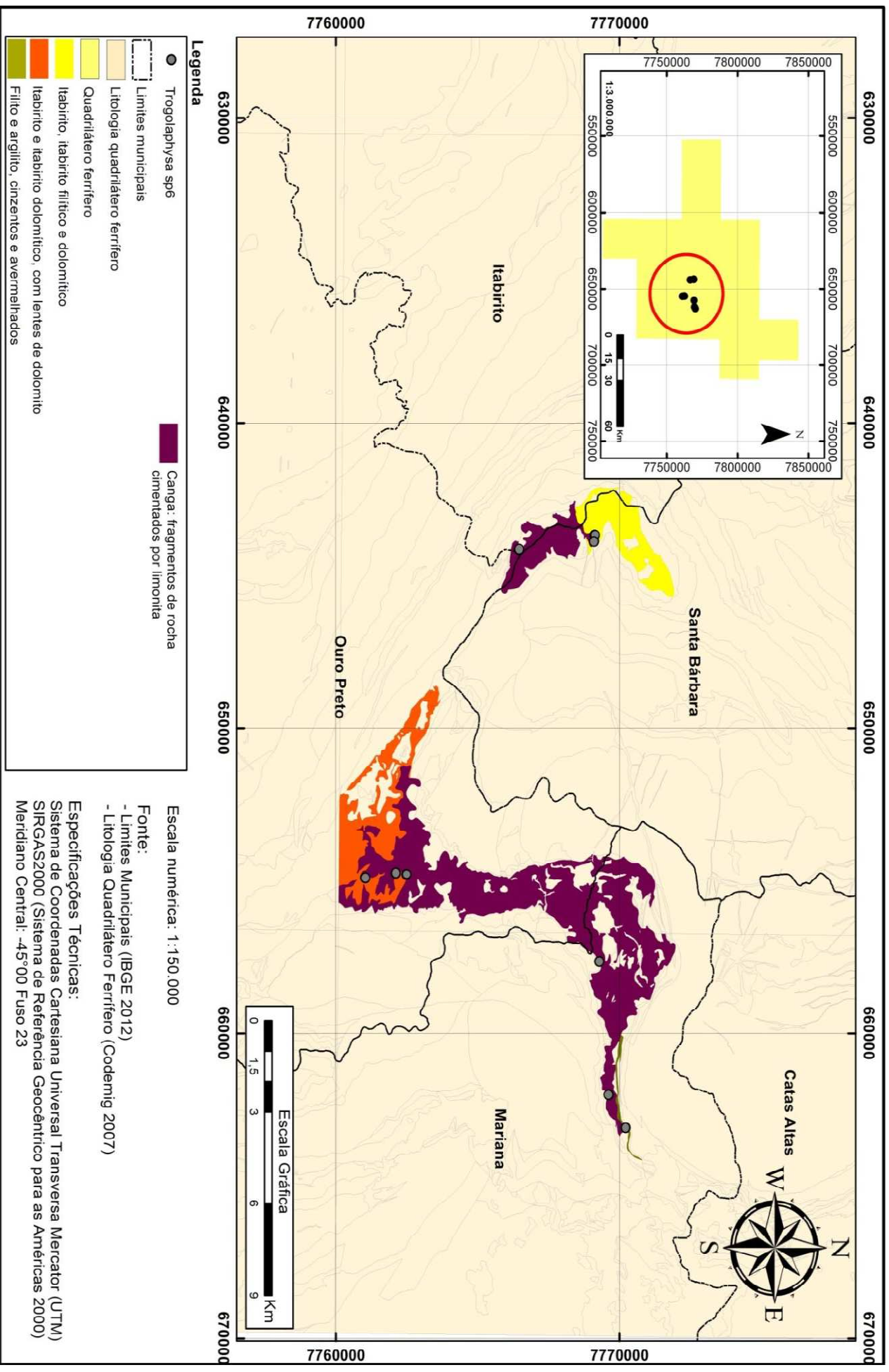


Figura 6 - A espécie *Trogolaphysa* sp6 possui uma separação entre dois grupos, ambos inseridos no mesmo tipo de formação.

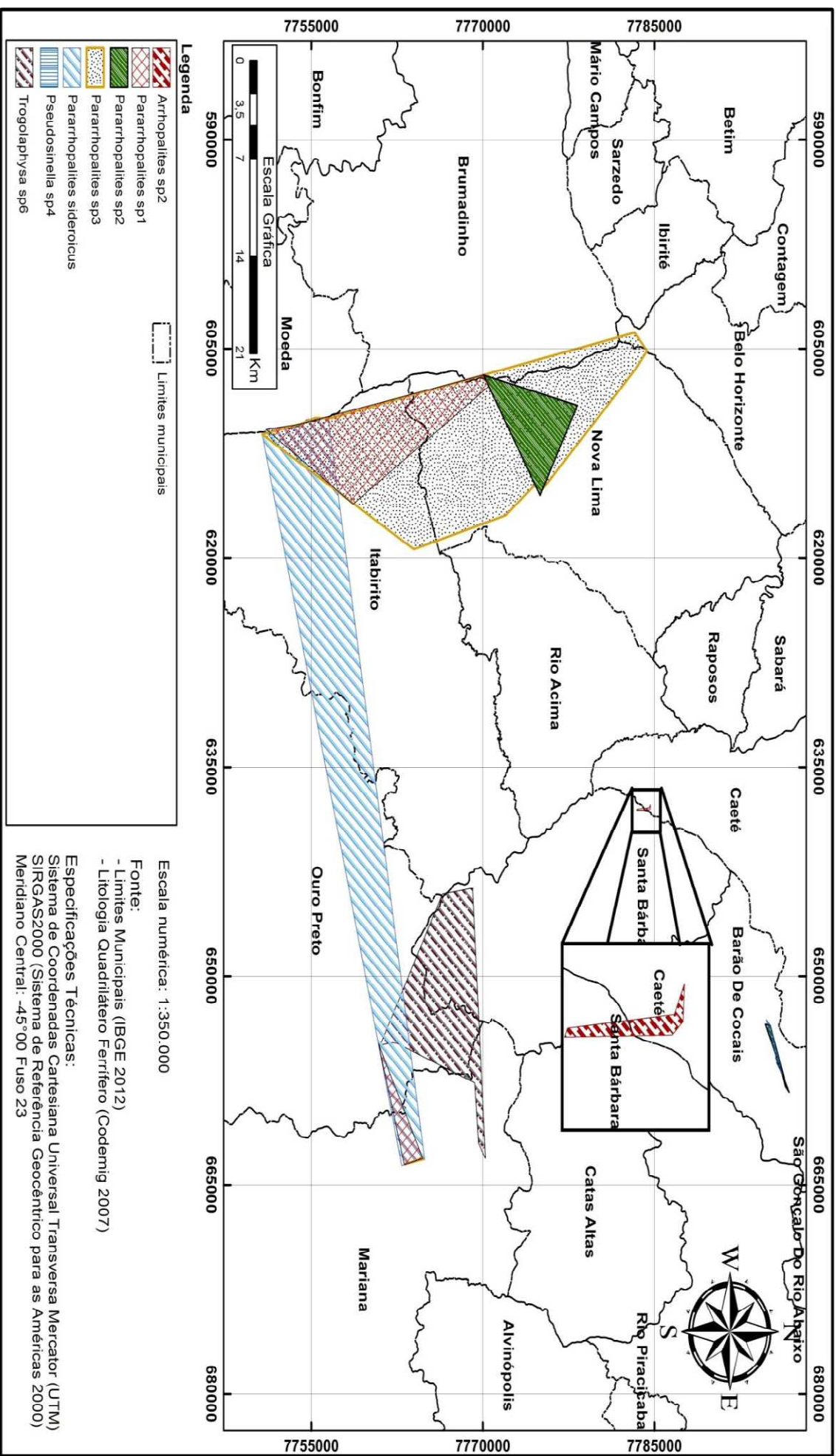


Figura 7 – Mapa dos limites subterrâneos das espécies às rochas em que estão introduzidas, não foram inseridas as espécies ocorrentes uma vez ou que foram plotadas fora da área de abrangência do polígono. Neste mapa pode ser visto espécies com maior amplitude de distribuição e se as mesmas possuem sobreposição entre si.

Tabela 1: Espécies de Collembola ocorrentes no estudo. As possivelmente troglóbias são indicadas por asterisco (*).

Família	Gênero	Espécie / Morfoespécie
Arrhopalitidae	<i>Arrhopalites</i> Börner, C, 1906:182	<i>Arrhopalites coecus</i> (Tullberg, 1871:146 tt) Börner, C, 1906:182, t.t, B <i>Arrhopalites</i> sp. nov. ca. <i>lawrencei</i> <i>Arrhopalites</i> sp1 <i>Arrhopalites</i> sp2* <i>Arrhopalites</i> sp3* <i>Arrhopalites</i> sp4* <i>Arrhopalites</i> sp6
	<i>Pygmarrhopalites</i> Vargovitsh, RS, 2009:20	<i>Pygmarrhopalites</i> sp1
Brachystomellidae	<i>Brachystomella</i> Agren, 1903, F	<i>Brachystomella contorta</i> Denis, 1931 <i>Brachystomella</i> sp1 <i>Brachystomella</i> sp2
Dicyrtomidae	<i>Calvatomina</i> Yosii, 1966	<i>Calvatomina</i> sp1
	<i>Dicyrtoma</i> Bourlet, 1842	<i>Dicyrtoma</i> sp1
	<i>Ptenothrix</i> Börner, C, 1906:184 F	<i>Ptenothrix</i> sp1
Entomobryidae	<i>Campylothorax</i> Schött, H, 1893:18	<i>Campylothorax cassagnai</i> Mitra, SK et Dallai, R, 1980:313 <i>Campylothorax</i> sp1 <i>Campylothorax</i> sp2 <i>Campylothorax</i> sp4 <i>Campylothorax</i> sp5
	<i>Coecobrya</i> Yosii, 1956	<i>Coecobrya</i> sp1
	<i>Entomobrya</i> Rondani, 1861	<i>Entomobrya</i> sp1
	<i>Lepidonella</i> Yosii, 1960	<i>Lepidonella</i> sp1 <i>Lepidonella</i> sp2 <i>Lepidonella</i> sp3 <i>Lepidonella</i> sp4
	<i>Paronella</i> Schött, H, 1893:14	<i>Paronella</i> sp1
	<i>Salina</i> Gillivray, 1894	<i>Salina</i> sp1
	<i>Sinella</i> Brook, 1882	<i>Sinella</i> sp1

Tabela 1: continuação.

Entomobryidae	<p><i>Trogolaphysa</i> Mills, HB in Pearse, AS, 1938:184</p> <p><i>Yosii</i> Mitra, 1967</p>	<p><i>Trogolaphysa</i> sp1 <i>Trogolaphysa</i> sp2 <i>Trogolaphysa</i> sp3 <i>Trogolaphysa</i> sp4 <i>Trogolaphysa</i> sp5 <i>Trogolaphysa</i> sp6* <i>Trogolaphysa</i> sp8 <i>Trogolaphysa</i> sp9</p> <p><i>Yosii</i> sp1</p>
Heteromuridae	<p><i>Dicranocentrus</i> Schött, H, 1893:21</p> <p><i>Heteromurus</i> Wankel, 1860, nc Opinion 1064, 1976, ss</p> <p><i>Mastigoceras</i> Handschin, 1924</p> <p><i>Verhoeffiella</i> Absolon, K, 1900: 429</p>	<p><i>Dicranocentrus</i> sp1 <i>Dicranocentrus</i> sp2 <i>Dicranocentrus</i> sp3</p> <p><i>Heteromurus</i> sp1</p> <p><i>Mastigoceras</i> sp1 <i>Mastigoceras</i> sp2 <i>Mastigoceras</i> sp3</p> <p><i>Verhoeffiella</i> sp1 <i>Verhoeffiella</i> sp2 <i>Verhoeffiella</i> sp3</p>
Hypogastruridae	<p><i>Acherontides</i> Bonet, 1945</p> <p><i>Xenylla</i> Tullberg, 1869</p>	<p><i>Acherontides</i> sp1</p> <p><i>Xenylla</i> sp1</p>
Isotomidae	<p><i>Arlea</i> Womersley, H, 1939: 319</p> <p><i>Axelsonia</i> Börner, 1906</p> <p><i>Cryptopygus</i> Willem, V, 1901: 261</p> <p><i>Desoria</i> Agassiz M & Nicolet H em Desor E, 1841: 384</p> <p><i>Folsomia</i> Willem, 1902</p>	<p><i>Arlea lucifuga</i> (Arlé, 1939) Womersley, H, 1939: 319, t.t</p> <p><i>Axelsonia</i> sp1</p> <p><i>Cryptopygus</i> sp1</p> <p><i>Desoria</i> sp1</p> <p><i>Folsomia candida</i> Willem, V, 1902: 280, t.t., B <i>Folsomia</i> sp1 <i>Folsomia</i> sp2 <i>Folsomia</i> sp3 <i>Folsomia sparsosetosa</i> Potapov, M et Stebaeva, S, 1997:130</p>

Tabela 1: continuação.

Isotomidae	<p><i>Folsomides</i> Stach, 1922</p> <p><i>Isotomiella</i> Bagnall, 1939</p> <p><i>Isotomodes</i> Axelson, 1907</p> <p><i>Mucrosomia</i> Bagnall, 1949</p> <p><i>Paracerura</i> Deharveng, L et de Oliveira, EP, 1994: 442</p> <p><i>Proisotoma</i> Börner, 1901</p>	<p><i>Folsomides</i> sp1</p> <p><i>Isotomiella nummulifer</i> Deharveng & Oliveira, 1990</p> <p><i>Isotomiella</i> sp1</p> <p><i>Isotomodes</i> sp1</p> <p><i>Isotomodes</i> sp2</p> <p><i>Mucrosomia</i> sp1</p> <p><i>Mucrosomia</i> ca. <i>alticola</i></p> <p><i>Paracerura</i> sp1</p> <p><i>Proisotoma</i> sp2</p>
Lepidocyrtidae	<p><i>Cyphoderus</i> Nicolet H, [1842:63], n. c. Opinion 291</p> <p><i>Lepidocyrtus</i> Bourlet, C, 1839: 391</p> <p><i>Pseudosinella</i> Schäffer, 1897</p> <p><i>Sinelloides</i> Bonet, F, 1942: 58</p> <p><i>Troglobius</i> Palacios-Vargas, JG et Wilson, J, 1990: 68</p>	<p><i>Cyphoderus agnotus</i> Börner, C, 1906:180</p> <p><i>Cyphoderus arlei</i> Cassagnau, 1963: 138</p> <p><i>Cyphoderus innominatus</i> Mills, HB em Pearse, AS, 1938: 186</p> <p><i>Cyphoderus</i> sp. nov. ca. <i>innominatus</i></p> <p><i>Cyphoderus javanus</i> Börner, C, 1906: 180</p> <p><i>Cyphoderus similis</i> Folsom, JW, 1927: 12</p> <p><i>Cyphoderus</i> sp1</p> <p><i>Cyphoderus</i> sp4</p> <p><i>Lepidocyrtus curvicollis</i> Bourlet, C, 1839: 392, t.t, B</p> <p><i>Lepidocyrtus neofasciatus</i> Wray, 1948</p> <p><i>Lepidocyrtus</i> sp1</p> <p><i>Lepidocyrtus</i> sp2</p> <p><i>Pseudosinella</i> sp1</p> <p><i>Pseudosinella</i> sp2</p> <p><i>Pseudosinella</i> sp3</p> <p><i>Pseudosinella</i> sp4*</p> <p><i>Pseudosinella</i> sp5</p> <p><i>Sinelloides</i> sp2</p> <p><i>Sinelloides</i> sp4</p> <p><i>Troglobius ferroicus</i>* Zeppelini, D, da Silva, DD et Palacios-Vargas, JG, 2014:3</p> <p><i>Troglobius</i> sp2*</p>

Tabela 1: continuação.

Neanuridae	<i>Arlesia</i> Handschin, 1942	<i>Arlesia</i> sp1
	<i>Arlesiella</i> Delamare Deboutteville, C, 1951: 285	<i>Arlesiella</i> sp1
	<i>Australonura</i> Cassagnau in Dallai, 1980	<i>Australonura</i> ca. <i>persimilis</i>
	<i>Friesea</i> Von Dalla Torre, 1895	<i>Friesea</i> sp1
	<i>Hylaeonura</i> Arlé, R, 1966: 5	<i>Hylaeonura mendoncae</i> Zeppelini, D et Palacios- Vargas, JG, 2013: 1402 <i>Hylaeonura</i> sp2
	<i>Neotropiella</i> Handschin, 1942	<i>Neotropiella</i> sp1
	<i>Paleonura</i> Cassagnau, P, 1982: 6	<i>Paleonura</i> sp1
	<i>Propeanura</i> Yosii, R, 1956: 46	<i>Propeanura</i> sp1
	<i>Pseudachorutes</i> Tullberg, 1871	<i>Pseudachorutes</i> sp1
Neelidae	<i>Megalothorax</i> Willem, V, 1900: 7	<i>Megalothorax minimus</i> Willem, V, 1900:9, t.t., B
Onychiuridae	<i>Onychiurus</i> Gervais, 1841	<i>Onychiurus</i> sp1 <i>Onychiurus</i> sp2
	<i>Protaphorura</i> Absolon, K, 1901: 387	<i>Protaphorura</i> ca. <i>herus</i>
Seiridae	<i>Seira</i> Lubbock, J, 1870: 279	<i>Seira arenicola</i> Bellini, BC et Zeppelini, D, 2008: 47 <i>Seira brasiliiana</i> (Arlé, 1939) Marcus, 1949 <i>Seira mirianae</i> Arlé & Guimarães, 1981 <i>Seira nigrans</i> (Arlé, R, 1960: 174) Christiansen, K & Bellinger, P, 2000: 66 <i>Seira prodiga</i> (Arlé, R, 1960: 171) Christiansen, K & Bellinger, P, 2000: 70 <i>Seira</i> sp1 <i>Seira</i> sp3 <i>Seira</i> sp5 <i>Seira</i> sp6 <i>Seira</i> sp7 <i>Seira xinguensis</i> (Arlé, R, 1960: 174) Christiansen, K & Bellinger, P, 2000: 73

Tabela 1: continuação.

Sminthuridae	<i>Allacma</i> Börner, C, 1906: 183	<i>Allacma</i> sp1
	<i>Disparrhopalites</i> Stach, J, 1956: 63	<i>Disparrhopalites</i> sp1 <i>Disparrhopalites</i> sp3
	<i>Gisinurus</i> Dallai, R, 1970: 467	<i>Gisinurus</i> sp1 Novo gênero ca. <i>Gisinurus</i> sp1
	<i>Pararrhopalites</i> Bonet, F et Tellez, C, 1947: 193	<i>Pararrhopalites</i> sp1 * <i>Pararrhopalites</i> sp2 * <i>Pararrhopalites</i> sp3 * <i>Pararrhopalites</i> sp4 * <i>Pararrhopalites sideroicus</i> * Zeppelini, D & Brito, RA, 2014 <i>Pararrhopalites</i> sp7 * <i>Pararrhopalites</i> sp10
	<i>Songhaica</i> Lasebikan & al., 1980	<i>Songhaica</i> sp1
	<i>Sphyroteca</i> Börner, C, 1906: 183	<i>Sphyroteca</i> sp1
Sminthurididae	<i>Denisiella</i> Folsom & Mills, 1938	<i>Denisiella</i> sp1
Sturmiidae	<i>Sturmius</i> Bretfeld, 1994	<i>Sturmius</i> sp1
Tullbergiidae	<i>Tullbergia</i> Lubbock, 1876	<i>Tullbergia</i> sp1

Conclusões

As espécies *Arrhopalites* sp2 e *Arrhopalites* sp3 são possivelmente a mesma espécie por possuírem distribuições sobrepostas, mas para isto ser confirmado é necessária uma revisão taxonômica. A espécie *Pseudosinella* sp4 pode estar se locomovendo através do MSS por estar inserida numa mesma litologia com pontos bem próximos entre si. A espécie *Trogolaphysa* sp6 pode estar sofrendo um processo vicariante, pois nota-se uma divisão de grupos em uma mesma litologia em áreas próximas, isolando duas populações, possibilitando o processo de especiação. As espécies que corroboraram a hipótese deste trabalho foram *Pararrhopalites* sp4, *Pararrhopalites* sp7, *Pseudosinella* sp4, *Troglobius ferroicus*, *Troglobius* sp2 e *Trogolaphysa* sp6, consideradas troglóbias por apresentarem restrição em sua distribuição.

Referências

- AULER, A.S.; LOPES, R.; REINO, J.C.R; PILÓ, L.B. III Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental. ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, CECAV - Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, Belo Horizonte, 197 pp, 2011.
- AULER, A.S; PILÓ, L.B. Introdução às Cavernas de Minério de Ferro e Canga. *O Carste*, 17(3): 70-72, 2005.
- CARMO, F.F.; JACOBI, C.M. As cangas do Quadrilátero Ferrífero. In: Jacobi, C.M. & Carmo, F.F. Diversidade florística nas cangas do Quadrilátero Ferrífero. Ed. IDM, Belo Horizonte. 240 pp, 2012.
- CHRISTIANSEN, K.A. Proposition pour la classification des animaux cavernicoles. *Spelunca*, 2: 75-78, 1962.
- COELHO, A.; PILÓ, L.B.; AULER, A.; BESSI, R. Espeleologia da área do projeto Apolo, Quadrilátero Ferrífero, MG. *Carste Consultores Associados*. 179 pp, 2010.
- FERREIRA, R.L. A vida subterrânea em campos ferruginosos. *O Carste*, 17(3): 106-115, 2005.
- GERS, C. Diversity of energy fluxes and interactions between arthropod communities, from soil to cave. *Acta Oecol*, 19: 205–213, 1998.
- JACOBI, C.M.; CARMO, F.F. The contribution of ironstone outcrops to plant diversity in the Iron Quadrangle, a threatened Brazilian landscape. *AMBIO*, 37(4): 324-326, 2008.

- LEROI, A.M.; ROSE, M.R.; LAUDER, G.V. Whats does the comparative method reveal about adaptation? *Am. Nat.* 143: 381-402, 1994.
- LISOWSKI, E.A.; POULSON, T.L. Impacts of Lock and Dam Six on baselevel ecosystem in Mammoth Cave. In: Poulson TL, Cave Research Foundation 1979 Annual Report. Adobe Press, Albuquerque, New Mexico, 48-54 pp, 1981.
- MACHADO, A.B.M.; BRESCOVIT, A.D.; MIELKE, O.H.; CASAGRANDE, M.; SILVEIRA, F.A.; OHLWEILER, F.P.; ZEPPELINI, D.; MARIA, M.; WIELOCH, A.H. Livro Vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção. Invertebrados terrestres. Volume I. MMA, Belo Horizonte, MG. Fundação Biodiversitas, 193 pp, 2008.
- MASCARENHAS, J. Bioespeleologia. In: Carste. Diagnóstico espeleológico e análise de relevância das cavidades do projeto Várzea do Lopes, Itabirito, MG. Belo Horizonte. 235 pp, 2013.
- OLIVEIRA, M.P.A.; MESCOLOTTI, M.B.; SILVA, T.G. Diagnóstico Bioespeleológico. Projeto Brumafer – Diagnóstico Geoespeleológico, Bioespeleológico e Análise de Relevância. Belo Horizonte. 312 pp, 2013.
- PALACIOS-VARGAS, J.G.; MEJÍA-RECAMIER, B.E. The Mexican cavernicolous *Pseudosinella* (Collembola: Entomobryidae) with description of a new species. *Subterranean Biology* 8: 49-55, 2011.
- PALACIOS-VARGAS, J.G.; OJEDA, M.; CHRISTIANSEN, K. A. Taxonomía y biogeografía de los *Troglopedetes* (Collembola: Paronellidae) de América con énfasis en las especies cavernícolas. *Folia Entomológica Mexicana* 65: 3-35, 1985.
- PALACIOS-VARGAS, J.G.; WILSON, J.M. *Troglobius coprophagus*, a new genus and species of cave Collembola from Madagascar, with notes on its ecology. *International Journal of Speleology* 19: 67-73, 1990. doi: [10.5038/1827-806X.19.1.6](https://doi.org/10.5038/1827-806X.19.1.6).
- PALACIOS-VARGAS, J.G.; ZEPPELINI, D. Seven new Arrhopalites (Hexapoda: Collembola) from Brazilian and Mexican caves. *Folia Entomol. Mexicana* 93: 7-23, 1995.
- PIPAN, T.; LÓPEZ, H.; OROMÍ, P.; POLAK, S.; CULVER, D.C. Temperature variation and the presence of troglobionts in terrestrial shallow subterranean habitats. *Journal of Natural History*, 45: 253-273, 2011.
- PROUS, X. Diagnóstico Bioespeleológico. In: Projeto Ferro Puro Ltda. DNPM 9.608/1942. 2013. Estudo Espeleológico, Paleontológico, Arqueológico e Análise de Relevância de 17 Cavernas inseridas na ADA e AID do Empreendimento. 588 pp, 2013.
- ROCHA, R.P. Sinopse da fauna cavernícola do Brasil (1907-1994). *Papeis avulsos de Zoologia, São Paulo*, 39 (6): 61-163, 1995.
- SKET, B. Can we agree on an ecological classification of subterranean animals? *Journal of Natural History*, 42 (21-22): 1549-1563, 2008.

SOUZA-SILVA, M.; MARTINS, R.P.; FERREIRA, R.L. Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest. *Biodiversity and Conservation*, 20: 1713- 1729, 2011.

TRAJANO, E.; COBOLLI, M. Evolution of lineages. In: White, W. B.; Culver, D. C. *Encyclopedia of Caves*, ed. 2. Academic Press, Oxford, 295-304, 2012.

WHITE, W.B.; CULVER, D.C. *Encyclopedia of Caves*. Elsevier, Academic Press, Amsterdã, Nova Iorque, Oxford, ed. 2, 945 pp, 2012.

ZAMPAULO, R.A. Diversidade de espécies troglóbias em cavidades ferríferas do Parque Estadual da Serra do Rola Moça (PESRM), Minas Gerais. In: Congresso Brasileiro de Espeleologia, 2015, Eldorado. Congresso Brasileiro de Espeleologia, 2015.

5. CONCLUSÕES GERAIS DA DISSERTAÇÃO

As espécies *Arrhopalites* sp2 e *Arrhopalites* sp3 são possivelmente a mesma espécie por possuírem distribuições sobrepostas, mas para isto ser confirmado é necessária uma revisão taxonômica. A espécie *Pseudosinella* sp4 pode estar se locomovendo através do MSS por estar inserida numa mesma litologia com pontos bem próximos entre si. A espécie *Trogolaphysa* sp6 pode estar sofrendo um processo vicariante, pois nota-se uma divisão de grupos em uma mesma litologia em áreas próximas, isolando duas populações, possibilitando o processo de especiação. As espécies que corroboraram a hipótese deste trabalho foram *Pararrhopalites* sp4, *Pararrhopalites* sp7, *Pseudosinella* sp4, *Troglobius ferroicus*, *Troglobius* sp2 e *Trogolaphysa* sp6, consideradas troglóbias por apresentarem restrição em sua distribuição.

REFERÊNCIAS

AULER, A. America, South. In: GUNN, J. Encyclopedia of cave and karst science. New York: Fitzroy Dearborn, p.110, 2004.

BARR, T. C. Jr. Cave ecology and the evolution of troglobites. *Evol Biol.* 2:35-102, 1968.

BOTOSANEANU, L. (ed.). *Stygofauna Mundi*.- E.J Brill, pp. 740, Leiden, The Netherlands, 1986.

CAMACHO, A. I.; PRIETO, C. La vida oculta del mundo subterráneo. En: Aranburu, A. y otros. La cueva de Goikoetxe y el karst de Peña Forua. Monográfico Colección Karaitza, pp. 64-83, 2011.

CHRISTIANSEN, K. Convergence and parallelism in cave entomobryinae. *Evolution* 15:288-301, 1961.

CHRISTIANSEN, K.A. Proposition pour la classification des animaux cavernicoles.- *Spelunca*, 2, 75-78, 1962.

CHRISTIANSEN, K.; BULLION, M. N. A evolutionary and ecological analysis of the terrestrial arthropods of caves in the central Pyrenees. *Bull Natl. Speleol Soc.* 40:103-17, 1978.

CULVER, D. C. *Cave life: Evolution and ecology*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1982.

CULVER, D.C.; HOLSINGER, J.R. How many species of troglobites are there? *National Speleological Society Bulletin* 54: 79–80, 1992.

CULVER, D.C.; PIPAN, T. Superficial subterranean habitats – gateway to the subterranean realm?- *Cave and Karst Science*, 35, 5-12, 2008.

CULVER, D. C.; PIPAN, T. *The biology of caves and other subterranean habitats*. ed. 1, New York, Oxford University Press, 2009.

DAUNT-MERGENS, D. O. *Cave Research Foundation Personnel Manual*. Mammoth Cave, Ky: Cave Res. Found. 155pp. 3rd ed, 1981.

DERKARABETIAN, S.; STEINMANN, D. B.; HEDIN, M. Repeated and Time-Correlated Morphological Convergence in Cave-Dwelling Harvestmen (Opiliones, Laniatores) from Montane Western North America. *PLoS ONE* 5(5): e10388. doi: 10.1371/journal.pone.0010388, 2010.

GERS, C. *Ecologie et biologie des Arthropodes terrestres du milieu souterrain superficiel fonctionnement et ecologie evolutive*. Dissertação. Toulouse. Université Paul Sabatier de Toulouse, 1992.

GERS, C. Diversity of energy fluxes and interactions between arthropod communities, from soil to cave. *Acta Oecol.* v.19, p.205–213, 1998

GIBERT, J.; DEHARVENG, L. Subterranean ecosystems: a truncated functional biodiversity. *Bioscience* 52 (6): 473-481, 2002.

GINET, R.; DECU, V. *Initiation à la Biologie et à l'Écologie Souterraines*. Paris: Delarge, 1977.

HOENEN, S. MARQUES, M.D. Adaptação temporal e o ambiente cavernícola: uma interpretação. *Biotemas* 13(1): 129–144, 2000.

HOLSINGER, J. R.; CULVER, D. C. The invertebrate cave fauna of Virginia and a part of Eastern Tennessee: Zoogeography and ecology. *Brimleyana* Raleigh, 14: 1-162, 1988.

HOWARTH, F. G. The cavernicolous fauna of Hawaiian lava tubes, 1. Introduction. *Pac. Insects* 15:139-51, 1973.

HOWARTH, F. G. The zoogeography of specialized cave animals: a bioclimatic model. *Evolution* 34:394-406, 1980.

HOWARTH, F. G. Non-relictual terrestrial troglobites in the tropical Hawaiian Caves. pp. 539-41, 1981.

HOWARTH, F. G. The conservation of cave invertebrates. *Proc. Int. Cave Manage. Symp.* 1st., Murray, Ky. 1981. In press, 1982.

HOWARTH, F.G. Ecology of cave arthropods. *Annual Review of Entomology* 28: 365–389, 1983.

JUBERTHIE, C.; DELAY, B.; BOUILLON, M. Sur l'existence du milieu souterrain superficiel en zone non calcaire. *Prestação de contas da Academia de Ciências da França*, v. 290, p.49-52. 1980.

JUBERTHIE, C., MASSOUD, Z. Sur différents types d'organisation sensorielle antennaire chez les coleoptères Trechinae troglobies et description d'un type original de récepteur chez *Rakantrechus etoi*. *Mem. Biospeol.* 7:353-64, 1980.

JUBERTHIE, C. The diversity of the karstic and pseudokarstic hypogean habitats in the world.- In: Wilkens, H. *et al.* (eds.) *Subterranean ecosystems*.- Elsevier Press, pp. 17-39, Amsterdam, The Netherlands, 2000.

LEROI, A. M.; ROSE, M. R.; LAUDER, G. V. What does the comparative method reveal about adaptation? *Am. Nat.* 143:381-402, 1994.

LISOWSKI, E. A.; POULSON, T. L. Impacts of Lock and Dam Six on baselevel ecosystems in Mammoth Cave. *Cave Res. Found.* 1979 Ann. Rep. pp. 48-54, 1981.

LUCARELLI, M.; SBORDONI, V. Humidity responses and the role of Hamann's

organ of cavernicolous Bathysciinae (Coleoptera: Catopidae). *Int. J. Speleol.* 9:167-77, 1978.

MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M.; PAGLIA, A. P. Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de extinção. Brasília, DF: MMA; Belo Horizonte, MG: Fundação Biodiversitas, p.511, 2008.

MONTGOMERY, N. R. Single Rope Techniques. *Sydney Speleol. Soc. Occas. Pap.* No. 7. 122 pp, 1977.

PECK, S. D. A systematic revision and the evolutionary biology of the *Ptomaphagus* (Adelops) beetles of North America (Coleoptera; Leiodidae; Catopinae), with emphasis on caveinhabiting species. *Bull. Mus. Comp. Zool* 145:29-162, 1973.

PECK, S. B.; FINSTON, T. L. Galapagos islands troglobites: the questions of tropical troglobites, parapatric distribution with eyed-sister-species, and their origin by parapatric speciation. *Mém. Biospéol.* 20: 19-37, 1993.

PINTO -DA- ROCHA, R. Sinopse da fauna cavernícola do Brasil (1907-1994). *Papéis Avulsos Zool* 39(6): 61- 173. 1995.

PIPAN, T.; LÓPEZ, H.; OROMÍ, P.; POLAK, S.; CULVER, D.C. Temperature variation and the presence of troglobionts in terrestrial shallow subterranean habitats. *Journal of Natural History*, v.45, p.253-273, 2011.

POULSON, T. L. Animals in aquatic environments: animals in caves. In *Handbook of Physiology-Environment*, ed. D. B. Dill, pp. 749-71. Washington: Am. Physiol. Soc., 1964.

POULSON, T. L.; WHITE, W. B. The cave environment. *Science* 165:971-81, 1969.

POULSON, T. L.; KANE, T. C. Ecological diversity and stability: principles and management. In *Proc. Natl. Cave Manage. Symp.*, 1976, ed. T. Aley, D. Rhodes, pp. 18-21. Albuquerque: Speleobooks. 106 pp., 1977.

POULSON, T. L. Variations in life history of linyphiid cave spiders. pp. 60-62, 1981.

PUGSLEY, C. Management of a biological resource - Waitomo Glowworm Cave, New Zealand. pp. 489-92, 1981.

RACOVITZA, G. Etude ecologique sur les coleopteres Bathysciinae cavernicoles. *Mem. Biospeol.* 6:1-199, 1980.

SKET, B. Can we agree on an ecological classification of subterranean animals? *Journal of Natural History*, v. 42, n. 21-22, p.1549-1563, 2008.

TRAJANO, E. Fauna cavernícola brasileira: composição e caracterização preliminar. *Rev. Bras. Zool.*, v. 3, n. 8, 1987

TRAJANO, E. America, South: Biospeleology In: GUNN, J. Encyclopedia of cave and karst science. New York: Fitzroy Dearborn, 2004.

WHITE, W.B.; CULVER, D.C (Eds). Encyclopedia of Caves. Elsevier, Academic Press, Amsterdã, Nova Iorque, Oxford, ed.2, p.945, 2012.

ZEPPELINI, D.; RIBEIRO, A. C.; RIBEIRAO, G. C.; FRACASSO, M. P. A.; PAVANI, M. M.; OLIVEIRA, O. M. P.; OLIVEIRA, S. A.; MARQUES, A. C. Faunistic survey of sandstone caves from altinópolis region, São Paulo State, Brazil. Papéis Avulsos de Zoologia, v. 43, n. 5, p.93-99, 2003.