

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Instituto de Geociências Programa de Pós-  
Graduação em Geologia**

**André Gomide Vasconcelos**

Complementação dos métodos de valoração paleontológica para fins de estudos  
ambientais em cavidades naturais

Nº 47

**BELO HORIZONTE**

**DATA (20/03/2020)**

André Gomide Vasconcelos

**Complementação dos métodos de valoração paleontológica para fins de estudos ambientais em cavidades naturais**

**Versão final**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geologia

Área de Concentração: Geologia Regional

Orientador: Prof. Dr. Augusto Sarreiro Auler

Coorientadora: Prof. Dra. Adalene Moreira Silva

Belo Horizonte

2020

V331c  
2020

Vasconcelos, André Gomide.

Complementação dos métodos de valoração paleontológica para fins de estudos ambientais em cavidades naturais [manuscrito] / André Gomide Vasconcelos. – 2020.

140 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientador: Augusto Sarreiro Auler.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2020.

Área de concentração: Geologia Regional.

Inclui bibliografia.

Inclui anexos.

1. Paleontologia – Brasil – Teses. 2. Direito ambiental – Brasil – Teses. 3. Impacto ambiental – Brasil – Teses. I. Auler, Augusto Sarreiro. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 56(81)

# ATA DE APROVAÇÃO



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA



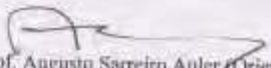
## FOLHA DE APROVAÇÃO

COMPLEMENTAÇÃO DOS MÉTODOS DE VALORAÇÃO PALEONTOLÓGICA  
PARA FINS DE ESTUDOS AMBIENTAIS EM CAVIDADES NATURAIS

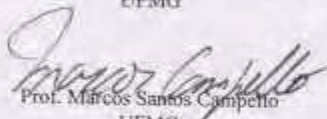
**ANDRÉ GOMIDE VASCONCELOS**

Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOLOGIA, como requisito para obtenção do grau de Doutor em GEOLOGIA, área de concentração GEOLOGIA REGIONAL.

Aprovada em 20 de março de 2020, pela banca constituída pelos membros:

  
Prof. Augusto Sarreiro Auler (Orientador)  
Instituto do Carste

  
Prof. Jonathas de Souza Bittencourt Rodrigues  
UFMG

  
Prof. Marcos Santos Campello  
UFMG

  
Prof. Alex Christian Rohrig Hubbe - participação a distância  
UFBA

  
Prof. Caístor Cartelle Guerra  
PUC-Minas

Belo Horizonte, 20 de março de 2020.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos.

Ao Augusto Auler por ter aceitado a orientação, por sua disponibilidade e pelas conversas e discussões para o alinhamento do trabalho. Também agradeço pela oportunidade em poder desenvolver trabalhos em conjunto, que resultaram em parte dos resultados aqui discutidos.

Também sou grato aos professores Alex Hubbe e Jonathas Bittencourt pela colaboração para o desenvolvimento do trabalho ao longo dos quatro anos. À Makenia Gomes, à Gabriela Pires e à Natália Araújo, pelos momentos de descontração e por toda a ajuda a mim dada.

Nos trabalhos de campo e/ou laboratório, agradeço ao Marco Antônio Cardoso (NAE), Matheus Gomes, Ricardo Papa, Hugo Eslander, Neuber Eliziário, Bruno Kraemer, Leandro Vieira e Luciano Vilaboim. Foram essenciais para o andamento do projeto.

Às minhas famílias Gomide e Abdo, meu muito obrigado por todo o apoio! Em especial, agradeço à Patrícia Abdo pelo apoio incondicional ao longo desses anos: por segurar as pontas (todas, as possíveis e as impossíveis), possibilitando à minha dedicação para o desenvolvimento e conclusão do meu doutorado. Muito, muito obrigado!

Às seguintes empresas por cederem dados para a discussão de parte dos resultados aqui apresentados: Carste Ciência e Meio Ambiente, Anglo American (em especial à Lorena Pires), Votorantim e Sintertec (em especial ao Guilherme Fontes).

Meus agradecimentos se estendem ao Museu de Ciências Naturais da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, em especial aos curadores das coleções de Paleontologia (Prof. Cartelle) e Mastozoologia (profa. Cláudia Costa). Aos prof. Ana Maria Ribeiro e Elver Mayer na ajuda para a identificação de parte dos fósseis.

Aos funcionários do IGC, pela atenção e agilidade na solução dos imprevistos burocráticos e práticos, em especial: William Viegas, Jhonny Nonato e Carlos Torres.

À ANM e ao SISBIO pelas autorizações concedidas para a coleta dos dados nas cavernas.

Aos membros da banca, tanto de qualificação quanto a final, pelas sugestões e críticas dadas ao trabalho (Alex Hubbe, Beethoven Piló, Cartelle Guerra, Jonathas Bittencourt e Marcos Campello).

## RESUMO

Este trabalho abrange aspectos relacionados à paleontologia de cavernas no Brasil. A tese foi elaborada com o objetivo principal de propor um método mais eficaz de se avaliar o potencial paleontológico de cavernas, no que se refere aos estudos que compõe as etapas do licenciamento ambiental. Neste sentido, os resultados são apresentados na forma de cinco artigos e um capítulo de livro: **(i)** proposta de um método mais eficaz para a avaliação paleontológica das cavernas, **(ii)** descrição de novas feições de interesse paleontológico preservados em cavernas, **(iii)** estudos de caso envolvendo dois trabalhos técnicos onde foram aplicados métodos mais detalhados durante o levantamento do potencial paleontológico. **(vi)** Devido ao valor científico e histórico do Carste de Lagoa Santa, também é apresentada uma revisão taxonômica dos mamíferos coletados por Peter Lund, nos seus 10 anos de pesquisas nesta região. Em linhas gerais, o desenvolvimento desses trabalhos teve como objetivo responder as seguintes questões: **(i)** como os trabalhos técnicos desenvolvidos nas cavernas podem contribuir para o conhecimento sobre os fósseis ali preservados? **(ii)** é possível aplicar métodos mais detalhados nos trabalhos técnicos que não prejudiquem sua execução? O método testado se mostrou eficaz para ser aplicado nos trabalhos técnicos, e apresenta potencial para ser mais uma ferramenta para o acúmulo de conhecimento sobre a paleontologia nas cavernas brasileiras. Nele, são abordadas as características julgadas essenciais na avaliação do levantamento paleontológico, como as feições gerais da caverna, de seus depósitos sedimentares e dos restos orgânicos ali preservados. Essas características são detalhadas, com o objetivo de se recolher o máximo de informações pertinentes para que os resultados de diferentes trabalhos técnicos, sobre paleontologia em cavernas, possam ser comparados. Para sistematizar essa coleta de dados, é proposta uma ficha de campo para ser preenchida durante a inspeção das cavernas. Além do detalhamento da verificação da potencialidade fossilífera sem intervenção no sedimento, propõe-se também, uma complementação desse método. Resultados aqui apresentados apontam que esse tipo de intervenção possibilita o reconhecimento mais aproximado da real potencialidade paleontológica das cavidades. Os dois métodos foram testados durante trabalhos técnicos de paleontologia. Ambos se mostraram factíveis, sendo seus resultados satisfatórios. Para que a implementação desse método seja realmente eficaz, é imprescindível a elaboração de um banco de dados abrangendo as características relevantes das cavernas brasileiras para a paleontologia. Para isso se faz necessária a participação dos especialistas que elaboram os relatórios técnicos, e principalmente, a colaboração dos órgãos ambientais.

**Palavras-chave:** fósseis, legislação brasileira, estudos de impacto ambientais

## ABSTRACT

This work covers aspects related to cave paleontology in Brazil. This thesis was elaborated with the objective of proposing a more effective method of evaluating the paleontological potential of caves, with regard to studies that compose the stages of environmental licensing. In this sense, the results are presented in the form of five articles and a book chapter: **(i)** proposal for a more effective method for paleontological evaluation of caves, **(ii)** description of new features of paleontological interest preserved in caves, **(iii)** case studies involving two technical studies where more detailed methods were applied during the survey of paleontological potential, **(vi)** Due to the scientific and historical value of Lagoa Santa karst, a taxonomic review of mammals collected by Peter Lund in his 10 years of research in this region is also presented. Generally speaking, the development of these studies aimed to answer the following questions: **(i)** how can the technical work carried out in caves contribute to knowledge about the fossils preserved there? **(ii)** Is it possible to apply more detailed methods in technical work that does not harm its execution? The tested method proved to be effective to be applied in technical work, and presents the potential to be another tool for the accumulation of knowledge about paleontology in Brazilian caves. In this method, the characteristics considered essential in the evaluation of paleontological survey are addressed, such as the general features of the cave, its sedimentary deposits and organic remains preserved there. These characteristics are detailed, with the objective of collecting as much information as possible so that the results of different technical works on paleontology in caves can be compared. To systematize this data collection, a field form is proposed to be filled during cave inspection. In addition to detailing the verification of paleontological potential without intervention in the sediment, a complementation of this method is also proposed. The results presented here indicate that this type of intervention allows closer recognition of the real paleontological potential of the cavities. The two methods were tested during technical paleontology work. Both were feasible, and their results were satisfactory. In order for the implementation of this method to be really effective, it is essential to develop a database covering the relevant characteristics of Brazilian caves for paleontology. For this, the participation of the specialists who prepare the technical reports is essential, and mainly, the collaboration of environmental government agencies.

**Keywords:** fossils, Brazilian legislation, environmental impact studies

## SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	8
INTRODUÇÃO .....	9
ARTIGO 1.....	10
Trabalhos técnicos em <i>espeleo-paleontologia</i> , suas deficiências e uma proposta para avaliação paleontológica de cavidades naturais para fins de estudos ambientais .....	10
ARTIGO 2.....	45
Comparação entre métodos para o levantamento do potencial paleontológico em cavernas para estudos ambientais .....	45
ARTIGO 3.....	55
Stromatolites in caves in southeastern Brazil and their importance to geoconservation .....	55
CAPÍTULO DE LIVRO .....	75
Desenterrando a vida do passado - potencial paleontológico em cavernas .....	75
ARTIGO 4.....	88
Mammal tooth traces in a ferruginous cave in southeastern Brazil and their relevance to cave legal protection .....	88
ARTIGO 5.....	100
Atualização taxonômica dos mamíferos quaternários coletados por Peter Lund na região de Lagoa Santa entre os anos de 1835 e 1845 .....	100
CONCLUSÕES .....	127
REFERENCIAS .....	128



## APRESENTAÇÃO

A forma de apresentação deste trabalho segue as normas estabelecidas pelo Programa de Pós-Graduação em Geologia (instituto de Geociências) da Universidade Federal de Minas Gerais. Neste método é proposto que a apresentação dos resultados da tese seja feita na forma de artigos. Assim, o volume é dividido em três partes: introdução, artigos e conclusões. Esta tese é composta por dois trabalhos já publicados, um submetido e outros três a serem submetidos para publicação (Tabela 1, Tabela 2).

**Tabela 1.** Trabalhos publicados que compõe esta tese

Título	Situação	Local de publicação
Mammal tooth traces in a ferruginous cave in southeastern Brazil and their relevance to cave legal protection	Publicado (2019)	Anais da Academia Brasileira de Ciências
Desenterrando o passado, o registro paleontológico nas cavernas	Publicado (capítulo de livro; 2018)	Carste Ciência e Meio Ambiente (editora)
Stromatolites in caves in southeastern Brazil and their importance to geoconservation	Publicado (2020)	Geoheritage

**Tabela 2.** Demais trabalhos apresentados neste volume

Trabalhos técnicos em espeleopaleontologia, as deficiências e uma proposta para avaliação paleontológica de cavidades naturais para fins de estudos ambientais

Atualização taxonômica dos mamíferos quaternários coletados por Peter Lund na região de Lagoa Santa entre os anos de 1835 e 1845

Comparação entre métodos para o levantamento do potencial paleontológico em cavernas para estudos ambientais

## INTRODUÇÃO

Esta tese foi elaborada com o intuito de discutir as dificuldades encontradas durante a execução de trabalhos técnicos de relevância paleontológica, que compõe os estudos espeleológicos de impacto ambiental. Ela teve como objetivo principal propor um método mais eficaz de avaliação do potencial paleontológico de cavernas, no que se refere aos estudos que compõe as etapas do licenciamento ambiental. Para que esse objetivo fosse alcançado, foram elaborados trabalhos (aqui apresentados) para avaliar, comparar e testar esse método.

Dentre os problemas mais comuns enfrentados para a execução laudos técnicos de paleontologia, estão: **(i)** falta de um método padrão para a coleta das informações em campo, com as diretrizes (e conceitos) bem expostas, para não haver dúvidas em sua interpretação, **(ii)** detalhamento da forma de avaliar as diferentes feições de interesse paleontológico e como aplicá-las, **(iii)** a dificuldade em acessar os relatórios técnicos protocolados nos órgãos ambientais, **(iv)** falta de um banco de dados para acessar (e incluir) as áreas de ocorrência das cavernas com potencial (e registro) paleontológico. Todas essas questões prejudicam a avaliação paleontológica realizada para fins de estudos ambientais, uma vez que impossibilitam que comparações entre diferentes trabalhos técnicos sejam feitas.

Dos registros encontrados na literatura, restos de vertebrados são amplamente reconhecidos para as cavernas, sendo o principal foco dos especialistas nas inspeções técnicas de campo. Porém, como será abordado neste trabalho, há outros fósseis que devem ser considerados no momento da avaliação paleontológica, os preservados na rocha encaixante e icnofósseis.

Em dois trabalhos são descritos: **(i)** registros de estromatólitos preservados na rocha encaixante de cavernas calcárias e **(ii)** icnitos produzidos em uma cavidade ferrífera. As cavernas com estromatólitos estão distribuídas no carste de Arcos-Pains e Vazante-Unai. Já a cavidade em itabirito, está inserida na Serra da Ferrugem (Conceição do Mato Dentro).

Também são apresentados resultados de trabalhos técnicos, onde foram aplicados dois métodos de avaliação paleontológica, **(i)** a utilização de uma ficha de campo padronizada em todos os trabalhos, **(ii)** e a realização de intervenções nos sedimentos, incluindo escavações pontuais. Esses procedimentos foram desenvolvidos nas regiões cársticas de Lagoa Santa, Montalvânia e Vazante-Unai.

Para que um método de levantamento do potencial paleontológico de cavernas seja eficaz, primeiramente deve-se conhecer, de forma sistematizada, os vários tipos de feições de interesse paleontológico preservados nas cavernas brasileiras. Desta forma, na ficha aqui proposta, constam informações julgadas como necessárias para o detalhamento do levantamento paleontológico. Nela, são consideradas características físicas da caverna, como depósitos sedimentares, e biológicas, como presença de animais vivos, assim como seus restos recentes, fósseis e vestígios de atividades.

Nos documentos norteadores indicados pelos órgãos ambientais, não é explicitado, de maneira clara, quais são as feições que devem, necessariamente, ser indicadas nos laudos paleontológicos. A forma que devem ser avaliadas também não é mencionada. Diferentemente do que ocorre com os demais quesitos avaliados para compor os relatórios espeleológicos (ex. geologia, bioespeleologia), não há um método padronizado que dever ser aplicado durante a inspeção paleontológica.

Esse fato, impossibilita que resultados obtidos em diferentes laudos possam ser comparados, tanto os executados em uma mesma área, quanto em regiões distintas. Isso dificulta a criação de um banco de dados sobre o potencial paleontológico das áreas cársticas brasileiras.

## ARTIGO 1

### **Trabalhos técnicos em *espeleo-paleontologia*, suas deficiências e uma proposta para avaliação paleontológica de cavidades naturais para fins de estudos ambientais**

#### INTRODUÇÃO

A solicitação, por parte dos órgãos ambientais, para a inclusão de estudos sobre o diagnóstico paleontológico, em relatórios ambientais, vem crescendo gradativamente no Brasil (ex. FERREIRA, 2001, 2010; HUBBE, 2015, 2009a, 2009b, 2013; KRAEMER, 2008, 2010, 2011; MORATO, 2007; RIBEIRO, 2011; VASCONCELOS, 2016a, 2017a, 2017b, 2020). Com isso, o volume desses trabalhos aumenta, assim como a demanda de especialistas em paleontologia para a elaboração desses laudos técnicos.

No que se refere à oferta de trabalho, para o profissional da área, isso é um ponto positivo. No entanto, de acordo com a legislação brasileira, esse tipo de trabalho pode ser executado por qualquer biólogo ou geólogo, não exigindo comprovação de experiência ou especialização na área. Isso acarreta que profissionais, com pouca ou nenhuma experiência, assumam a elaboração do diagnóstico paleontológico (CFBIO, 2019a; CONFEA, 2005a, 2005b).

Na grande maioria das vezes, o laudo paleontológico faz parte de um relatório ambiental mais complexo, que será apresentado ao órgão ambiental. Com a burocracia, raramente, os resultados desses trabalhos são facilmente acessíveis a partir do banco de dados do próprio órgão ambiental. Isso dificulta, ou impossibilita, que resultados de trabalhos sejam comparados. Normalmente, apenas a partir do momento que eles são disponibilizados sob a forma de publicações, técnicas ou científicas, é que os resultados se tornam acessíveis (CARTELLE et al., 1998; HUBBE; AULER, 2012; MORATO, 2007; MORATO; BAPTISTA; FARIA, 2003; VASCONCELOS; BITTENCOURT, 2018; VASCONCELOS; BITTENCOURT; AULER, 2019; VASCONCELOS; CAMPELLO, 2016). O acesso também é possível quando empresas contratantes disponibilizam laudos paleontológicos feitos em relatórios anteriores a novos estudos.

A falta de um método de trabalho bem definido, exigido pelo órgão ambiental, é outro ponto que dificulta a comparação dos resultados dos diagnósticos paleontológicos (MINAS GERAIS, 2005; MMA, 2017). Há diversos trabalhos onde os métodos desenvolvidos em campo para coleta e preparação de fósseis são bem descritas, tanto para os fósseis preservados em afloramentos rochosos, quanto para os encontrados em cavernas (ex. COLLINSON, 1959; HOLZ; BARBERENA, 1998; NOBRE; CARVALHO, 2010; PAULA COUTO, 1958a; STRATFORD, 2011; VASCONCELOS; KRAEMER; MEYER, 2018). Porém, todos esses trabalhos abordam apenas os procedimentos realizados após a localização do jazigo e a coleta do fóssil, fazendo com os métodos adotados na prospecção paleontológica, e no processo de levantamento de dados em campo, fiquem defasados (ex. SCHERER; MORAES; OLIVEIRA, 2016). Isso faz com que cada profissional execute essas etapas de acordo com sua experiência (ou in experiência), o que pode acarretar em relatórios incompletos e perdas irreparáveis para a tomada de decisões em relação aos impactos ambientais relacionados à paleontologia.

Considerando todas essas características dos parâmetros exigidos pelo órgão ambiental, para a realização do diagnóstico paleontológico em cavernas, os objetivos deste trabalho são: **(i)** discutir o método atual descrito na legislação brasileira para a elaboração dos laudos técnicos em paleontologia que compõe relatórios de impacto ambiental em cavernas, **(ii)** apresentar as limitações para a interpretação das normas metodológicas atuais e a dificuldade na comparação

entre os dados dos relatórios técnicos, e (iii) propor um método padronizado de coleta de dados nos trabalhos de campo.

## A PALEONTOLOGIA NA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

Na Constituição brasileira (Brasil 1988), fósseis são classificados como um bem da União, e para o desenvolvimento de qualquer atividade que interfira em jazigos paleontológicos, deve-se solicitar ou informar à Agência Nacional de Mineração (DNPM, 2016). Em outras leis, decretos e Instruções Normativas – de diferentes esferas governamentais – também é abordado sobre os fósseis e o patrimônio paleontológico brasileiro (Tabela 3, ex. MINAS GERAIS, 2005; MMA, 2017; RIO GRANDE DO SUL, 2002).

Tabela 3. Exemplos onde é abordado sobre a proteção do patrimônio paleontológico na legislação brasileira.

Lei	Abordagem sobre fósseis
Decreto-Lei nº 4.146, de 4 de março de 1942 (Brasil, 1942)	Procedimentos para autorização e/ou comunicação prévias para extração de fósseis
Portaria DNPM Nº 155, de 12 de maio de 2016	Estabelece procedimentos para extração de fósseis
Lei 9.605 de 12/02/1998	Lei de crimes ambientais
Lei Estadual 11.726 de 30/12/1994 (MG)	Os bens e sítios arqueológicos, as cavidades naturais subterrâneas e os depósitos fossilíferos sujeitam-se à guarda e proteção do Estado, que as exercerá em colaboração com a comunidade
Lei Estadual 11.738/02, de 13/12/2001 (RS)	Fósseis são considerados como integrantes do patrimônio cultural do RS. Declara integrantes do patrimônio cultural do estado os sítios paleontológicos localizados em municípios do estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências

\* Compilação retirada de SBP (2020).

Porém, em nenhum desses documentos são esclarecidos conceitos ou métodos que devem ser seguidos durante os trabalhos de campo do profissional. Eles são direcionados para as ações burocráticas – que devem ser tomadas quanto à coleta e ao transporte do material coletado – assim como a proteção dos sítios paleontológicos (Tabela 3).

No que diz respeito à fiscalização, além da a Agência Nacional de Mineração (ANM), há outros dois órgãos independentes que podem fiscalizar trabalhos relacionados à paleontologia: o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) e o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio; Tabela 4). Desta forma, o profissional que queira trabalhar em algum sítio paleontológico, em teoria, deveria solicitar uma autorização para cada um desses órgãos. Na prática, na maioria das vezes, esses profissionais solicitam a apenas um desses órgãos. Adicionalmente, eles são independentes, não havendo uma comunicação para troca de informações entre eles. Com isso até hoje não há um banco de dados nacional de consulta sobre as ocorrências fossilíferas em cavernas no Brasil.

Tabela 4. Atribuições dos órgãos em relação à Paleontologia em Minas Gerais

Órgão	Papel em relação à Paleontologia
ANM	Autorização para coleta e transporte de espécimes fósseis
IPHAN	Proteção e preservação do patrimônio fossilífero brasileiro, realizar tombamento de sítios de valor paleontológico
ICMBio	Autorização para coleta e transporte de espécimes fósseis, relacionada ao desenvolvimento de pesquisas em cavernas

## COMO É REALIZADO O DIAGNÓSTICO PALEONTOLOLÓGICO EM CAVERNAS ATUALMENTE NO BRASIL

A nível nacional, há somente um documento que cita a paleontologia como um dos critérios para compor relatórios de estudos ambientais em cavernas. Trata-se da Instrução Normativa nº 2 de 2017 (IN-02/2017; MMA, 2017), que estabelece os critérios para a classificação do grau de relevância de cavidades naturais. Outro método que também atende a esse tipo de trabalho está descrito no “Termo de referência para elaboração de estudos de impacto ambiental para atividades minerárias em áreas cársticas no estado de Minas Gerais” (FEAM; MINAS GERAIS, 2005). Apesar de esse documento ser da esfera estadual, ele pode ser aplicado em cavidades situadas em qualquer região país. Nele são detalhados, de maneira bem mais completa, as feições que devem ser observadas durante o diagnóstico paleontológico, quando comparado à IN-02/2017 (MMA, 2017).

### INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 2 DE 30 DE AGOSTO DE 2017

Na IN-02/2017 (MMA, 2017) são dadas as diretrizes para a classificação de relevância de cavidades naturais para fins de estudos ambientais. A partir dos resultados obtidos, as cavernas podem ser classificadas, sob os enfoques local e regional, com máxima, alta, média ou baixa relevância. Esses resultados são alcançados a partir de uma série de estudos onde as cavernas são caracterizadas sob diferentes aspectos, como geológicos, biológicos, arqueológicos e paleontológicos. Após essa caracterização, esses atributos serão mensurados, e a relevância da caverna será definida a partir de uma série de cálculos, baseados em diferentes variáveis (ex. atributos, grupos de atributos, peso e contribuição; MMA, 2017).

Embora estudos paleontológicos sejam feitos, a paleontologia não é utilizada como critério para definir o grau máximo de relevância da caverna inspecionada. A sua aplicação se restringe aos demais graus de relevância – alto, médio e baixo –, sendo utilizada em dois parâmetros: **(i)** quanto à presença/ausência de fósseis e **(ii)** relativo às importâncias científica e didática dos depósitos sedimentares (**Tabela 5**).

**Tabela 5.** Síntese dos atributos considerados para a classificação dos depósitos cavernícolas do ponto de vista paleontológico (MMA, 2017).

Atributo	Conceito	Variável
Registro paleontológico	Fósseis de animais e vegetais (restos, vestígios)	Presença
		Ausência
Sedimentação clástica ou química	Interesse/importância científica ou didática	Presença com valor científico
		Presença sem valor científico ou ausência

Na IN-02/2017 (MMA, 2017) também é abordado sobre o resgate de fósseis em cavernas. Uma vez exposta a impactos negativos irreversíveis, os fósseis ali preservados devem ser devidamente coletados e destinados a coleções científicas (Art. 18; MMA, 2017).

## **Termo de referência para elaboração de estudos de impacto ambiental para atividades minerárias em áreas cársticas no estado de Minas Gerais**

Especificamente para o estado de Minas Gerais, técnicos da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) elaboraram um termo com sugestões para a avaliação de impactos ambientais de cavernas inseridas em regiões minerárias (MINAS GERAIS, 2005). Neste Termo da FEAM é sugerida que a caracterização paleontológica consista na obtenção de informações referentes à natureza dos sedimentos e dos fósseis, assim como de suas dinâmicas deposicionais. Para isso, as seguintes ações devem ser tomadas: **(a)** descrição de cada sítio de relevância sedimentológica (de natureza química ou clástica), **(b)** plotagem da localização dos sedimentos nos mapas das cavidades, **(c)** descrição dos jazimentos encontrados, indicando provável dinâmica deposicional e **(d)** descrição sumária dos prováveis fósseis, vestígios fósseis, ou restos orgânicos, pré-orgânicos (animais ou vegetais), **(e)** Indicação dos impactos futuros com a implantação e operação do empreendimento (MINAS GERAIS, 2005).

Embora a aplicação desse Termo não ser obrigatória, até o momento, o método sugerido neste documento, para o diagnóstico paleontológico de cavernas, é o mais completo e detalhado. Porém, como não é exigido seu uso, e por ser um documento estadual, ele acaba não sendo adotado amplamente (FERREIRA, 2010; HUBBE, 2015, 2009a, 2009b, 2013; KRAEMER, 2008, 2010, 2011; MORATO, 2007; RIBEIRO, 2011; VASCONCELOS, 2012, 2016a, 2017a, 2017b).

No que diz respeito à comparação de resultados, ainda que fosse utilizado amplamente, o método sugerido pela FEAM apresenta limitações. Por se basear em dados qualitativos – e carecer de parâmetros quantitativos – os resultados passam a ser subjetivos. Assim, para que comparações, entre os métodos empregados e resultados alcançados, tenham uma maior eficácia, esse termo deveria adotar critérios quantitativos e detalhar melhor (ou padronizar) a fora de empregar os qualitativos. Somente desta forma seria possível a criação de um banco de dados mais objetivo e mais confiável para comparação de resultados.

### **PONTOS QUE DEVEM SER DETALHADOS**

O fato de não haver uma padronização para a apresentação dos laudos paleontológicos realizados em cavernas, desfavorece – ou até mesmo impossibilita – a comparação dos resultados diferentes trabalhos. Isso pode ocorrer, pois eles vão ser apresentados de maneiras distintas por cada profissional. Por exemplo, como classificar um resto orgânico como fóssil ou mensurar o seu valor científico/didático (em campo e sem coleta)? E mais, como afirmar que o profissional utilizou de parâmetros eficazes, baseando-se apenas na descrição e fotografias do achado? A segunda pergunta já entra em outro ponto que necessita de uma revisão.

Da mesma forma que não há diretrizes específicas na legislação para selecionar os profissionais aptos em realizar o diagnóstico paleontológico, não há também um cargo específico nos órgãos ambientais para avaliar laudos paleontológicos. Esse fato é comum em diferentes áreas que abrangem a fiscalização de trabalhos ambientais (HOFMANN, 2015). Assim, a função de verificar o laudo paleontológico fica sob responsabilidade dos técnicos ambientais, que podem ter sua formação em diferentes áreas. Essas questões provavelmente vão impactar nas tomadas de decisão relativas à manutenção dos restos orgânicos (recentes e fósseis) preservados em cavernas, podendo afetar de maneiras positiva ou negativa tanto aos interesses na proteção, quanto aos de supressão.

## **a. Conceitos em Paleontologia**

Embora alguns conceitos em paleontologia variem de acordo com a bibliografia consultada, no campo teórico, todos são facilmente definidos e compreendidos (CASSAB, 2010; DNPM, 2016; MENDES, 1982; PROTHERO, 2013).

### **I. Como identificar um fóssil?**

Conceitualmente, é bem simples de definir um fóssil. Trata-se de todo resto ou vestígio de organismos extintos ou com uma idade superior a 11.000 anos. Essa definição é apresentada no Decreto-Lei 4.146, de 4 de março de 1942 e na Portaria Nº 155, de 12 de maio de 2016 (BRASIL, 1942; DNPM, 2016). Assim, mesmo que a definição não seja apresentada na IN-02/2017 (MMA, 2017) e no Termo da FEAM (MINAS GERAIS, 2005), os relatórios técnicos devem se basear nesse Decreto-Lei e nessa Portaria (BRASIL, 1942; DNPM, 2016).

Porém, como fazer essa análise em campo, e sem a utilização de qualquer método de datação? Quando se trata de restos orgânicos preservados em camadas anteriores ao Quaternário isso é uma questão bem fácil de resolver. Além de possuírem uma idade maior que 2,8 milhões anos, grande parte dos organismos ali encontrados estão extintos.

Já em depósitos mais recentes, essa interpretação tende a ser mais difícil, e quanto mais sua idade se aproximar do presente, essa situação se complica ainda vez mais. Isso ocorre, principalmente, quando o material não é coletado e/ou não é feita sua datação. Com a coleta, o material poderia ser tratado em laboratório – como, por exemplo, a remoção de sedimentos adjacentes. Isso facilitaria a identificação da anatomia daquele resto, e assim, verificado se trata de um resto extinto (VASCONCELOS; MEYER; CAMPELLO, 2015).

Outro fator que dificulta a identificação dos restos na caverna é os retrabalhamentos que os depósitos podem ser submetidos. Assim, nos jazigos fossilíferos mais recentes, podem ser encontrados, com maior frequência, restos fossilizados de organismos extintos e viventes. Essa situação é relativamente comum de ocorrer em depósitos cavernícolas brasileiros (BARRETO et al., 1982; CHAHUD, 2001; HUBBE et al., 2011b; HUBBE, 2009b; VASCONCELOS; MEYER; CAMPELLO, 2015).

Com isso, durante o diagnóstico paleontológico, pode ser sugerido que um determinado resto se trate de um fóssil, quando se trata de um organismo extinto, ou aparentar ter uma idade considerável. Isso normalmente é feito ao se analisar o estado de preservação/fossilização dos restos (HUBBE, 2009b; VASCONCELOS, 2016b, 2016a). Apesar de ser completamente subjetivo, isso é uma interpretação comum de ser feita nas consultorias técnicas, uma vez que não é exigida a coleta do material para uma melhor análise (MMA, 2017).

Além dos restos fósseis, outros conceitos citados no Termo da FEAM (Minas Gerais 2005) causam dúvidas. Nele, é sugerido que também haja uma descrição dos restos orgânicos e pré-orgânicos (animais ou vegetais). Porém, isso não fica claro. O fóssil por si só, já é um resto orgânico. Então, este ponto é redundante. E o que seriam restos pré-orgânicos?

#### **4.1.1. Como classificar o valor científico/didático de um fóssil?**

Outro critério, mencionado na IN-02/2017, sem uma definição clara e objetiva, é quanto aos valores científico e didático de uma caverna, do ponto de vista paleontológico (MMA, 2017). Quais características uma caverna ou um depósito sedimentar/fossilífero devem apresentar para ter interesse científico e/ou didático? Novamente, outra questão que leva a resultados subjetivos.

No que diz respeito ao achado fóssil, seu valor científico/didático é mais relevante que a sua própria ocorrência na caverna (MMA, 2017). Por exemplo, a preservação de conchas de gastrópodes terrestres fossilizadas em cavernas é muito comum, e de maneira oposta, está a ocorrência de restos de vertebrados extintos. Adotando-se a variável presença/ausência de fóssil, ambos os registros seriam assinalados como presentes. Porém, teriam a mesma relevância científica/didática? Para não haver julgamentos subjetivos quanto a isso, deveria ser definido um critério quantitativo para esse tipo de avaliação. Atualmente, isso ocorre de maneira arbitrária, sendo variável a interpretação do profissional responsável pelo diagnóstico paleontológico.

Neste sentido, é de extrema importância que sejam adotados métodos mais eficazes para a caracterização paleontológica de uma caverna. Apenas após conhecer e compreender melhor sobre os fósseis preservados nesses ambientes, que tais questões poderiam ser discutidas mais profundamente (ex. FERNANDES et al., 2019; MAYER et al., 2020). Mas para isso, um volume enorme de dados deve ser coletado e de fácil acesso para serem comparados. Isso apenas será possível a partir do desenvolvimento de estudos sistemáticos em cavernas, da coleta e disponibilização desses dados de uma maneira padronizada.

## **b. Capacidade técnica**

### **4.1.2. Qual profissional está apto para emitir diagnósticos paleontológicos de cavernas?**

Mesmo que ainda não haja métodos ou critérios bem definidos para a emissão de diagnósticos paleontológicos de cavidade naturais, talvez o ponto mais relevante é em relação à capacidade técnica do responsável pelo trabalho. Para a emissão do parecer do potencial bioespeleólogo, por exemplo, a capacitação profissional do biólogo é analisada pelo órgão ambiental (SISBIO/ICMBio). Nesta etapa é verificado se ele está apto para executar o trabalho. Um processo semelhante, e mais rígido, é feito também com o arqueólogo (IPHAN). Já na paleontologia isso não é feito.

Atualmente, a paleontologia é uma atribuição de exercício dada ao Biólogo e Geólogo. Assim, todos os profissionais graduados em Ciências Biológicas, Geologia ou Engenharia Geológica, legalmente, estão autorizados a atuar no campo da Paleontologia (CFBIO, 2019b).

Desta forma, qualquer biólogo ou geólogo pode emitir um laudo paleontológico, mesmo sem ter que comprovar sua experiência na área, seja profissional ou acadêmica. Isso certamente se baseia nos fatos dos cursos de graduação em Ciências Biológicas, Geologia e Engenharia Geológica terem em sua matriz curricular a disciplina de Paleontologia e pelos conselhos de classe darem essa atribuição aos profissionais (CFBio e CREA; CFBIO, 2019b, 2019a; CONFEA, 2005a) mas será que somente uma disciplina cursada na graduação é o suficiente para capacitar um profissional apto a emitir laudos paleontológicos de cavernas?

A carga horária mínima exigida pelo Conselho Federal de Biologia para assuntos relacionados à Paleontologia e à Geologia é de 90h (CFBIO, 2019b), ficando a cargo de cada curso fazer a distribuição entre as disciplinas. Já para os cursos de Geologia e Engenharia Geológica não é exigida uma carga horária mínima, variando assim, de acordo com cada colegiado.

Desta forma, há ementas dos cursos supracitados que não há a disciplina específica para Paleontologia, sendo que o conteúdo seja tratado conjuntamente com outras disciplinas, como Evolução ou Geologia Geral. Isso reduz ainda mais a carga horária sobre assuntos específicos sobre paleontologia (Tabela 6). Em um levantamento realizado sobre as ementas de Paleontologia nos cursos de graduação no Brasil, somente três abordam sobre legislação. Foram analisadas 152



ementas dos cursos de Ciências Biológicas, Ciências Naturais, Geologia e Engenharia Geológica (Tabela 6). Em nenhuma ementa é mencionada a abordagem sobre o trabalho do paleontólogo como consultor ambiental, tampouco como se elabora laudos paleontológicos. Desta forma, não seria indicado que um profissional, mesmo que graduado nesses cursos, tenha a habilitação para elaborar relatórios técnicos.

**Tabela 6.** Forma em que os temas relacionados à Paleontologia são distribuídos nas ementas dos cursos de graduação em Ciências Biológicas e Geologia e relação das disciplinas que abordam a forma com que legislação brasileira discorre sobre os fósseis.

	Há a disciplina Paleontologia na ementa do curso?	Na disciplina é abordado sobre legislação (paleontológica)?
Sim	95	3
Não	11	55
Não Consta	5	94
Disciplina associada	40	-

Ainda de acordo com o anexo II da Resolução nº 1.010, de 22 de agosto de 2005 (CONFEA, 2005a), estão aptos a emitir pareceres em paleontologia Engenheiros de Minas. Porém, não há no Brasil cursos de graduação em Engenharia de Minas que contemplem a paleontologia. Assim, nitidamente, esses profissionais não possuem sequer uma base mínima sobre esse assunto.

Mesmo que o biólogo ou geólogo tenha experiência em paleontologia, dificilmente ele dominará todas as áreas dessa ciência. Existem inúmeras subáreas dentro da paleontologia, as quais o paleontólogo deve ter experiência para conduzir os seus trabalhos. Dificilmente, um micropaleontólogo, por exemplo, desenvolverá um trabalho técnico numa caverna com a mesma qualidade que um especialista em paleontologia de cavernas (e vice-versa). Assim, faz-se necessária a comprovação de experiência do profissional para o desenvolvimento de trabalhos técnicos. Porém, esse procedimento irá apenas ser seguido apenas no momento que passar a ser exigido pelos órgãos fiscalizadores (ex. ICMBio, ANM, SUPRAMs). Isso seria essencial não somente para a avaliação de cavernas, mas sim para todos os trabalhos que envolvam trabalhos técnicos em paleontologia.

Recentemente, foi enviado ao Congresso um Projeto de Lei (PL nº 791/2019) para a regulamentação da profissão do paleontólogo no Brasil (ROMA, 2019). Embora tenha alguns pontos que poderiam ser revistos, ela sugere que um profissional que deseja realizar trabalhos nesta área deva possuir uma pós-graduação, ou comprovar sua experiência por tempo de trabalho em paleontologia. Isso já seria um passo importante para reduzir o número de profissionais inexperientes no mercado de trabalho, e com isso, talvez elevar o nível dos relatórios técnicos.

#### **4.1.3. A importância dos órgãos fiscalizadores**

Como não há uma verificação sobre a capacidade técnica do profissional responsável pelo diagnóstico paleontológico, a avaliação e a análise, quanto à qualidade desse diagnóstico, ficam sob a responsabilidade do corpo técnico vinculado ao órgão fiscalizador público (ex. Secretaria do Estado e Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável; SEMAD).

Esse corpo técnico, que é formado por analistas ambientais, é responsável pela avaliação do relatório espeleológico como um todo, que inclui além da paleontologia, os aspectos geológicos, ecológicos e arqueológicos da caverna, por exemplo. Normalmente esse corpo técnico é composto por uma equipe multidisciplinar, com profissionais graduados, por exemplo, em Ciências Biológicas, Engenharia Ambiental, Geologia, Geografia ou História. Porém, os órgãos ambientais

responsáveis por essa avaliação dos relatórios espeleológicos não têm um especialista em paleontologia.

Neste contexto, mesmo que o laudo paleontológico seja elaborado por um profissional sem experiência em paleontologia, dificilmente ele será questionado pelo órgão ambiental, uma vez que os técnicos que avaliam esses relatórios não possuem uma capacitação mínima adequada para essa função. Isso não ocorre somente com a paleontologia. Não há também um cargo específico para as demais áreas que compõem o relatório espeleológico, como arqueólogo ou bioespeleólogo, por exemplo.

Uma das medidas positivas que vem sendo tomada, para diminuir essa deficiência, é a organização de eventos cujo objetivo é alinhar as diretrizes norteadoras para a elaboração dos estudos técnicos espeleológicos. Além de promoverem discussões que auxiliam na formulação de novos métodos para a avaliação espeleológica, esses eventos também têm um papel essencial na capacitação dos participantes, que incluem os analistas e técnicos dos órgãos ambientais. Normalmente, os encontros ocorrem na forma de workshops e contam com a participação, como palestrantes, de pesquisadores especializados nas áreas de geoespeleologia, bioespeleologia, hidrogeologia, geomorfologia cárstica, dentre outras (ex. ANGLO AMERICAN; SEE, 2018; CECAV, 2013, 2017, 2019; EPA, 2018; ESPELEONORDESTE, 2015, 2018, 2020; I SMC, 2011; II SMC, 2013; III SMC, 2017; INSTITUTO MINERE, 2020; IV SMC, 2019; REDESPELEO, 2004; SBAE, 2016; SEE, 2018, 2018; VALLOUREC; TERRA BRASILIS, 2018).

Porém, até o momento, houve somente um evento que abordou sobre a paleontologia nas cavernas, sendo que os resultados não foram disponibilizados de maneira ampla. Na grande maioria das vezes, esse assunto fica restrito às discussões no meio acadêmico, que ocorrem em congressos e simpósios específicos sobre paleontologia, e mais raramente, sobre espeleologia (ex. DIAS, 2003; VASCONCELOS et al., 2018; VASCONCELOS; CAMPELLO, 2016; VASCONCELOS; HUBBE; MEYER, 2013). Mesmo assim, quando se trata especificamente da paleontologia – no processo do licenciamento ambiental – praticamente, não há discussões que evoluam para tomadas de decisões práticas.

Até mesmo nos cursos técnicos ofertados, para profissionais da área de espeleologia, não abordam – ou aprofundam como ocorre com os demais temas – sobre assuntos relacionados à paleontologia de cavernas (ex. CECAV, 2019; INSTITUTO MINERE, 2020). De maneira semelhante, também ocorre no campo da divulgação científica em espeleologia e paleontologia de cavernas. Livros e séries de livros de espeleologia, abordam amplamente sobre gênese e cavernas e espeleotemas, bioespeleologia, técnicas verticais e proteção/patrimônio espeleológico. Já assuntos relacionados à paleontologia são pouco abordados (AULER; ZOGBI, 2011; LINO, 2009; LINO; ALLIEVI, 1980; MENIN; VIANA, 2008; RUBBIOLI; MOURA, 2008; TEIXEIRA, 1980; TRAJANO; BICHUETTE, 2006). Em contrapartida, os livros de paleontologia – que abordam sobre fósseis em cavernas – enfocam em assuntos relacionados à taxonomia e ecologia dos vertebrados, principalmente sobre mamíferos. Neles, não é tratado sobre a gênese dos depósitos, os diferentes aspectos da caverna – que proporcionam a preservação dos fósseis – ou métodos de coleta, por exemplo (ex. BERGQVIST; ABUHID; LESSA, 2011; CARTELLE, 1994, 2012; PAULA COUTO, 1979).

Desta forma, há uma carência tecno-científica relacionada à paleontologia de cavernas no Brasil. Isso reflete em uma baixa capacitação dos profissionais diretamente associados aos estudos de impactos ambientais nas cavernas, principalmente quando comparado aos demais assuntos ligados a esses estudos, como geoespeleologia e bioespeleologia.

## MÉTODO PROPOSTO

Como visto acima, no que diz respeito à elaboração do diagnóstico paleontológico de cavernas, as informações exigidas na IN-02/2017 (MMA, 2017) são pontuais. Esse fato acarreta numa apresentação vaga sobre as características de interesse paleontológico presentes nas cavernas.

Já o método sugerido no Termo da FEAM (MINAS GERAIS, 2005) – ainda que esse termo possibilite que os resultados da inspeção paleontológica sejam apresentados de maneira mais detalhada – tem um uso limitado. Isso se deve ao fato dele se tratar de um documento estadual e ser facultativa a sua aplicação. Mas, ainda mesmo que esse termo fosse obrigatório em todo o território nacional, seriam necessárias implementações no método de coleta de dados em campo.

A carência de um método detalhado, e de uso obrigatório, acarreta em relatórios muito discrepantes (ex. FERREIRA, 2010; HUBBE, 2009a, 2009b, 2013; KRAEMER, 2008, 2010, 2011; MORATO, 2007; VASCONCELOS, 2012, 2015, 2016b, 2017b, 2017a, 2018). A forma de caracterização dos depósitos de interesse paleontológico é outro ponto que deve ser detalhado. Além de solicitarem dados qualitativos sobre os aspectos de interesse, na IN-02/2017 (MMA, 2017) e no Termo da FEAM (MINAS GERAIS, 2005) não há uma descrição dos métodos/parâmetros que os profissionais devem adotar em campo. Esses fatores dificultam – ou impossibilitam – a comparação entre os resultados apresentados.

Dessa forma, adotar um método padrão, e detalhado, no levantamento da potencialidade paleontológica das cavernas torna-se uma importante ferramenta para se formar um banco de dados para futuros trabalhos. Coletas de dados mais uniformes possibilitam uma comparação entre os resultados entre diferentes trabalhos técnicos, como é feito na bioespeleologia, por exemplo ex. CAMPELLO; HADDAD; COSTA, 2017; COSTA; CARVALHO, 2011; JAFFÉ et al., 2016, 2018; PELLEGRINI et al., 2019; RABELO; FERREIRA, 2019; RAMALHO et al., 2018; SANTOS, 2017; SANTOS et al., 2019; SOUZA et al., 2019)

Uma das formas de padronizar os resultados obtidos, durante o diagnóstico paleontológico das cavernas, é com a adoção de um método comum utilizado pelos profissionais. De maneira semelhante utilizada nos trabalhos de prospecção espeleológica, é com a aplicação de uma ficha de campo que norteie as características mínimas que devem ser observadas nas cavernas (DIAS, 2003; MINAS GERAIS, 2005).

### **a. Guia para o preenchimento da ficha de diagnóstico paleontológico de cavidades naturais**

Atualmente, há duas propostas de ficha de campo para a caracterização de uma cavernas para fins de estudos ambientais (DIAS, 2003; MINAS GERAIS, 2005). Porém, em ambas, além de tratar de maneira superficial os aspectos de relevância paleontológica, nelas não é detalhada a forma de aplicar os conceitos ali mencionados (DIAS, 2003; MINAS GERAIS, 2005).

Desta forma, a ficha de campo – aqui apresentada – foi elaborada com o objetivo de tratar de forma mais detalhada o levantamento do potencial paleontológico da caverna, conceituando e discutindo as diferentes situações que podem ser encontradas nesses ambientes. Com a aplicação da ficha, também visa dinamizar o diagnóstico paleontológico e padronizar a coleta de dados entre cavernas. Ela também tem o propósito de auxiliar o profissional a realizar todas as observações de interesse paleontológico, evitando – ou diminuindo – assim, as chances de se deixar de caracterizar alguma feição relevante. Idealmente, ela deve ser utilizada junto com o mapa da caverna, para que aspectos importantes sejam nele referenciados, no momento da visita, e relacionados com as anotações feitas na ficha.

A ficha é dividida em diferentes grupos de informações: **(i)** dados gerais sobre a área de estudo, **(ii)** características gerais da caverna e **(iii)** caracterização dos restos orgânicos e associações (recentes e fósseis), sendo divididos nos principais grupos reportados para cavernas, como microbialitos, invertebrados, vertebrados e pseudofósseis.

Embora já tenham sido realizadas escavações, para o resgate de restos faunísticos em outras litologias, ex. MACEDO, 2014; PARENTI, 1996), no Brasil, até o momento, todos os estudos quanto à preservação de restos fósseis em cavernas foram realizados em rochas calcárias ex. AULER et al., 2006; CARTELLE; DE IULIIS; PUJOS, 2008; HUBBE et al., 2011b; LUND, 1837; OLIVEIRA; SANTOS, 1990; PAULA COUTO, 1970; SOUZA CUNHA, 1960; VASCONCELOS; MEYER; CAMPELLO, 2015). Assim, todas as informações solicitadas na ficha foram baseadas nesses trabalhos, embora que ela ainda possa ser aplicada, com adaptações, a cavernas desenvolvidas em outros contextos geológicos.

### I. Dados gerais da área de estudo

O preenchimento da ficha é iniciado com informações relativas à identificação e localização da cavidade, que inclui sua nomenclatura, e o nome do ponto dado no GPS, além de sua localidade, que pode ser o nome da região, distrito, etc. (Figura 1). Outros dados solicitados nessa primeira parte da ficha são, a data da visita, assim como a identificação da empresa contratante.

FICHA DE DIAGNÓSTICO PALEONTOLÓGICO DE CAVIDADES NATURAIS							
I. DADOS GERAIS – ÁREA DE ESTUDO							
Cavidade	Ponto GPS	DADOS GPS			Data	Empresa	
		DATUM	Alt.	m.	Erro GPS ±		m.
Localização		E	m.	N			m.

**Figura 1.** Seção da ficha de campo destinada para anotações sobre a localização da cavidade e outras informações gerais.

É essencial o preenchimento dos dados registrados pelo GPS no momento da vistoria. Não é incomum ocorrer imprecisão sobre a localização exata da cavidade que deve ser visitada. Isso ocorre, pois muitas vezes há diferentes profissionais, ou até empresas, envolvidos/responsáveis pelas etapas do estudo espeleológico, no qual o diagnóstico paleontológico faz parte (VASCONCELOS; COSTA; KRAEMER, 2013). Com isso, ao longo do processo, podem ocorrer trocas ou misturas de informações, como a nomenclatura das cavernas presentes nesses estudos. Assim, a tomada de nota das coordenadas geográficas da caverna, durante a inspeção paleontológica, auxilia na identificação da caverna visitada, caso surja posteriormente alguma dúvida (Figura 1).

Adicionalmente, cavernas situadas em uma mesma região, costumam apresentar feições muito semelhantes, fáceis de serem confundidas (VASCONCELOS; COSTA; KRAEMER, 2013). Por isso, a anotação das fotografias tomadas, de acordo com a numeração da câmera fotográfica utilizada, é extremamente importante para evitar confusões durante a elaboração do relatório. Por fim, há também um círculo destinado para indicar o número da ficha de campo, que fica à critério do profissional a forma de preenchimento (Figura 1).

## II. Características gerais da cavidade

Além das características ambientais (ex. *pH*, temperatura, umidade), muitas outras variáveis devem estar presentes na caverna para que a fossilização ocorra (ANDREWS, 1995; KOS, 2003a). Porém, uma das principais características está relacionada à morfologia geral da cavidade, que inclui a posição de suas entradas na paisagem, disposição dos condutos e declividade (Tabela 7; ex. CASTRO; LANGER, 2008; CHAHUD, 2001; HUBBE; MAYER; HADDAD-MARTIM, 2010; MAYER; HUBBE; HADDAD-MARTIM, 2012). Esses fatores serão decisivos para que potencialize a preservação e a posterior fossilização dos restos orgânicos ex. GILLIESON, 1996; HUBBE et al., 2011b; LUND, 1836; MAYER et al., 2020; SIMMS, 1994).

Tabela 7. Características da caverna relacionadas ao aprisionamento de organismos em seu interior.

Variável	Situação
Entrada vertical (inclui claraboia)	Morte na queda, impossibilidade de sair (dependendo da altura ou da ausência de entradas a nível do meio externo)
Dimensão	Grandes dimensões podem dificultar a saída do animal que acessou a caverna, principalmente se houver poucas entradas
Nº de entradas (inclui sumidouro)	Facilita a saída do animal, ou de seus restos, que adentrou (carniceiros, fluxos hidráulicos)
Morfologia	Ao contrário de cavernas de morfologia simples, as meandantes e sinuosas podem aprisionar com maior facilidade o animal ou seus restos
Desnível negativo (a partir da entra)	Cavidades com desníveis acentuados por impossibilitar a saída do animal, caso ele acesse as porções mais inferiores da caverna
Cursos d'água	Fluxos hidráulicos são excelentes transportadores de restos orgânicos para cavernas. Assim, sua presença pode contribuir para o acúmulo de fósseis nesses ambientes.

Desta forma, a segunda parte da ficha é direcionada para anotações associadas às feições gerais da caverna (Figura 2). Em relação à localização da entrada principal, devem ser anotadas informações gerais, como, a posição da entrada em relação à vertente ou se está no fundo de uma dolina, por exemplo. Essas informações são relevantes para interpretações sobre a potencialidade da caverna em receber sedimentos externos – e restos orgânicos (SIMMS, 1994). No caso de vertebrados terrestres, essas características vão ser fundamentais para a entrada, e a permanência deles, ou de seus restos, na cavidade (ex. LUND, 1836; SIMMS, 1994).

2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA CAVIDADE				
Localização da entrada principal	Qtde. de entradas	Morfologia geral da cavidade (planta baixa)	Desenvol.	Desnível
			m.	m.
Presença de feições como <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> Claraboia <input type="checkbox"/> Sumidouro	2.1. DEPÓSITOS			OBSERVAÇÕES
	<input type="checkbox"/> Clásticos <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> Alac. <input type="checkbox"/> Arc. / <input type="checkbox"/> Arg. <input type="checkbox"/> Sil. <input type="checkbox"/> Are. <input type="checkbox"/> Cas. <input type="checkbox"/> Mat. <input type="checkbox"/> Bricho <input type="checkbox"/> Solo calcáreo <input type="checkbox"/> Paleoped <input type="checkbox"/> Outros			
Drenagem <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> Efêmera <input type="checkbox"/> Perene	Químicos <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> Sim. Tipos de depósitos:			

Figura 2. Seção da ficha de campo utilizada para caracterizar as feições do meio físico da caverna. “N.O.” é abreviatura para feições não observadas.

As demais informações solicitadas nesse campo, podem ser retiradas do próprio mapa da caverna, mas devem ser detalhadas no momento da vistoria. Dentre elas, estão: quantidade de entradas, morfologia geral da cavidade – ex. retilíneo, meandrante, anastomosado, espongiforme –, desenvolvimento e desnível.

Uma caverna meandrante e/ou com desníveis acentuados, por ter um desenvolvimento irregular, quando comparado a uma retilínea e sem desníveis abruptos, pode gerar mais pontos de acumulação de sedimentos trazidos pela água, por exemplo. Da mesma forma, caso um vertebrado terrestre adentre, poderá ter mais dificuldades em sair. Assim, a somatória de características da caverna, certamente terá influência sobre seu potencial para o acúmulo e preservação de fósseis, principalmente de vertebrados terrestres (CARTELLE; BRANDT; PILÓ, 1988; HUBBE et al., 2011b; HUBBE; AULER, 2012; KOS, 2001, 2003b; LUND, 1836; MAYER, 2013; MAYER; HUBBE; HADDAD-MARTIM, 2012; REED, 2006).

A partir do mapa, também é possível observar se há drenagem ou claraboia – que se trata de uma entrada verticalizada – e sumidouro, além da localização dos depósitos clásticos e químicos, que podem inclusive, estar preservados no exocarste (Figura 2). Essa informação também é importante, já que essas feições também podem preservar fósseis.

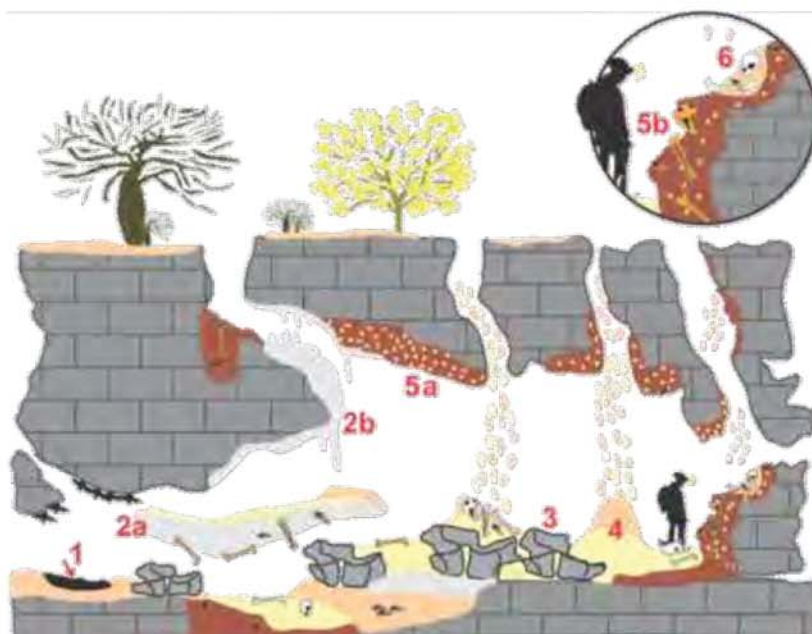


Figura 3. Depósitos de solo carbonatado preservados em paredões no exocarste (indicadas pelas setas em A). Fotos: André Vasconcelos.

Uma vez em seu interior, a prospecção paleontológicas se concentra, principalmente, nos depósitos sedimentares cavernícolas, que quanto à sua gênese, podem ser de origem clástica, química, ou orgânica – ou ainda serem formados pela mistura desses (Tabela 8; Figura 2; FORD; WILLIAMS, 1989; GILLIESON, 1996; JENNINGS, 1971).

**Tabela 8.** Tipo de sedimentos comuns de ser encontrados em cavernas. Adaptado de GILLIESON (1996) e FORD; WILLIAMS (1989).

Tipo de sedimento	Origem	Tipo de transporte	Exemplo
Clástico	Alóctone	Transporte hidráulico e eólico, fluxo de lama	Clastos sub-angulares a sub-arredondados de diversas granulometrias
	Autóctone	Colapso de teto e parede, fluvial, intemperismo do solo e da matéria orgânica, eólico	
Orgânico	Alóctone	Transporte hidráulico e eólico; fauna	Fragmentos de madeira, ossos, húmus, palinomorfos (grãos de pólen e esporos)
	Autóctone		Guano, crostas ou lâminas de fosfatos
Químico	Alóctone	Precipitados e evaporitos (Mais de 180 minerais são formados no interior de cavernas)	Tufa
	Autóctone		Espeleotemas



**Figura 4.** Modelos de possíveis tipos de depósitos cavernícolas: (1) Guano de morcego; (2a) e (2b) Depósitos químicos, respectivamente paleopiso e escorrimentos; (3) Blocos desmoronados; (4) Sedimentos recentes (argila, areia, cascalho); (5a) e (5b) Brechas sedimentar e fóssilífera, respectivamente; (6) Restos orgânicos não fossilizados (conchas e ossos). Redesenhado de LINO; ALLIEVI (1980).

### Depósitos clásticos

Os sedimentos clásticos cavernícolas variam suas características por apresentarem diferentes origens, meios de transporte e ambientes de deposição (Jennings 1971). Eles podem ser divididos em **(1) colapso de teto e paredes das cavernas**, sendo constituídos por clastos angulosos; **(2) brecha de colapso e brecha óssea**, que podem ser formadas por uma mistura de fragmentos de rocha matriz, ossos, precipitações secundárias, cimentados por carbonatos em matriz argilo-arenosa. Fragmentos de espeleotemas e conchas também podem ser encontrados em meio a esses depósitos, que geralmente se localizam nas fissuras e cavidades nas paredes e teto das cavernas, e geralmente, são careados por fluxos gravitacionais; **(3) depósitos formados por correntes de**

**água**, geralmente tem a origem externa, mas podem ser formados também por blocos caídos da rocha encaixante e fragmentos de espeleotemas. Estes depósitos apresentam clastos bem selecionados e arredondados que podem variar de granulometria desde argilas até matacões (Tabela 9; FORD; WILLIAMS, 1989; GILLIESON, 1996; JENNINGS, 1971; LAUREANO; KARMANN, 2013)

**Tabela 9.** Mecanismos de transporte e principais tipos de partículas sedimentares em cavernas (LAUREANO, 1998; LAUREANO; KARMANN, 2013).

Classe	Mecanismos de transporte	Origem do sedimento	Morfologia	Textura do sedimento
Fluviais	Tração, saltação e suspensão (acção paralela)	Alóctone com contribuição autóctone	Bancos e leitos fluviais em canais ativos; Bancos e terraços em canais abandonados	Ampla variação textural: argila a seixo
Gravitacionais	Abatimentos (queda livre)	Autóctone	Cones e pilhas irregulares, de tamanho variado, colapso de teto ou parede.	Grânulos a matacões
	Fluxo de detritos (corrida de lama)	Alóctone com contribuição autóctone	Cones, bancos e pilhas de sedimentos, muitas vezes preenchendo galeria.	Brechas matriz e clastossuportada

Além de informar a localização dos **depósitos sedimentares clásticos**, é importante também caracterizá-los, indicando sua origem – alóctone (Aloc.), autóctone (Aut.) e granulometria – argila (Arg), silte (Sil.), areia (Are.), cascalho (Cas.) e matacão (Mat. – e seu estado (ex. inconsolidado; Figura 5; GILLIESON, 1996; JENNINGS, 1971).



Figura 5. Depósitos clásticos inconsolidados alóctones preservados no interior de cavernas. Fotos: André Vasconcelos.

Outras ocorrências sedimentares de interesse paleontológico são os depósitos como brechas, solos carbonatados e paleopisos (Figura 2). Esses depósitos, que são formados pela precipitação de carbonatos em meio aos sedimentos clásticos (Figura 6), podem preservar fósseis de diferentes animais, como gastrópodes e vertebrados.



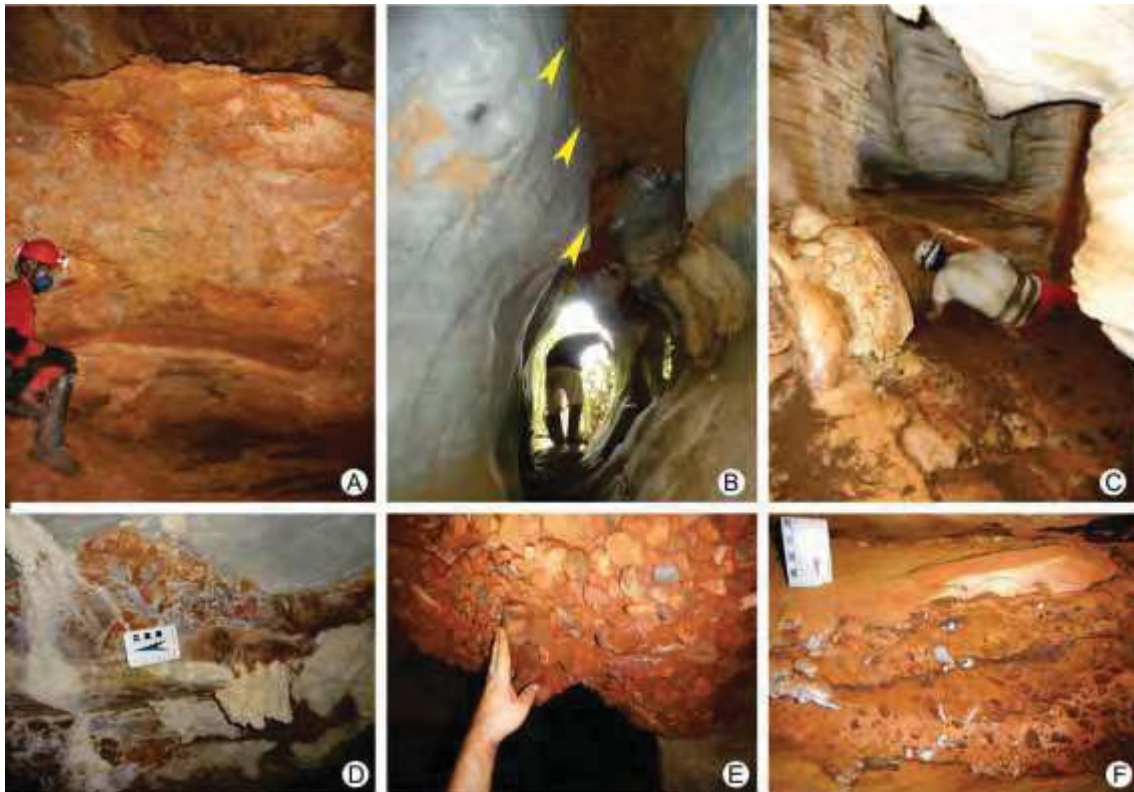


Figura 6. Depósitos de solo carbonatado preservados em diferentes locais na caverna: na parede (A), teto (setas; B) e sob um paleopiso (C). Fotos: André Vasconcelos (A,B,D-F) e Eduardo Haddad (C).

### Depósitos químicos

Os depósitos químicos são caracterizados pela sua gênese, que ocorre basicamente por processos de dissolução e precipitação de minerais. Tais depósitos são representados pelos mais variados tipos de espeleotemas (GILLIESON, 1996; JENNINGS, 1971).

Os depósitos químicos de maior interesse paleontológico, são aqueles encontrados no piso da caverna, devido à deposição dos fósseis ocorrer mais frequentemente neles, como escorrimentos e travertinos. No entanto existem exceções, como os fósseis encontrados nas paredes, ou preservados em fendas e canaliculos, que são feições onde pode ocorrer acúmulo de água e precipitação de minerais (PAULA COUTO, 1958a; VASCONCELOS, 2012; VASCONCELOS; BITTENCOURT, 2018).



Figura 7. Exemplos de depósitos químicos (travertinos) de interesse paleontológico. Em (B), o escalímetro com 150 mm de tamanho total. Fotos: André Vasconcelos.

### III. Organismos e restos orgânicos

O trabalho de varredura feito nas superfícies da caverna, para compor os relatórios ambientais, tem, como objetivos descrever os depósitos clásticos e químicos de interesse paleontológico e, principalmente, verificar a presença de fósseis ali encontrados (MINAS GERAIS, 2005; MMA, 2017). Assim, a terceira parte da ficha trata (Figura 8), especificamente, dos restos orgânicos – recentes e fósseis – preservados nesses ambientes (MINAS GERAIS, 2005; MMA, 2017). Os tópicos são divididos em, (i) ocorrência de animais vivos, (ii) restos recentes e (iii) restos fósseis (ou fossilizados; Figura 8).

3. ORGANISMOS E RESTOS ORGÂNICOS	
3.1. Organismos vivos	
Animais vivos <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> N.I. <input type="checkbox"/> Gastr. [ <input type="checkbox"/> Megalobulimidae <input type="checkbox"/> Pleurodontidae <input type="checkbox"/> Systrophiidae <input type="checkbox"/> Subulinidae <input type="checkbox"/> Outro]	
<input type="checkbox"/> Pq. Vert. <input type="checkbox"/> Md. Vert. <input type="checkbox"/> Gd. Vert.	
Localização (Gastr.): <input type="checkbox"/> Nas proximidades da(s) entrada(s) (porção externa) <input type="checkbox"/> Z. fótica <input type="checkbox"/> Z. disfótica <input type="checkbox"/> Z. afótica	
Localização (Vert.) <input type="checkbox"/> Nas proximidades da(s) entrada(s) (porção externa) <input type="checkbox"/> Z. fótica <input type="checkbox"/> Z. disfótica <input type="checkbox"/> Z. afótica	
Serapiheira <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> Sim (qte. _____ m <sup>2</sup> , localiz.) _____ <input type="checkbox"/> Guano <input type="checkbox"/> Fezes <input type="checkbox"/> Outros	
Carcaça de vertebrado. <input type="checkbox"/> Pq. Vert. <input type="checkbox"/> Md. Vert. <input type="checkbox"/> Gd. Vert.	
Possível modo de entrada (carcaça) <input type="checkbox"/> N.I. <input type="checkbox"/> Caminhando <input type="checkbox"/> Predador <input type="checkbox"/> Queda <input type="checkbox"/> Fluxo Hidr. ou <input type="checkbox"/> Gravit.	
3.2. RESTOS ORGÂNICOS - RECENTES	
Gastrópodes <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> N.I. Táxon: <input type="checkbox"/> Megalobulimidae <input type="checkbox"/> Pleurodontidae <input type="checkbox"/> Systrophiidae <input type="checkbox"/> Subulinidae <input type="checkbox"/> Outro.	
Vertebrados <input type="checkbox"/> N.I. <input type="checkbox"/> Pq. Vert. <input type="checkbox"/> Md. Vert. <input type="checkbox"/> Gd. Vert.	
LOCALIZAÇÃO	
<input type="checkbox"/> Fora <input type="checkbox"/> Z. fótica <input type="checkbox"/> Z. disfótica <input type="checkbox"/> Z. afótica	Esqueleto <input type="checkbox"/> 100-80% <input type="checkbox"/> 79-50% <input type="checkbox"/> 49-20% <input type="checkbox"/> 19-1%
<input type="checkbox"/> Piso <input type="checkbox"/> Outro	Estado do esqueleto <input type="checkbox"/> Resistente <input type="checkbox"/> Friável
<input type="checkbox"/> Totalm. exposto (90-100%) <input type="checkbox"/> Parcialmente	Táxon <input type="checkbox"/> N.I.
Possível modo de entrada <input type="checkbox"/> N.I. <input type="checkbox"/> Caminhando <input type="checkbox"/> Predador <input type="checkbox"/> Queda <input type="checkbox"/> Fluxo Hidr. ou <input type="checkbox"/> Gravit.	

Figura 8. Terceira parte da ficha, que trata dos restos orgânicos recentes da caverna.

Como várias das opções de resposta se aplicam a diferentes tópicos da ficha (ex. restos recentes e fósseis de vertebrados), para o conteúdo não ficar repetitivo, os mesmos serão abordados de maneira conjunta.

Restos, e determinados vestígios, de um organismo podem formar um depósito sedimentar orgânico (GILLIESON, 1996). Folhas, raízes, nidificações, fezes e esqueletos de vertebrados e invertebrados podem compor esse tipo de depósito em cavernas (CARTELLE, 2012; FERREIRA et al., 2010; GILLIESON, 1996; VASCONCELOS; BITTENCOURT, 2018). Para os trabalhos técnicos em paleontologia – independentemente da idade do depósito – é interessante assinalar a presença, além dos fósseis, dos restos e vestígios atuais, principalmente os que têm maiores chances de se preservar, como ossos e conchas (MINAS GERAIS, 2005). Esses dados podem ser utilizados em trabalhos futuros na caverna, como por exemplo, verificar se aqueles restos continuam na caverna e para comparar as modificações sofridas por eles ao longo do tempo.

Quanto à localização do organismo – ou de seus restos recentes ou fósseis – há opções para apontar sua ocorrência, nas proximidades da entrada (ainda na porção externa da caverna) e no seu interior, que caso o profissional não tenha o mapa da cavidade em mãos, pode indicar pelas zonas de luminosidade da caverna: fótica, disfótica e afótica ou mesmo pela distância do organismo da entrada (Figura 8; MOSELEY, 2010). Mas é importante ressaltar que tal indicação deve ser apontada posteriormente no mapa (MINAS GERAIS, 2005). Também há campos para preenchimento relativos à serapilheira (que pode ser estimada em m<sup>3</sup>; Figura 9), carcaças e fezes de vertebrados (Figura 8).



Figura 9. Material vegetal acumulado em diferentes estágios de decomposição, preservados no interior de cavernas. Fotos: André Vasconcelos.

Em relação ao material encontrado, seja fóssil ou não, é essencial que sua identificação seja indicada, preferencialmente, ao menor nível taxonômico possível. Há um tópico sobre isso na ficha. No caso dos gastrópodes, as opções para assinalar são as famílias mais recorrentes em cavernas (Megalobulimidae, Pleurodontidae, Systrophiidae e Subulinidae; Figura 10). Caso seja outra, basta descrevê-la nas observações (Figura 8; VASCONCELOS, 2012; VASCONCELOS; BITTENCOURT, 2018). Além dos gastrópodes fósseis, há um campo para indicar outros invertebrados fossilizados, como exoesqueletos de artrópodes (Figura 8; FERREIRA, 2010).



Figura 10. Espécies ainda viventes de gastrópodes terrestres comumente encontradas no registro fóssil, pertencentes às famílias (A) *Megalobulimidae* e (B) *Subulinidae*. Fotos: André Vasconcelos (A) e Lucas Rabelo (B).

Além das conchas de gastrópodes terrestres, muitas outras espécies viventes também são encontradas em abundância nos depósitos cavernícolas com sinais nítidos de mineralização. Dentre elas estão os restos de vertebrados, como de porcos-do-mato, tatus, cervídeos, roedores e morcegos ex. PURCINO, 2015; VASCONCELOS, 2016a; VASCONCELOS; CAMPELLO, 2016). A ocorrência de restos de animais domesticados fossilizados também é comum nas cavernas principalmente as situadas em áreas habitadas, como fazendas e roçados ex. MORATO, 2007; VASCONCELOS; BITTENCOURT, 2018).

De maneira oposta, restos de animais extintos também já foram encontrados sem sinais de fossilização (FERNANDES, 2019). Desta forma, caso os restos não apresentaram íntegras as características diagnósticas para sua identificação, torna-se difícil afirmar que se trata de um fóssil, uma vez que apresentar sinais de fossilização não são suficientes para a afirmação. Neste contexto, identificar um resto como recente ou fóssil não é uma tarefa difícil, quando, o material se encontra em bom estado, for coletado, encaminhado a uma coleção científica e/ou submetendo-o a datações absolutas (AULER et al., 2006; CZAPLEWSKI; CARTELLE, 1998; HUBBE et al., 2011a; KINOSHITA et al., 2017).

Porém, nos trabalhos de levantamento paleontológico, nenhum desses procedimentos são exigidos (MMA, 2017). Assim, a identificação do material encontrado é feita ainda dentro da caverna, ou posteriormente, por meio de fotografias (VASCONCELOS, 2016a, 2017b; VASCONCELOS; BITTENCOURT, 2018).

Desta forma, na prática, as únicas formas de afirmar se o resto encontrado se trata de um fóssil, é realizando datações – que é um método oneroso – ou identificando-o como um organismo extinto. E, para isso, além do material estar suficientemente exposto, no depósito cavernícola, para o reconhecimento da sua anatomia, ele também deve estar em bom estado, fato que não é comum nos achados (Figura 11). Muitas vezes, a exposição contínua na atmosfera da caverna, deteriora os restos, tornando-os friáveis ao ponto de se desintegrar com o toque.



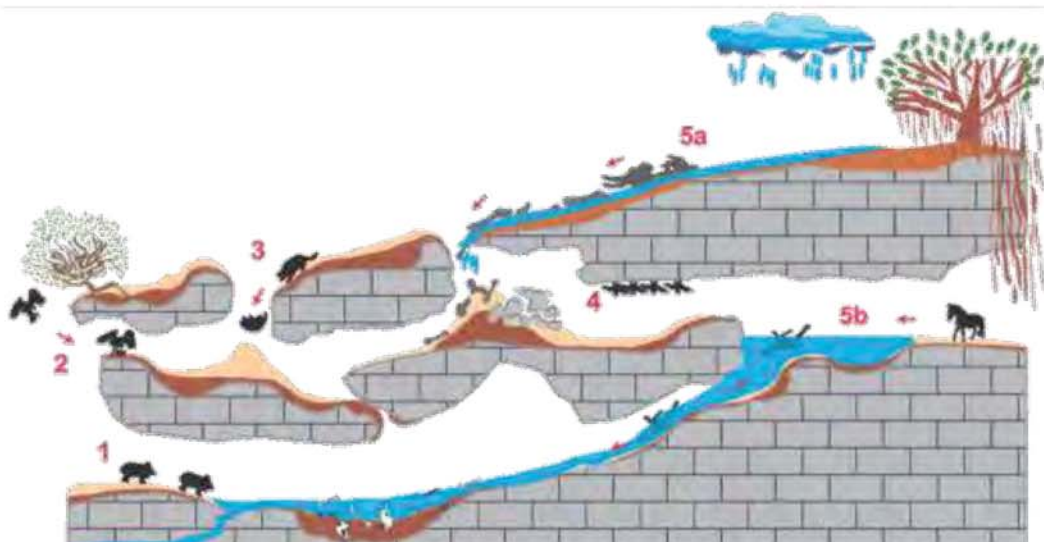
Figura 11. Fragmentos de ossos, não identificados, cimentados em brechas (A, C) e incrustado (B) não identificados. Escala: 350 mm. Fotos: André Vasconcelos.

Pelo fato de seu estado de preservação ser um dado relevante, na ficha há um campo para indicar o estado dos ossos encontrados (resistente ou friável), tanto recentes, quanto fósseis (Figura 8). Adicionalmente, também são solicitadas informações referentes à integridade do esqueleto (e dos ossos), que pode ser aferida a partir de sua resistência aparente (Figura 12) e/ou da sua porcentagem de preservação – em sua totalidade, seja do esqueleto como um todo ou somente de um osso verificado. As opções de resposta são, se o esqueleto, ou ossos, estão entre 100-80%, 79-50%, 49-20% ou 19-1% íntegros (Figura 8; SILVA, 2001). Isso é adotado tanto para os ossos recentes quanto para os fossilizados.



Figura 12. Fósseis friáveis de preguiças-terricolas, apresentando fissuras profundas e descamação: mandíbula (A), esqueleto (B) e osso longo (C). Escala 10 mm (A), 350 mm (B e C). Fotos: André Vasconcelos.

Também há um campo na ficha sobre a possível forma de entrada do vertebrado, ou de seus restos, na cavidade: entraram caminhando, levados por predadores, se sofreram queda acidental (entradas verticalizadas) ou levados por fluxos hidrológicos ou gravitacionais (Figura 8, Figura 13; LUND, 1836; SIMMS, 1994).



**Figura 13.** Hipóteses de entrada de vertebrados (ou de seus restos) nas cavernas: (1) à procura de água ou sal; (2) carregados por predadores; (3) queda através de fendas verticais; (4) à procura de abrigo (ex.: morcegos); (5a) levados por correntezas de água –somente os ossos; (5b) levados por correntezas de água – como carcaças.

No ambiente cavernícola, restos de vertebrados são encontrados, na maioria das vezes, desarticulados (ossos isolados) e em estado avançado de fragmentação (CASTRO; LANGER, 2008; CHAHUD, 2001; KRAEMER, 2008; KRAEMER et al., 2018; MAYER; HUBBE; NEVES, 2009; VASCONCELOS; MEYER; CAMPELLO, 2015). Isso impede que eles sejam identificados quanto à posição sua anatômica e à sua taxonomia (LUND, 1836; PAULA COUTO, 1958b). Assim, apenas é possível inferir feições gerais, como o porte do animal, que pode ser classificado em pequeno (Pq. Vert.; < 5 Kg), médio (Md. Vert.; >5 Kg e < 44 Kg) e grande vertebrado (Gd. Vert.; > 44 Kg; (ALCOVER; SANS; PALMER, 1998).

Especificamente em relação aos fósseis, indicar o processo de fossilização sofrido, que pode ser por substituição, incrustação, cimentado em depósitos clásticos e/ou mumificados, por exemplo. Há também a fossilização dos vestígios, sendo os mais comuns a preservação por impressão e molde; Figura 16; (PROTHERO, 2013; VASCONCELOS; KRAEMER; MEYER, 2018). qualquer resto orgânico dentro da caverna, em teoria, está sujeito a sofrer esses processos.

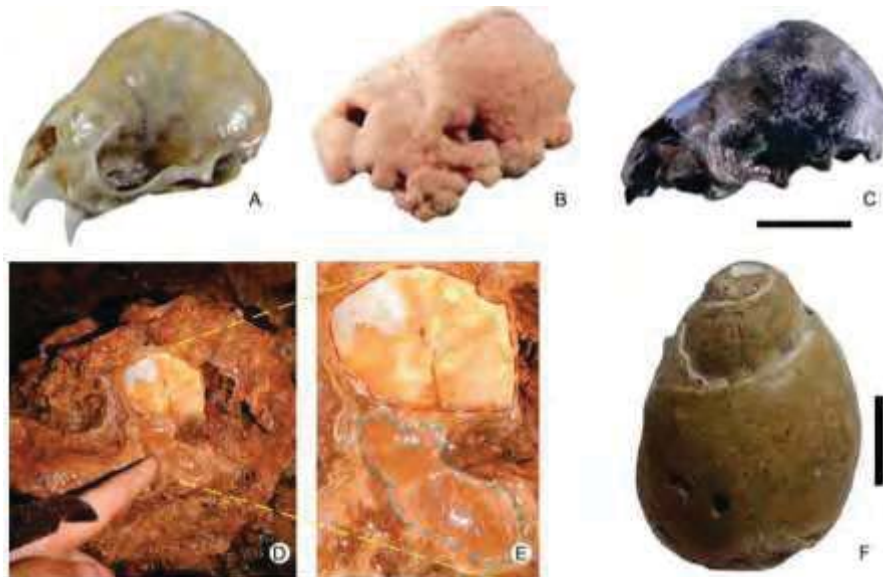


Figura 14. Crânios de morcegos em diferentes estados, sendo não fossilizado e fossilizados por incrustação (B) e aparentemente por substituição (C). Conchas preservadas por cimentação (vermelho), impressão (azul) e molde interno (F). Crânios depositados na Coleção Laboratório de Paleontologia do Museu de Ciências Naturais PUC Minas. Escala: 10 mm (A-C, F).

Restos e vestígios orgânicos não são os únicos fósseis encontrados em cavernas. Enquanto eles são reportados para os depósitos sedimentares secundários, outros fósseis podem estar preservados na rocha onde a cavidade se desenvolveu. Esses fósseis podem ser localizados nas paredes, piso e teto da cavidade (SANTUCCI; KENWORTHY; KERBO, 2001; VASCONCELOS et al., 2020; ZOGBI et al., 2017). Destes, os mais comuns de serem encontrados em cavernas brasileiras são os microbialitos, representados pelos estromatólitos (Figura 15).

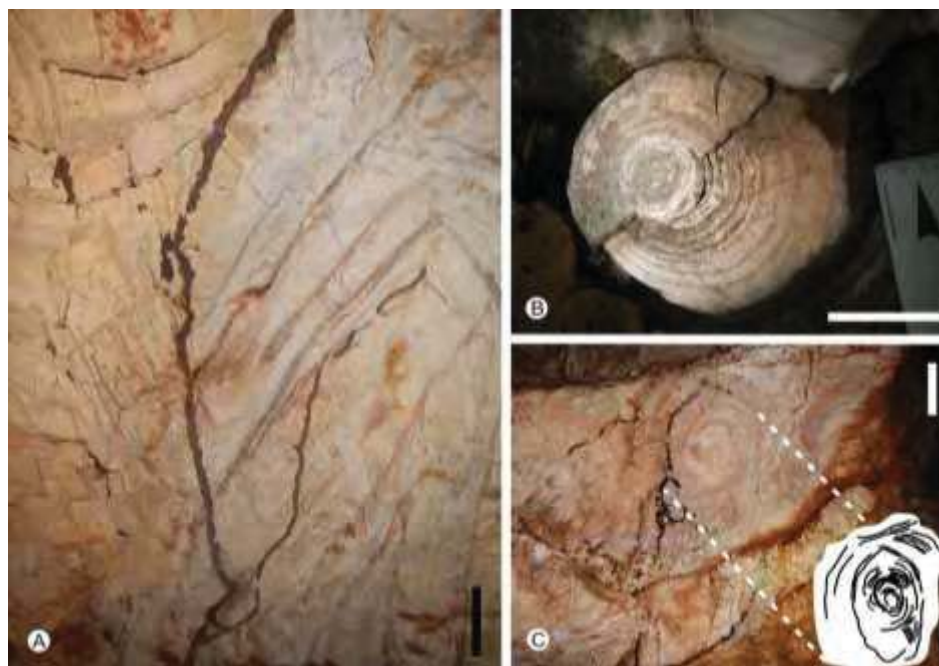


Figura 15. Estromatólitos preservados no interior de cavernas na região de Vazante (MG), sendo coluna em corte longitudinal (A) e em corte transversal. Escala: (A e C) 100 mm e (B) 50 mm. Fotos: André Vasconcelos.

Assim, há também uma seção na ficha exclusiva para fazer uma breve descrição sobre esses vestígios, como informar a sua localização, a forma de sua exposição (seções longitudinal, transversal ou mista) e a preservação aparente (resistente ou frável; Figura 16).

3.2. FÓSSEIS E ASSOCIAÇÕES - INVERTEBRADOS	
MICROBIALITO	<input type="checkbox"/> N.O. Sim / Localização <input type="checkbox"/> Fora <input type="checkbox"/> Piso <input type="checkbox"/> Parede <input type="checkbox"/> Teto
Seção	<input type="checkbox"/> Longitudinal <input type="checkbox"/> Transversal <input type="checkbox"/> Mista / Estado <input type="checkbox"/> Resistente <input type="checkbox"/> Frável
GASTRÓPODES	
<input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> N.; Taxon: <input type="checkbox"/> Megalobulimidae <input type="checkbox"/> Pleurodromidae <input type="checkbox"/> Systrophidae <input type="checkbox"/> Subulinidae <input type="checkbox"/> Outro	
Localização	<input type="checkbox"/> Fora <input type="checkbox"/> Z. fótica <input type="checkbox"/> Z. abiótica <input type="checkbox"/> Z. afótica
Outros invertebrados	
<input type="checkbox"/> Piso <input type="checkbox"/> Parede <input type="checkbox"/> Teto / <input type="checkbox"/> Parcial, soterrado/incrustado:	
Tipo de fósseis <input type="checkbox"/> Incrust. <input type="checkbox"/> Osmil. <input type="checkbox"/> Impres./Másc. <input type="checkbox"/> Outro:	
3.3. FÓSSEIS E ASSOCIAÇÕES - VERTEBRADOS	
Onde de depósitos	<input type="checkbox"/> N.O.
Tipo <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> Pq. Vert. <input type="checkbox"/> ME. Vert. <input type="checkbox"/> Ed. Vert.	
LOCALIZAÇÃO	Esqueleto <input type="checkbox"/> 100-30% <input type="checkbox"/> 29-50% <input type="checkbox"/> 49-20% <input type="checkbox"/> 19-1%
<input type="checkbox"/> Nas proximidades da entrada (porção externa)	Estado do esqueleto <input type="checkbox"/> Resistente <input type="checkbox"/> Frável
<input type="checkbox"/> Piso <input type="checkbox"/> Parede <input type="checkbox"/> Teto	Taxon <input type="checkbox"/> N.O.
<input type="checkbox"/> Totalmente exposta (90-100%)	
<input type="checkbox"/> Parcialmente (soterrado/incrustado)	
Tipos de fossilização aparente <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> Subit. <input type="checkbox"/> Incrust. <input type="checkbox"/> Perimanar. <input type="checkbox"/> Mumif. <input type="checkbox"/> Outro:	
Possível modo de entrada <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> Camionando <input type="checkbox"/> Predador <input type="checkbox"/> Quebra <input type="checkbox"/> Fluxo Hid. ou <input type="checkbox"/> Grav.	
Isotópicos <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> N.O. Identificação:	Marcas de escavação <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> Sim
Pseudofósseis <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> N.O. Identificação:	Valor científico e/ou didático <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim

Figura 16. Porção da ficha de campo destinada ao preenchimento relativo aos restos fósseis e associações.

Da mesma forma em que há relatos de restos fossilizados, há também os icnitos (recentes ou fósseis; Figura 17), como vestígios de vertebrados e tubos e ninhos de insetos (BITTENCOURT; VASCONCELOS; BUCHMANN, 2015; BUCHMANN et al., 2016; MOREAU et al., 2019; VASCONCELOS; BITTENCOURT, 2018; VASCONCELOS; BITTENCOURT; AULER, 2019). Nas cavernas também há pseudofósseis preservados em seu interior. Também não são incomuns de serem encontradas marcas associadas a algum tipo de escavação antrópica, que podem não ter associação com atividades paleontológicas (Figura 18; VASCONCELOS, 2016a; VASCONCELOS et al., 2020; VASCONCELOS; BITTENCOURT, 2018). Assim, a porção final da ficha é destinada a essas feições, assim como a indicação se a caverna apresenta provável valor científico/didático (Figura 16).



Figura 17. Vestígios produzidos por mamíferos, preservados nas paredes de cavernas. Escala 10 mm. Retirado de VASCONCELOS; BITTENCOURT; AULER (2019).





Figura 18. Marcas de escavações encontradas em cavernas que podem estar associadas a outras atividades, além da coleta de fósseis. Fotos: André Vasconcelos (A, C) e Marcos Britto (B).

## A IMPORTÂNCIA DO ACESSO AOS TRABALHOS TÉCNICOS

Atualmente, uma das melhores ferramentas para acessar dados em cavernas é através dos estudos ambientais. Isso porque o acesso a áreas com cavernas no Brasil está cada vez mais restrito. A grande maioria das empresas – principalmente com empreendimentos em regiões calcárias e ferríferas – não autoriza o acesso às cavernas em suas áreas para a execução de pesquisas, excetuando as áreas de proteção ambiental. Isso ocorre principalmente quando a área já foi alvo de estudos de impacto ambiental e tiveram uma resposta favorável ao avanço do empreendimento. Com isso, pela carência de cavernas para o estudo, o desenvolvimento e aplicação de novos métodos de trabalho ficam limitados.

Neste cenário, é por isso que os estudos técnicos têm um importante papel. Em trabalhos de fácil acesso, é possível verificar que esses estudos são uma ótima forma de obter novos dados. Por isso a importância em sistematizar a coleta de dados, assim como a apresentação dos resultados, de certa forma, padronizados.

Porém, todas as propostas sugeridas neste trabalho, poderão ser aplicadas apenas a partir do momento em que os órgãos ambientais desburocratizarem o acesso aos relatórios técnicos protocolados.

## ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

A ficha foi elaborada para a aplicação em cavidades de pequeno e médio volume. Também foi satisfatória para cavidades muito volumosas, mas com poucas características relevantes para a paleontologia. Em cavernas extensas e com um rico potencial paleontológico, ela se mostrou limitada. Uma caverna com elevada quantidade de feições de interesse paleontológico, exige o uso de mais de uma ficha (VASCONCELOS, 2016a, 2017b, 2018, 2019; VASCONCELOS; BITTENCOURT; AULER, 2019).

Recomenda-se o uso de mais de uma ficha para cavernas com um elevado número de feições de interesse paleontológico. É importante frisar, que salvo algumas exceções, os fósseis podem ser resgatados da cavidade, caso haja algum tipo de embargo para sua supressão. Assim, o registro paleontológico não é entendido como de máxima relevância. Na IN-02/2017 (MMA, 2017) é informado que, em momento anterior a qualquer impacto negativo irreversível deverá ser feito a coleta de restos da cavidade a ser suprimida, que inclui também o transporte e a destinação do material a coleções científicas institucionais (MMA, 2017).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos atuais que são adotados durante o diagnóstico paleontológico de cavernas, para compor relatórios ambientais, não são detalhados. Assim, além de serem coletadas poucas informações, elas são discutidas de maneira superficial. Neste sentido, neste trabalho foi proposto a adoção de uma ficha de campo padrão para a realização desses trabalhos. Nela, além dos dados já solicitados pelos órgãos ambientais, são solicitados outros pontos, julgados como necessários para o refinamento desse tipo de trabalho. O propósito disso é fazer com que haja uma similaridade entre os métodos e resultados dos trabalhos executados, para que possa ser possível compará-los. Da mesma forma, os relatórios técnicos podem ser uma importante fonte de dados para o desenvolvimento de pesquisas paleontológicas em cavernas. Mas para isso, o órgão ambiental deve simplificar o acesso a eles.

Uma vez feito isso, torna-se possível a tomada de decisões mais concretas sobre o potencial paleontológico de uma determinada região. Sabe-se que essa padronização de coleta de dados é factível, pois, mesmo com suas deficiências, ela é aplicada em outros tipos de trabalhos que compõe a valoração das cavidades, como por exemplo, na bioespeleologia e na geoespeleologia. Uma vez implantado, esse método poderá fornecer dados suficientes para o melhor entendimento da forma de ocorrência dos fósseis em cavernas do Brasil.

## ANEXOS

1. FICHA DE CAMPO
2. IES que possuem Paleontologia na grade de cursos e quais abordam legislação sobre o patrimônio paleontológico brasileiro

FICHA DE DIAGNÓSTICO PALEONTOLÓGICO DE CAVIDADES NATURAIS						
<b>1. DADOS GERAIS – ÁREA DE ESTUDO</b>						
Cavidade	Ponto GPS	DADOS GPS			Data	Empresa
		DATUM	Alt. m.	Erro GPS ± m.	Fotos	
Localização		E	m.	N	m.	
<b>2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA CAVIDADE</b>						
Localização da entrada principal	Qtde. de entradas	Morfologia geral da cavidade (planta baixa)			Desenvol. m.	Desnível m.
	<b>2.1. DEPÓSITOS</b>					OBSERVAÇÕES
Presença de feições como <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> Carabola <input type="checkbox"/> Sumidouro	Clásticos <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> Alóc. <input type="checkbox"/> Aut. / <input type="checkbox"/> Arg. <input type="checkbox"/> Sil. <input type="checkbox"/> Are. <input type="checkbox"/> Cas. <input type="checkbox"/> Mat. <input type="checkbox"/> Brecha <input type="checkbox"/> Solo carbonat. <input type="checkbox"/> Paleopiso <input type="checkbox"/> Outros:					
Orenagem <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> Efêmera <input type="checkbox"/> Perene	Oulmicos <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> Sim Tipos de depósitos:					
<b>3. ORGANISMOS E RESTOS ORGÂNICOS</b>						
<b>3.1. Organismos vivos</b>					Táxons (vertebrados)	
Animais vivos <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> N.I. <input type="checkbox"/> Gastr. [ <input type="checkbox"/> Megalobulimidae <input type="checkbox"/> Pleurodontidae <input type="checkbox"/> Systrophilidae <input type="checkbox"/> Subulinidae <input type="checkbox"/> Outro] <input type="checkbox"/> Pq. Vert. <input type="checkbox"/> Md. Vert. <input type="checkbox"/> Gd. Vert.						
Localização (Gastr): <input type="checkbox"/> Nas proximidades da(s) entrada(s) (porção externa) <input type="checkbox"/> Z. fótica <input type="checkbox"/> Z. disfótica <input type="checkbox"/> Z. afótica						
Localização (Vert.): <input type="checkbox"/> Nas proximidades da(s) entrada(s) (porção externa) <input type="checkbox"/> Z. fótica <input type="checkbox"/> Z. disfótica <input type="checkbox"/> Z. afótica						
Serapilheira <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> Sim (qte. m <sup>2</sup> , localiz.) _____ <input type="checkbox"/> Guano <input type="checkbox"/> Fezes <input type="checkbox"/> Outros						
Carcaça de vertebrado. <input type="checkbox"/> Pq. Vert. <input type="checkbox"/> Md. Vert. <input type="checkbox"/> Gd. Vert.						
Possível modo de entrada (carcaça) <input type="checkbox"/> N.I. <input type="checkbox"/> Caminhando <input type="checkbox"/> Predador <input type="checkbox"/> Queda <input type="checkbox"/> Fluxo Hidr. ou <input type="checkbox"/> Gravit.						
<b>3.2. RESTOS ORGÂNICOS - RECENTES</b>					Táxons (vertebrados)	
Gastrópodes <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> N.I. Táxon: [ <input type="checkbox"/> Megalobulimidae <input type="checkbox"/> Pleurodontidae <input type="checkbox"/> Systrophilidae <input type="checkbox"/> Subulinidae <input type="checkbox"/> Outro]						
Vertebrados <input type="checkbox"/> N.I. <input type="checkbox"/> Pq. Vert. <input type="checkbox"/> Md. Vert. <input type="checkbox"/> Gd. Vert.						
<b>LOCALIZAÇÃO</b>		Esqueleto <input type="checkbox"/> 100-80% <input type="checkbox"/> 79-50% <input type="checkbox"/> 49-20% <input type="checkbox"/> 19-1%				
<input type="checkbox"/> Fora <input type="checkbox"/> Z. fótica <input type="checkbox"/> Z. disfótica <input type="checkbox"/> Z. afótica		Estado do esqueleto <input type="checkbox"/> Resistente <input type="checkbox"/> Friável				
<input type="checkbox"/> Piso <input type="checkbox"/> Outro		Táxon <input type="checkbox"/> N.I.				
<input type="checkbox"/> Totalm. exposto (90-100%) <input type="checkbox"/> Parcialmente						
Possível modo de entrada <input type="checkbox"/> N.I. <input type="checkbox"/> Caminhando <input type="checkbox"/> Predador <input type="checkbox"/> Queda <input type="checkbox"/> Fluxo Hidr. ou <input type="checkbox"/> Gravit.						
<b>3.3. FÓSSEIS E ASSOCIAÇÕES - INVERTEBRADOS</b>					Táxons (vertebrados)	
<b>MICROBIALITO</b>	<input type="checkbox"/> N.O. Sim / Localização <input type="checkbox"/> Fora <input type="checkbox"/> Piso <input type="checkbox"/> Parede <input type="checkbox"/> Teto					
Seção <input type="checkbox"/> Longitudinal <input type="checkbox"/> Transversal <input type="checkbox"/> Mista / Estado <input type="checkbox"/> Resistente <input type="checkbox"/> Friável						
<b>GASTRÓPODES</b>						
<input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> N.I. Táxon: [ <input type="checkbox"/> Megalobulimidae <input type="checkbox"/> Pleurodontidae <input type="checkbox"/> Systrophilidae <input type="checkbox"/> Subulinidae <input type="checkbox"/> Outro]						
Localização <input type="checkbox"/> Fora <input type="checkbox"/> Z. fótica <input type="checkbox"/> Z. disfótica <input type="checkbox"/> Z. afótica		<b>Outros invertebrados</b>				
<input type="checkbox"/> Piso <input type="checkbox"/> Parede <input type="checkbox"/> Teto / <input type="checkbox"/> Parcial. Soterrado/incrustado						
Tipo de fossiliz <input type="checkbox"/> Incrust. <input type="checkbox"/> Ciment. <input type="checkbox"/> Impres./Molde <input type="checkbox"/> Outro						
<b>3.3. FÓSSEIS E ASSOCIAÇÕES - VERTEBRADOS</b>					Táxons (vertebrados)	
Qte de depósitos <input type="checkbox"/> N.O.	Tipo <input type="checkbox"/> N.I. <input type="checkbox"/> Pq. Vert. <input type="checkbox"/> Md. Vert. <input type="checkbox"/> Gd. Vert.					
<b>LOCALIZAÇÃO</b>		Esqueleto <input type="checkbox"/> 100-80% <input type="checkbox"/> 79-50% <input type="checkbox"/> 49-20% <input type="checkbox"/> 19-1%				
<input type="checkbox"/> Nas proximidades da entrada (porção externa)		Estado do esqueleto <input type="checkbox"/> Resistente <input type="checkbox"/> Friável				
<input type="checkbox"/> Piso <input type="checkbox"/> Parede <input type="checkbox"/> Teto		Táxon <input type="checkbox"/> N.I.				
<input type="checkbox"/> Totalmente exposto (90-100%)						
<input type="checkbox"/> Parcialmente (Soterrado/incrustado)						
Tipos de fossilização aparente <input type="checkbox"/> N.I. <input type="checkbox"/> Subst. <input type="checkbox"/> Incrust. <input type="checkbox"/> Permineral. <input type="checkbox"/> Mamific. <input type="checkbox"/> Outro:						
Possível modo de entrada <input type="checkbox"/> N.I. <input type="checkbox"/> Caminhando <input type="checkbox"/> Predador <input type="checkbox"/> Queda <input type="checkbox"/> Fluxo Hidr. ou <input type="checkbox"/> Gravit.						
Icnofósseis <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> N.I. [ <input type="checkbox"/> N.I. identificação _____]					Marcas de escavação <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> Sim	
Pseudofósseis <input type="checkbox"/> N.O. <input type="checkbox"/> Sim [ <input type="checkbox"/> N.I. identificação _____]					Valor científico e/ou didático <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	

## Cursos superiores que possuem a disciplina de Paleontologia e que abordam sobre legislação sobre o patrimônio paleontológico brasileiro

Curso	Disciplina	Ano/semestre	Instituição	Possui uma disciplina "Paleontologia" ou ela está associada a outra?	Aborda Legislação (relativo a Paleont.)
Eng. Geológica	Paleontologia I	2018/2	Universidade Federal de Ouro Preto	Sim	Sim
Eng. Geológica	Paleontologia II	2018/2	Universidade Federal de Ouro Preto	Sim	Não
Eng. Geológica	Geologia Histórica e Paleontologia Geral	2018/2	Universidade federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri	associada	Não
C. Biológicas	Paleontologia Geral	2018/2	Centro Universitário de Belo Horizonte	Sim	Não
C. Biológicas	Paleontologia Geral	2018/2	Centro Universitário de Belo Horizonte	sim	não
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2018/2	Centro Universitário Newton Paiva	associada	não
C. Biológicas	Geologia, Paleontologia e Biogeografia	2018/2	Centro Universitário UNA	associada	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Faculdade de Ciências da Saude de São Paulo	sim	não consta
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2018/2	Faculdade Pitagoras	associada	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/1	PUC Campinas	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	PUC Goiás	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	PUC MG	sim	não
C. Biológicas	Geomorfologia e suas Inter-relações Ecológicas	2018/2	PUC PR	associada	sim
C. Biológicas	Não tem a materia	2018/1	PUC RJ	não	não
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2018/1	PUC RS	associada	não
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2018/2	UnigranNet	associada	não
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2018/1	Universidade Anhembí Morumbi	associada	não consta
C. Biológicas	Fundamentos de Geologia e Paleontologia	2018/2	Universidade Católica de Brasília	associada	não

Curso	Disciplina	Ano/semestre	Instituição	Possui uma disciplina "Paleontologia" ou ela está associada a outra?	Aborda Legislação (relativo a Paleont.)
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade Católica de Pernambuco	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2014/2	Universidade Católica de Santos	sim	não
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2018/2	Universidade Católica Dom Bosco	associada	não
C. Biológicas	Fundamentos de Geologia e Paleontologia	2014/2	Universidade Católica do Salvador Universidade Comunitária Regional de Chapecó	associada	não
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2018/2		associada	não
C. Biológicas	Não tem a materia	2018/2	Universidade Cruzeiro do Sul	não	não consta
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2018/1	Universidade da Amazônia Universidade da Região da Campanha	associada	não
C. Biológicas	Geopaleontologia	2018/2		associada	não
C. Biológicas	Não tem a materia	2018/1	Universidade da Região de Joinville	não	não consta
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade de Araraquara	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia e Paleoeecologia	2018/2	Universidade de Caxias do Sul	associada	Não
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2018/2	Universidade de Cuiabá	associada	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/1	Universidade de Franca	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade de Mogi das Cruzes	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/1	Universidade de Passo Fundo	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2019/1	Universidade de Rio Preto	sim	não consta
C. Biológicas	Paleontologia	2018/1	Universidade de Santa Cruz do Sul	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade de Santo Amaro	sim	não consta
C. Biológicas	Fundamentos de Geologia e Paleontologia	2019/1	Universidade de São Paulo	associada	não
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2014/1	Universidade de Sotocaba	associada	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade de Taubaté	sim	não consta

Curso	Disciplina	Ano/semestre	Instituição	Possui uma disciplina "Paleontologia" ou ela está associada a outra?	Aborda Legislação (relativo a Paleont.)
C. Biológicas	Paleontologia	2013/1	Universidade de Uberaba	sim	sim
C. Biológicas	Paleontologia	2016/1	Universidade do Contestado	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/1	Universidade do Estado da Bahia	sim	sim
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2018/1	Universidade do Estado de Minas Gerais	associada	não
C. Biológicas	Não tem a materia	2018/1	Universidade do Estado de Santa Catarina	não	não consta
C. Biológicas	GEOLOGIA E PALEONTOLOGIA	2015/1	Universidade do Estado do Amazonas	associada	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/1	Universidade do estado do Mato Grosso	sim	sim
C. Biológicas	Paleontologia	2018/1	Universidade do Estado do Rio de Janeiro	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/1	Universidade do Estado do Rio Grande do Norte	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade do Oeste Paulista	sim	não
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2016/2	Universidade do Sagrado Coração	associada	não
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2011/2	Universidade dos Grandes Lagos	associada	não consta
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade do Sul de Santa Catarina	sim	não
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2018/1	Universidade do Vale do Itajaí	sim	sim
C. Biológicas	Paleontologia	2018/1	Universidade do Vale do Paraíba	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade do Vale do Rio dos Sinos	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade do Vale do Rio dos Sinos	sim	não
C. Biológicas	Não tem a materia	2018/2	Universidade do Vale do Sapucaí	não	não consta
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade Estácio de Sá	sim	não
C. Biológicas	Elementos de Geologia	2012/2	Universidade Estadual de Alagoas	não	não

Curso	Disciplina	Ano/semestre	Instituição	Possui uma disciplina "Paleontologia" ou ela está associada a outra?	Aborda Legislação (relativo a Paleont.)
C. Biológicas	não consta	2018/1	Universidade Estadual de Feira de Santana	não consta	não consta
C. Biológicas	Paleontologia	2018/1	Universidade estadual de Goiás	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2015/1	Universidade Estadual de Londrina	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/1	Universidade Estadual de Maringá	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia (eletiva)	2018/1	Universidade Estadual de Montes Claros	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2017/2	Universidade Estadual de Ponta Grossa	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2015/1	Universidade Estadual de Roraima	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2010/2	Universidade Estadual de Santa Cruz	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia Basica	2006/2	Universidade Estadual do Ceará	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/1	Universidade Estadual do Maranhão	sim	não consta
C. Biológicas	Fundamentos de Paleontologia	2016/1	Universidade estadual do mato Grosso do Sul	sim	não
C. Biológicas	Não tem a materia	2018/1	Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro	não	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade Estadual do Paraná	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2013/1	Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia	sim	não
C. Biológicas	Paleoecologia	2013/1	Universidade federal da Bahia	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade federal da Fronteira Sul	sim	Não
C. Biológicas	Paleontologia	2017/1	Universidade federal da Grande Dourados	sim	não
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2018/2	Universidade Federal da Lusofonia Afro-Brasileira	associada	não
C. Biológicas	Fundamentos de Geologia e Paleontologia	2018/1	Universidade federal de Alagoas	associada	Não

Curso	Disciplina	Ano/semestre	Instituição	Possui uma disciplina "Paleontologia" ou ela está associada a outra?	Aborda Legislação (relativo a Paleont.)
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade federal de Alfenas	sim	Não
C. Biológicas	História Natural da Terra	2018/1	Universidade federal de Brasília	sim	não
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2017/1	Universidade federal de Catalão	sim	não
C. Biológicas	Paleobiologia	2017/1	Universidade federal de Goiás	sim	sim
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2018/2	Universidade federal de Itajubá	associada	Não
C. Biológicas	Elementos de Geologia e Paleontologia	2018/2	Universidade federal de Juiz de Fora	associada	Não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade federal de Lavras	sim	Não
C. Biológicas	Paleobiologia	2018/1	Universidade federal de Mato Grosso	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/1	Universidade federal de Mato Grosso do Sul	Sim	não
C. Biológicas	Paleontologia Geral	2018/2	Universidade Federal de Ouro Preto	Sim	Sim
C. Biológicas	Elementos de Paleontologia	2018/2	Universidade federal de Pelotas	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia Geral	2013/2	Universidade federal de Pernambuco	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2015/1	Universidade federal de Rondônia	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/1	Universidade federal de Roraima	sim	não
C. Biológicas	Não tem a materia	2018/2	Universidade federal de Santa Catarina	não	não
C. Biológicas	Paleontologia	2013/2	Universidade federal de Santa Maria	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2015/2	Universidade federal de São Carlos	sim	Não
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2015/2	Universidade federal de São Carlos Outro campus	associada	Não
C. Biológicas	não consta	Não consta ementa	Universidade federal de São João del-Rei	não consta	não consta
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade federal de São Paulo	sim	Não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade federal de Sergipe	sim	Não



Curso	Disciplina	Ano/semestre	Instituição	Possui uma disciplina "Paleontologia" ou ela está associada a outra?	Aborda Legislação (relativo a Paleont.)
C. Biológicas	Introdução a Paleontologia	2018/2	Universidade federal de Sergipe	sim	Não
C. Biológicas	Paleontologia Geral	2018/2	Universidade federal de Sergipe	sim	Não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade federal de Uberlândia	sim	Não
C. Biológicas	História Natural da Terra e Paleontologia	Não consta ementa	Universidade Federal de Viçosa	associada	Não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade federal do Acre	sim	Não
C. Biológicas	Direito ambiental	2015/1	Universidade federal do Amapá	não	sim
C. Biológicas	Fundamentos de Geologia	2012/1	Universidade federal do Amazonas	associada	não
C. Biológicas	Paleontologia (optativa)	2014/1	Universidade federal do Ceará	sim	não
C. Biológicas	Paleobiologia	2006/2	Universidade federal do Espírito Santo	sim	não
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia I	2016/2	Universidade federal do Estado do Rio de Janeiro	sim	sim
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia II	2016/2	Universidade federal do Estado do Rio de Janeiro	sim	sim
C. Biológicas	Paleobiologia	2016/2	Universidade federal do Estado do Rio de Janeiro	sim	não
C. Biológicas	não consta	2018/1	Universidade Federal do Maranhão	não consta	não consta
C. Biológicas	Geologia geral e Paleontologia	2006/2	Universidade federal do oeste do Pará	associada	não
C. Biológicas	Paleontologia Geral	2014/1	Universidade federal do Pampa	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2012/1	Universidade Federal do Paraná	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia (optativa)	2012/2	Universidade Federal do Piauí	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade Federal do Recôncavo da Bahia	sim	não
C. Biológicas	Paleoecologia I	2014/1	Universidade federal do Rio de Janeiro	sim	Sim
C. Biológicas	Paleoecologia II	2014/1	Universidade federal do Rio de Janeiro	sim	Sim

Curso	Disciplina	Ano/semestre	Instituição	Possui uma disciplina "Paleontologia" ou ela está associada a outra?	Aborda Legislação (relativo a Paleont.)
C. Biológicas	Paleontologia de Vertebrados	2014/1	Universidade federal do Rio de Janeiro	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia de Invertebrados	2014/1	Universidade federal do Rio de Janeiro	sim	não
C. Biológicas	Introd. Geologia e Paleontologia	2014/1	Universidade federal do Rio de Janeiro	sim	sim
C. Biológicas	Paleontologia	2015/2	Universidade federal do Rio Grande	sim	não
C. Biológicas	Fundamentos de Paleontologia	2013/1	Universidade Federal do Rio Grande do Norte	sim	não
C. Biológicas	PALEONTOLOGIA APLICADA À BIOLOGIA	2018/2	Universidade federal do Rio Grande do Sul	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2017/2	Universidade federal do sul da Bahia	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2017/1	Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará	sim	sim
C. Biológicas	Fundamentos de Geologia e Paleontologia	2018/2	Universidade federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri	associada	Não
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2018/2	Universidade federal do Tocantins	associada	Não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade federal do Triângulo Mineiro	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia de Vertebrados	2018/2	Universidade federal do Triângulo Mineiro	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia regional	2018/2	Universidade federal do Triângulo Mineiro	sim	sim
C. Biológicas	Elementos de Geologia e Paleontologia	2018/2	Universidade federal Fluminense	associada	não
C. Biológicas	Paleontologia	2008/1	Universidade Federal Rural de Pernambuco	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia Basica	2017/1	Universidade federal Rural do Rio de Janeiro	sim	não consta
C. Biológicas	Paleontologia	2015/2	Universidade Feevale	sim	não

Curso	Disciplina	Ano/semestre	Instituição	Possui uma disciplina "Paleontologia" ou ela está associada a outra?	Aborda Legislação (relativo a Paleont.)
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2018/2	Universidade Guarulhos	associada	sim
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2018/1	Universidade Ibirapuera	associada	não consta
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade Iguazu	sim	não
C. Biológicas	Geologia Histórica e Paleontologia	2017/1	Universidade Luterana do Brasil	associada	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade Metodista de Piracicaba	sim	não consta
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2017/1	Universidade Metodista de São Paulo	associada	não
C. Biológicas	não consta	2018/2	Universidade Paranaense	não consta	não consta
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2018/2	Universidade Paulista	associada	não
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2018/2	Universidade Potiguar	associada	não consta
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade Presbiteriana Mackenzie	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/1	Universidade Regional do Cariri	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul	sim	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade Santa Cecília	sim	não consta
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2018/2	Universidade Santa Úrsula	associada	não
C. Biológicas	Geologia, Paleontologia e Biogeografia	2018/2	Universidade São Judas Tadeu	associada	não
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2018/1	Universidade Tiradentes	associada	não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade Vila Velha	sim	sim
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2018/2	Unopar	associada	não
C. Biológicas	Paleobiologia	2018/2	Universidade federal da Paraíba	sim	Não
C. Biológicas	Paleontologia	2018/2	Universidade Federal de Minas Gerais	Sim	Não

Curso	Disciplina	Ano/semestre	Instituição	Possui uma disciplina "Paleontologia" ou ela está associada a outra?	Aborda Legislação (relativo a Paleont.)
C. Biológicas	Geologia e Paleontologia	2009/2	Universidade federal do ABC	associada	não
Ciências Naturais	Introdução a Geociências	2018/1	Universidade do Estado do Amapá	associada	não
Geologia	Paleobiologia	2018/2	Universidade federal da Paraíba	sim	Não
Geologia	Paleontologia	2018/2	Universidade Federal de Minas Gerais	Sim	Não
Geologia	Geologia e Paleontologia	2009/2	Universidade federal do ABC	associada	não
Geologia	Paleontologia Geral	2018/3	Centro Universitário de Belo Horizonte	Sim	Não
Geologia	Paleontologia	2019/1	Universidade de São Paulo	sim	não
Geologia	Paleontologia	2016/1	Universidade federal de Brasília	sim	não
Geologia	Paleontologia Geral	2013/2	Universidade federal de Pernambuco	sim	não
Geologia	Paleontologia	2018/1	Universidade federal de Roraima	sim	não
Geologia	Paleontologia I	2018/2	Universidade federal de Uberlândia	sim	Não
Geologia	Paleontologia II	2018/2	Universidade federal de Uberlândia	sim	Sim
Geologia	Paleontologia e Evolução Biológica	2014/1	Universidade federal do Ceará	associada	não
Geologia	Paleontologia	2014/1	Universidade federal do Pampa	sim	não
Geologia	Paleontologia	2018/2	Universidade federal do Pará	sim	não
Geologia	Paleontologia	2018/1	Universidade Federal do Paraná	sim	sim
Geologia	Paleontologia de Vertebrados	2018/1	Universidade Federal do Paraná	sim	Não
Geologia	Paleobotânica	2018/1	Universidade Federal do Paraná	sim	não
Geologia	Paleobotânica aplicada	2018/1	Universidade Federal do Paraná	sim	não
Geologia	Paleoecologia	2018/1	Universidade Federal do Paraná	sim	não
Geologia	Paleontologia	2013/1	Universidade Federal do Rio Grande do Norte	sim	não
Geologia	PALEONTOLOGIA I e II	2018/2	Universidade federal do Rio Grande do Sul	sim	não

Curso	Disciplina	Ano/semestre	Instituição	Possui uma disciplina "Paleontologia" ou ela está associada a outra?	Aborda Legislação (relativo a Paleont.)
Geologia	Paleontologia	2017/1	Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará	sim	não

## ARTIGO 2

### **Comparação entre métodos para o levantamento do potencial paleontológico em cavernas para estudos ambientais**

#### **1. INTRODUÇÃO**

No Brasil, dentre os estudos para a operação ou construção de determinados empreendimentos (ex. indústrias), é necessário o desenvolvimento de uma série de estudos ambientais (BRASIL, 1988; MMA, 2017). No caso de empreendimentos em regiões cársticas, há uma legislação específica para tratar de possíveis impactos ambientais irreversíveis que a atividade poderá causar às cavernas (MMA, 2017). Para isso, trabalhos técnicos são desenvolvidos na área do empreendimento e têm como uma de suas finalidades apontar se uma determinada caverna é passível ou não de ser protegida ou suprimida. Os trabalhos técnicos incluem, estudos geológicos, biológicos, arqueológicos e paleontológicos, sendo que para o último é exigido o menor grau de detalhamento (AULER; PILO, 2015; MMA, 2017).

O diagnóstico paleontológico em cavernas se restringe à observação de suas superfícies internas e uma descrição de seus sedimentos. Neste caso, é apontado somente se há ou não a presença de fósseis na cavidade inspecionada (MINAS GERAIS, 2005; MMA, 2017). Contudo, trabalhos efetuados em cavernas situadas no Estado de Minas Gerais, apontam que esse método – atualmente exigido pelos órgãos fiscalizadores – deve ser revisto (ex. HUBBE et al., 2011b; VASCONCELOS et al., 2013, 2017; VASCONCELOS; MEYER; CAMPELLO, 2015). Isso se deve ao fato que apenas uma inspeção das superfícies da caverna pode não refletir o seu real potencial paleontológico.

Para contribuir com a investigação desta problemática, o presente trabalho teve como objetivo (i) comparar os resultados obtidos – em estudos paleontológicos –, aplicando-se o método atual exigido, com métodos mais detalhados.

#### **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi aplicado em depósitos sedimentares de cinco cavidades situadas em Minas Gerais, distribuídas entre os municípios de Prudente de Moraes (três cavernas) e Juvenília.

A escolha dessas cavernas para o estudo comparativo se deu pelo fato de todas terem sido avaliadas para fins de estudos ambientais, anteriormente às escavações. Adicionalmente, outros fatores contribuíram para a escolha como, a autorização de acesso às propriedades e ao fácil deslocamento na área.

##### **2.1. Áreas de estudo**

As cavernas ES-08, 7L e 78L estão localizadas à noroeste da Área de Proteção Carste de Lagoa Santa (MG, CECAV 2019). Enquanto a cavidade ES-08 se localiza na porção sul do maciço do Escrivânia, as demais cavidades – 7L e 78L –, estão distribuídas no maciço do Limeira (Figura 19). Já as cavidades B-151 e B-152 estão inseridas em um maciço calcário na área cárstica de Montalvânia.



**Figura 19.** Localização geral das áreas de estudo. As cavidades ES-08, 7L e 78L se situam no carste de Lagoa Santa e as cavidades B-151 e B-152 estão inseridas no carste da região de Montalvânia.

## 2.2. Características gerais das cavernas

### Cavidades no carste de Lagoa Santa

A cavidade ES-08 está situada no terço médio do maciço do Escrivânia, em sua borda leste. Essa caverna possui cerca de 55 m de desenvolvimento e pode ser dividida em duas áreas. A primeira – que se trata de um salão – se situa no nível do solo externo, já a segunda se trata de um conduto estreito, que possui desníveis abruptos e suaves, sendo que sua porção final é plana.

Foram identificadas quatro entradas nessa caverna, sendo que três estão localizadas no nível superior e dão acesso a um pequeno salão pelo qual se acessa um conduto inferior (porção Oeste). Já a quarta entrada, localizada na porção oeste, se encontra totalmente preenchida por sedimentos.

O segundo setor da cavidade apresentava depósitos sedimentares mais espessos, sendo que também nesta área haviam dois paleopisos preservados no terço final do conduto. Ambos eram constituídos por um solo carbonatado avermelhado.

A cavidade 7L está localizada no terço inferior do maciço do Limeira (porção leste). Atualmente, essa caverna se encontra acima do nível da água, que preenche uma dolina quilométrica, localizada imediatamente em frente à sua entrada.

Essa caverna é formada por apenas uma entrada, na qual se acessa, sua porção final, a partir de um desnível suave. Esse desnível se encerra em um patamar abrupto. O sedimento clástico, de granulometria mais fina e de cor avermelhada, se concentra na porção inferior desse patamar, onde foram localizadas marcas de escavações.

Localizada no topo do maciço do Limeira (porção nordeste), a cavidade 78L possui cerca de 65 m de desenvolvimento linear, podendo ser setorizada em três salões principais. Trata-se de uma caverna plana, com uma grande quantidade de depósitos brechóides, cobrindo parcialmente seu teto e paredes. Seu piso é formado por uma argila compacta e predominantemente encoberto por depósitos químicos, principalmente por coraloides.

## **Cavidades no carste de Montalvânia**

Ambas cavidades estão situadas na borda interna de uma dolina colapsada, que por sua vez abriga outras cavidades.

A cavidade B051-A se trata de uma caverna formada por um amplo salão, com cerca de 100m de desenvolvimento linear, tendo sua entrada situada na borda leste da dolina. A maior parte de seu desenvolvimento se dá em um longo desnível, que por sua vez apresenta uma grande quantidade de matações calcários desprendidos de seu teto e paredes. Seus depósitos sedimentares de granulometria variando entre argila a matação, espeleotemas e por matéria orgânica, representada principalmente por serapilheira. Pelas características, ainda é possível afirmar que o material silto-argiloso possui uma origem alóctone.

A cavidade B051-C se trata de uma pequena caverna, com cerca de 20m de desenvolvimento, tendo sua entrada formada por matações colapsados. A caverna ainda possui três pequenas claraboias. Seus depósitos sedimentares são formados por matéria orgânica, representada principalmente por serapilheira, e por sedimentos clásticos de granulometria variando entre argila a matação. Pelas características, ainda é possível afirmar que o material silto-argiloso possui uma origem alóctone. E é em meio ao material terrígeno que estão os restos esqueléticos da preguiça-terricola.

A coleta do material seguiu critérios tafonômicos, com a demarcação de quadrantes, desenhos esquemáticos e escavação controlada.

### **2.3. Métodos aplicados**

Primeiramente, as cavidades foram analisadas de acordo os procedimentos técnicos descritos na Instrução Normativa nº2 (IN-02/2017, MMA, 2017) e pelo Termo de Referência para Elaboração de Estudos de Impacto Ambiental para Atividades Minerárias em Áreas Cársticas no Estado de Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2005). Nesses documentos é exigido apenas a busca por fósseis depositados sobre as superfícies internas da cavidade, sem a necessidade de realizar intervenções no sedimento.

#### **2.3.1. Legislação vigente**

Na IN-02/2017 é exigido apenas que indique **(i)** a ausência ou presença de fósseis e **(ii)** se os depósitos sedimentares possuem importância científica ou didática (Brasil 2017). Já no Termo da FEAM é sugerido que essa caracterização consista na obtenção de informações referentes à natureza dos sedimentos, à dinâmica deposicional e aos registros fósseis (Minas Gerais 2005). Neste sentido, a verificação se baseia nos seguintes métodos: **(a)** descrição de cada sítio de relevância sedimentológica (de natureza química ou clástica), **(b)** plotagem da localização dos sedimentos nos mapas das cavidades, **(c)** descrição dos jazimentos encontrados, indicando provável dinâmica deposicional e a descrição sumária dos prováveis fósseis, vestígios fósseis, ou restos orgânicos, pré-orgânicos (animais ou vegetais), **(d)** Indicação dos impactos futuros com a implantação e operação do empreendimento. Ainda mesmo que o Termo da FEAM esteja em desuso, ele é o que mais detalha o levantamento do potencial paleontológico.

#### **2.3.2. Métodos detalhados aplicados**

Após a avaliação das seis cavernas, foi feita uma varredura mais detalhada no piso. Isso incluiu uma busca mais ativa, com intervenções sob o cascalho, blocos, assim como um peneiramento do sedimento silte-argiloso. Devido às diferentes características de seus depósitos sedimentares, em cada caverna, foi adotado um tipo de método para a avaliação detalhada (Tabela 10).



**Tabela 10.** Características gerais das cavidades selecionadas, assim como o método detalhado aplicado em cada uma delas.

Cavidade	Características do depósito	Método aplicado
ES-08	Sedimento inconsolidado e solo carbonatado (paleopiso)	Peneiramento do sedimento inconsolidado e desmonte do solo carbonatado
7L	Sedimento inconsolidado	Peneiramento
78L	Piso encoberto por depósitos químicos, seixos, blocos e matacões	Busca sob os blocos e matacões
B-151	Piso encoberto por depósitos químicos (coraloides) e clásticos seixos (blocos e matacões)	Busca sob os blocos e matacões
B-152	Piso encoberto por depósitos sedimentares clásticos (argila, seixos, blocos e matacões)	Peneiramento

Os pisos das cavidades 75L, 78L e B-151 possuem características semelhantes. Todos são encobertos por solo carbonatado, muito compacto. Há ainda clastos de variados tamanhos sobre eles, como seixos, blocos e matacões. Esses clastos eram oriundos do abatimento do teto e paredes das cavernas, assim como de brechas sedimentares e solo carbonatado desagregados das fissuras das cavernas. A busca foi intensificada nos últimos, pelo fato de serem propícios para a preservação de fósseis (PAULA COUTO, 1958b).

Adicionalmente, o piso da cavidade 78L se apresentava parcialmente incrustado por depósitos químicos, principalmente por coraloides. Essas características impossibilitaram que o sedimento fosse peneirado. Já nas cavidades ES-08, 7L, e B-152, o peneiramento foi possível pelo fato delas apresentarem uma camada de sedimento silte-argiloso sobre o piso.

### **Busca sob os blocos e matacões**

Essa varredura se baseou em remover os sedimentos de maior granulometria, como seixos, blocos e matacões. 78L e B-151

### **Peneiramento**

Nas cavidades ES-08 e B-152, o sedimento também foi triado, com o uso de peneiras de malhas de 0,71, 1,19 e 1,68 mm. O sedimento peneirado da cavidade ES-08 se limitou ao depositado no conduto final da cavidade. Também foi peneirado o sedimento preservado sobre dois paleopisos, preservados também desse conduto (Porcino 2015). No total, foi peneirado cerca de 0,18m<sup>3</sup> de sedimento dessa caverna. Já na cavidade B-152, todo o material silto-argiloso foi triado, o que totalizou 0,035m<sup>3</sup> de sedimento. Nessas cavidades ainda foram feitas intervenções controladas no sedimento, de acordo com métodos tafonômicos (HOLZ; BARBERENA, 1998; VASCONCELOS; KRAEMER; MEYER, 2018; VASCONCELOS; MEYER; CAMPELLO, 2015).

Na cavidade ES-08, o paleopiso foi fragmentado, ainda no interior da caverna, e retirado para ser preparado em laboratório. Ele foi fragmentado de maneira que não se perdesse a distribuição original dos fósseis ali preservados. Em laboratório, cada bloco foi preparado e desbastado com o auxílio de caneta pneumática, cinzéis e pincéis (VASCONCELOS; KRAEMER; MEYER, 2018; VASCONCELOS; MEYER; CAMPELLO, 2015). Adicionalmente, todo o sedimento silte-argiloso, que cobria o desnível suave do conduto, assim como os paleopisos foram peneirados (PURCINO, 2015)

Já na cavidade B-152, o piso da caverna foi dividido em quadrantes (0,50 x 0,50 m) e todo o sedimento foi peneirado, com o objetivo de registrar a distribuição dos ossos da megafauna e resgatar todo o resto de microfauna sepultado na caverna (Vasconcelos et al. 2017). Após o resgate dos restos, todo o sedimento foi depositado novamente nas cavernas.

É muito importante ressaltar que as intervenções no sedimento devem ser feitas seguindo critérios. Existem diversos trabalhos onde é discutida a importância de se utilizar métodos bem definidos durante uma escavação paleontológica em cavernas (ex. Holz e Barberena 1989, Andrews 1992, Almeida 2000, Hubbe 2008, Mayer 2011 Vasconcelos et al. 2015, 2017, 2018).

### 3. RESULTADOS

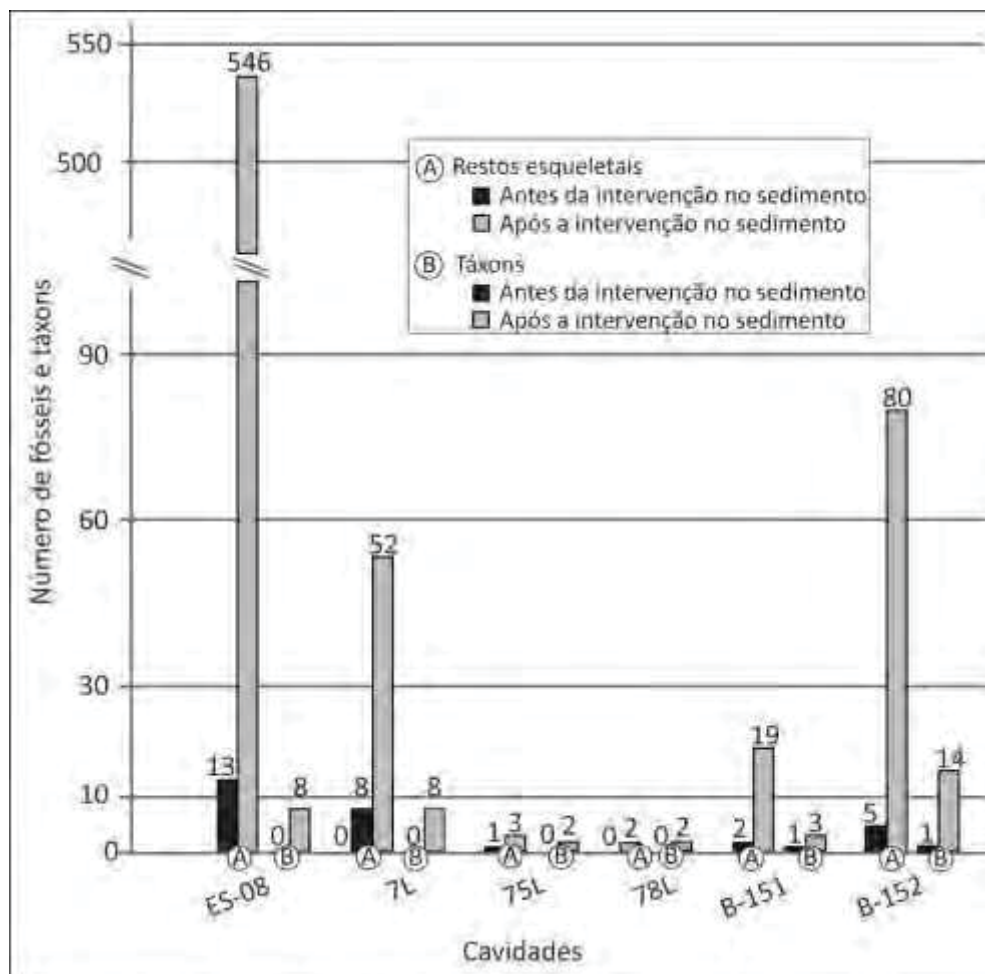
Durante o levantamento paleontológico, feito nos moldes propostos pela IN-02/2017 (Brasil 2017) e pelo Termo da FEAM (Minas Gerais 2005), das seis cavernas utilizadas neste estudo, foram observados fósseis em somente três (75L, B-151 e B-152). Todos estavam sobre o piso ou parcialmente encobertos pelo sedimento. Esse foi outro motivo para a seleção dessas cavidades para serem conduzidas buscas mais detalhadas. Cimentados ao paleopiso da cavidade ES-08, foram reportados fragmentos de ossos não identificados, evidenciando um possível potencial para análises mais detalhadas. Já o material de interesse paleontológico das demais cavidades (7L, 78L, B-151), foi encontrado somente após as intervenções no sedimento. Esse procedimento também foi feito nas cavidades B-151, B-152 e, ES-08, o que aumentou consideravelmente o número de fósseis para elas.

Mesmo antes do início das escavações, todas as cavernas apresentaram alto potencial paleontológico e interesse científico e/ou didático, seja pelos fósseis presentes ou pelo considerável aporte sedimentar de origem alóctone ali preservados. A cavidade 78L foi valorada em alto grau de relevância. Já as demais, que possuíam fósseis expostos, receberam máxima relevância (Vasconcelos et al. 2013).

#### 3.1. Levantamento paleontológico sem e com intervenção no sedimento

Com a intervenção ativa, foram reportados para as cavernas, fósseis de mamíferos, répteis e anfíbios, incluindo representantes da megafauna quaternária extinta (antes não observados pelo método tradicional).

Os fósseis das cavidades ES-08, 7L e 75L estavam parcialmente cimentados em um solo carbonatado. Isso limitou a identificação dos ossos, sendo constatado apenas que eram restos de vertebrados. Na cavidade ES-08 foram contabilizados 13 ossos, na 7L foram 8 e na 75L somente 1. Na 78L não foram observados fósseis. Já parte dos fósseis nas cavernas do carste de Montalvânia estavam sobre o piso da caverna, o que facilitou sua identificação anatômica e taxonômica (Vasconcelos et al. 2017). Na cavidade B-152 foram encontrados restos da preguiça-terrácola *Catonyx cuvieri*; 5 ossos). Já na cavidade B-152 foram identificados fósseis de mastodonte (*Notiomastodon platensis*; dois ossos). Assim, sem efetuar a intervenção no sedimento, somente nas cavidades B-151 e B-152 houve a identificação taxonômica dos fósseis (Figura 20). Já após a intervenção no sedimento, o número de táxons identificados saltou para oito para as cavidades ES-08 e 7L e dois para as cavidades 75L e 78L. Também houve um aumento de 3 e 14 para as cavidades B-151 e B-152, respectivamente (Figura 20).



**Figura 20.** Comparação entre o número de ossos e táxons identificados reconhecidos durante o levantamento paleontológico tradicional e após a intervenção no sedimento das cavidades.

Em meio ao sedimento peneirado da cavidade ES-08, foram recuperados 306 fragmentos de ossos, que devido ao seu precário estado de preservação, foi possível identificar apenas 18% dos restos. Foram reportados ossos de Chiroptera, Rodentia e Aves. Após a retirada do sedimento, ainda foi encontrado um osteodermo de *Dasyurus novemcinctus* cimentado no piso da caverna (Purcino 2015).

Após a preparação do paleopiso (cavidade ES-8), foram recuperados 240 ossos, sendo 39 identificados. Foram identificados os táxons, *Valgipes bucklandi*, *Eira barbara*, *Sylvilagus brasiliensis*, *Dasyurus novemcinctus*, *Speothos* sp., *Cuniculus rugiceps*, *Tayassu pecari*. Fragmentos de Rodentia e Chiroptera também foram coletados, porém não foram identificados em um nível taxonômico mais específico. Isso se deu devido ao seu estado precário de preservação (Vasconcelos et al. 2015).

Em momento anterior aos trabalhos espeleológicos no maciço do Limeira, a cavidade 7L havia sido intensamente escavada. Apesar da região ser historicamente conhecida pelos seus fósseis e por ter sido retirada uma quantidade considerável de sedimentos, não é possível afirmar que essa atividade tenha sido associada exclusivamente a alguma escavação paleontológica (Lund 1845, Vasconcelos et al. 2013).

Após uma inspeção na caverna, sobre um patamar, foi encontrada uma concentração de ossos, parcialmente encoberta por sedimentos. Somente após a exumação do material, foram reconhecidos fósseis de diversos animais. Dentre o material havia restos de Scelidotheriinae e

Carnivora indet., *Catonyx cuvieri*, *Tayassu* sp., *Tapirus* sp. e *Cuniculus* sp., Rodentia e Cingulata (Vasconcelos et al. 2013).

Em meio à areia sobre o piso da cavidade 75L, foi encontrado um corpo vertebral de Mylodontidae. E, após a coleta e preparação em laboratório, de um matacão de solo carbonatado, foi recuperada uma vértebra completa de *Valgipes bucklandi*. Um fragmento de osso longo, preso na parede por um solo carbonatado, possivelmente de *Hydrochoerus* sp., também foi recuperado.

Com a busca em meio ao cascalho, na cavidade 78L foram encontrados fósseis de *Tapirus* sp. (podial; sob o cascalho) e uma vértebra de Mylodontidae indet., cimentada em um matacão de solo carbonatado, possivelmente desprendido do teto. Esse osso foi encontrado devido ao manuseio do matacão.

Já nas cavernas do carste de Montalvânia, durante a busca em meio ao sedimento, foram localizados na cavidade B-151, além de outros ossos de *N. platensis*, um metapodial de um Cervidae indet. e um fêmur de um pequeno mamífero. Já na cavidade B-152, um número expressivo de ossos foi resgatado após o peneiramento do sedimento. Além de aumentar o número de ossos de *C. cuvieri*, foram identificados restos de Carnivora, Cavidae e Muridae indeterminados, *Mazama gouazoubira*, *Cuniculus rugiceps*, *Thrichomys apereoides*, *Thrichomys* sp., *Coendou prehensilis*, *Kerodon rupestris*, *Dasyprocta azarae*, *Gracililanus* sp., *Mormosops* sp. Restos de *Amphibia* e *Squamata* indeterminados.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. Comparação entre os métodos

O levantamento do potencial paleontológico se baseando nos métodos propostos pela IN-02/2017 (Brasil 2017) e pelo Termo da FEAM (Minas Gerais 2005) se mostram eficazes quando as feições de interesse paleontológico estão visíveis, sem a necessidade de intervir no sedimento. Com esses métodos também foi possível sugerir as cavidades que possuem potencial paleontológico. Isso foi feito, por exemplo, baseando-se nas características do depósito sedimentar. Porém, essas características não são conclusivas, pois para haver a preservação de fósseis em cavernas, vários fatores devem coexistir e assim possibilitar sua preservação nesses ambientes (ex. Lund 1836, Almeida 2000, Hubbe et al. 2011).

Os fósseis, quando bem preservados nas cavernas e suficientemente expostos, podem ser identificados taxonomicamente sem envolver seu manuseio. Porém, essas situações são raras de ocorrer (Lund 1845, Hubbe 2008). O ideal é a sua exumação, e talvez, inclusive sua coleta. Esses procedimentos, muitas vezes, são essenciais para sua correta identificação, pois poderão ser comparados em coleções de referência, seja por fotografia ou por comparação direta com fósseis já descritos.

A diferença dos resultados alcançados, sem e com a intervenção no sedimento, foi notável. Além do número amostral de fósseis ter aumentado significativamente, a partir da busca mais detalhada no sedimento das cavernas, foi possível contribuir para um maior conhecimento sobre a diversidade taxonômica preservada nas cavernas. Escavações paleontológicas já indicavam esse fato. Quanto maior a área prospectada, incluindo neste caso a profundidade, maiores são as chances de se localizar os fósseis (ex. Lund 1845, Almeida 2000, Hubbe 2008, Vasconcelos et al. 2015). Porém, nunca se havia feito essa comparação entre os métodos de busca a fósseis, sendo aplicado às mesmas cavernas.

Com o peneiramento do sedimento das cavidades ES-08 e B-152, resgatou-se tanto fósseis de animais de pequeno porte (e.g. roedores, lagartos), quanto partes diminutas de animais maiores

(ex. dente). Esses restos dificilmente são localizados nas inspeções superficiais, uma vez que são soterrados e misturados aos sedimentos com facilidade. Essa triagem aumentou significativamente o número de ossos de interesse paleontológico.

Com exceção da coleta e preparo do paleopiso (cavidade ES-08), as demais técnicas de busca por fósseis não aumentaram significativamente o tempo de trabalho nas cavernas. Na cavidade ES-08, devido ao volume de sedimento inspecionado, levou-se cerca de 4 dias. Porém, na cavidade B-152, foi necessário apenas um dia de trabalho, sendo que os resultados foram bastante satisfatórios. Já para as demais cavernas, onde não houve o peneiramento, despendeu-se, em cada cavidade, cerca de 1-2 horas a mais de trabalho.

#### **4.2. Limitações para a interação de dados**

Há alguns fatores que dificultam, ou até impossibilitam, a comparação entre os trabalhos técnicos, executados por profissionais distintos. O principal, talvez seja a dificuldade em acessá-los. Porém, há algumas formas de acessá-los, e normalmente, isso ocorre sob as seguintes circunstâncias: **(i)** solicitando acesso ao órgão ambiental, **(ii)** o próprio especialista repassa o relatório ou **(iii)** por interesse da empresa contratante, o laudo paleontológico, elaborado anteriormente, é cedido. Em todos os casos, os trabalhos técnicos ainda permanecem inacessíveis à sociedade, e na maioria das vezes, esses caminhos seguidos para a consulta do relatório não são satisfatórios.

Uma vez protocolados nos órgãos ambientais, os estudos técnicos são de domínio público, assim qualquer cidadão tem o direito em acessá-los. Porém, a burocracia é tamanha, que é praticamente impossível consultá-los.

Neste contexto, não é possível apresentar uma comparação entre os métodos utilizados por diferentes profissionais, e com isso propor um método padrão. Isso foi constatado durante a elaboração deste trabalho. Um dos objetivos era apresentar e comparar os métodos adotados em distintos trabalhos técnicos. Mas a impossibilidade de acessar os estudos espeleológicos já protocolados, impediu que isso fosse feito. Seria um passo interessante a ser tomado para a elaboração de um método padrão mais robusto de levantamento de potencial paleontológico das cavidades. Além dos diferentes métodos, poderia também avaliar as feições das várias áreas cársticas brasileiras.

#### **4.3. Outras questões**

Autorizações para o acesso às cavernas para a pesquisa, estão cada vez mais limitadas. O volume de áreas cársticas vem sendo adquiridas por proprietários que negam o acesso às cavernas. Com isso, a única forma de inspecioná-las é através de trabalhos técnicos.

Desta forma, ao se elaborar um relatório técnico detalhado, os estudos ambientais se tornam uma ferramenta interessante para o entendimento do potencial e o registro paleontológico das cavernas visitadas. Assim, é de extrema importância que o acesso a esses relatórios fique menos burocrático. Seria um caminho viável para o desenvolvimento de pesquisas.

Não se pretende com este trabalho alterar a forma de avaliação de cavernas para fins de estudos ambientais. Tampouco, fazer com que o levantamento paleontológico tenha um peso maior ao se classificar a cavidade quanto seu grau de relevância.

O objetivo é discutir a melhor forma de conduzir o levantamento paleontológico, para maximizar os resultados quanto ao potencial da cavidade. Ao mesmo tempo, mostrar a utilidade dos trabalhos técnicos para aumentar o conhecimento sobre a paleontologia de uma determinada região (Vasconcelos et al. 2013, Vasconcelos e Campello 2016, Vasconcelos e Bittencourt 2018). Mas

para isso, é imprescindível que os métodos de coleta de dados nas cavidades tenham uma certa padronização. Apenas desta forma, haverá a possibilidade de comparar os resultados de diferentes trabalhos. Para isso, o papel e a atuação dos órgãos ambientais são fundamentais.

Uma vez bem estabelecido, somente no momento em que o método for incorporado nas diretrizes dos documentos norteadores da avaliação das cavidades, para fins de estudos ambientais, ele passará a ser adotado pelos profissionais durante o levantamento paleontológico. Enquanto isso não ocorre, cada um executa da forma que julgar mais correta, o que dificulta, ou até mesmo inviabiliza, comparações entre os trabalhos.

Salvo algumas exceções (Vasconcelos et al., no prelo), os resultados obtidos no levantamento paleontológico não devem ter um peso decisivo para a valoração de uma cavidade, pois a grande maioria dos fósseis pode ser resgatada. Assim, do ponto de vista paleontológico, a cavidade deixa de ser relevante.

#### **4.4. Um raro estudo de caso**

O levantamento do potencial paleontológico de cavernas, para fins de estudos ambientais, faz parte de um estudo bem mais amplo, que trata da avaliação do potencial espeleológico de uma determinada região e da relevância das cavidades inspecionadas (Brasil 1988, Minas Gerais 2005, Brasil 2017). Ao contrário das outras especialidades (ex. bioespeleólogo, arqueólogo), o órgão ambiental não exige que o levantamento do potencial paleontológico seja feito por um profissional com experiência. Com isso, muitas das vezes, essa etapa do trabalho acaba sendo correalizada por profissionais responsáveis por outras avaliações desenvolvidas na cavidade, como geoespeleologia ou bioespeleologia. O especialista em paleontologia, por muitas vezes, é requisitado apenas quando são encontrados restos de vertebrados no interior das cavernas e mesmo assim, somente quando esses ossos se assemelham a fósseis.

Como não há estudos que atestem a eficácia da execução desses trabalhos executados por não especialistas, não é possível compará-los com outros desenvolvidos por profissionais com experiência em paleontologia de cavernas. Entretanto, a descoberta dos fósseis na cavidade 7L foi feita somente após todos os profissionais envolvidos em sua valoração terem a avaliada. A cavidade, que posteriormente foi visitada por acaso, foi inspecionada quanto ao seu potencial paleontológico. Somente após essa inspeção, feita por especialistas, que diversos fósseis foram descobertos.

### **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste trabalho foram apresentados os resultados da comparação entre métodos aplicados na avaliação do potencial paleontológico de seis cavernas para fins de estudos ambientais. Os métodos discutidos foram, os indicados pelos órgãos ambientais brasileiros e o aqui proposto, que sugere intervenções no sedimento cavernícola, como uma varredura mais detalhada, peneiramento e escavações. Quatro cavernas estão inseridas no carste de Lagoa Santa e duas na região de Montalvânia. Primeiramente elas foram avaliadas nos moldes exigidos pelos órgãos ambientais, e num segundo momento, sofreram intervenções mais detalhadas, com uma busca mais ativa no sedimento, sendo ainda que em duas cavidades, ele foi peneirado. O número de ocorrências de fósseis (espécimes e táxons) aumentou significativamente após a adoção dos procedimentos de intervenção no sedimento. Ele demandou um tempo de execução insignificante para ser executado, ainda mais quando avaliado os resultados obtidos.

Esses resultados demonstram que para a avaliação paleontológica de cavidades ser fidedigna, o método vigente deve ser mais detalhado, conforme apontam outros estudos. Para isso, sugere-se que devem ser exigidas intervenções pontuais no sedimento cavernícola para se avaliar de maneira mais precisa a potencialidade fossilífera das cavernas.

Para ter uma maior clareza quanto ao método mais efetivo para a execução do levantamento paleontológico, é imprescindível o diálogo entre os profissionais com experiência, além da participação ativa dos órgãos ambientais, assim como das empresas envolvidas. Também se faz necessária a participação dos demais especialistas, que desenvolvem os estudos espeleológicos.

**ARTIGO 3**

**Stromatolites in caves in southeastern Brazil and their importance to geoconservation**





# Stromatolites in Caves in Southeastern Brazil and their Importance to Geoconservation

André G. Vasconcelos<sup>1</sup> · Jonathas S. Bittencourt<sup>2</sup> · Neuber F. Eliziário<sup>3</sup> · Bruno M. Kraemer<sup>4</sup> · Augusto S. Auler<sup>5,6</sup>

Received: 3 September 2019 / Accepted: 20 May 2020

© The European Association for Conservation of the Geological Heritage 2020

## Abstract

This article presents a detailed description of stromatolites formed simultaneously with caves' bedrock, within karstic areas in Southeastern Brazil. We discuss the importance of such fossils for geoconservation and their legal preservation under the Brazilian law. Six caves are described with occurrences of *Conophyton*-type stromatolites. All those caves are located in the State of Minas Gerais, one of which in the Arcos-Pains-Doresópolis Karst (Bambuí Group) and the others in the Vazante-Paracatu-Unai Karst (Vazante Group). In general, the stromatolite columns are not exquisitely preserved, yet conspicuously exposed in cross section and lateral view. The stromatolite caves are easily accessed, making them suitable for scientific and educational activities to both academic and non-specialized public. Yet, such activities should rely on the implementation of a management plan for monitoring potential damage due to anthropic interference. Given the rarity of caves with fossils embedded in their host rocks, these structures should be treated with the status of maximum importance for conservation, according to the Brazilian legislation, thereby ensuring their permanent protection, with the support of the public entities for environment and nature.

**Keywords** Fossil · Paleontology · Limestone cave · Minas Gerais · Precambrian

## Introduction

Caves are unique environments. Their specific conditions, including, for instance, the reduced natural light and low variation of temperature and humidity, create conditions for a peculiar biodiversity (Barton and Northup 2007; Ribera et al. 2014). Not only from a biological standpoint,

their geological structures, which are the result of long periods of water flow and percolation, tectonic movements, and the action of biological and chemical agents, among other factors (Gillieson 1996), can match some criteria for geoconservation (Gillieson 1996; Cigna and Forti 2013; Stephens et al. 2013). Cave environment is also widely used for tourism and religious activities,

✉ André G. Vasconcelos  
andregomide86@gmail.com

Jonathas S. Bittencourt  
jsbittencourt@ufmg.br

Neuber F. Eliziário  
neuber.elizario@gmail.com

Bruno M. Kraemer  
bmkraemer@gmail.com

Augusto S. Auler  
aauler@gmail.com

<sup>1</sup> Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas, Gerais, Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte, MG, Brazil

<sup>2</sup> Laboratório de Paleontologia e Macroevolução, Centro de Pesquisas Professor Manoel Teixeira da Costa, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte, MG, Brazil

<sup>3</sup> Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos. Rua Antônio de Albuquerque, Funcionários 194, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil

<sup>4</sup> Grupo Guano Speleo-MM Gerdau. Praça da Liberdade, s/n – Funcionários, Belo Horizonte, Minas Gerais 30140-010, Brazil

<sup>5</sup> Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte, MG, Brazil

<sup>6</sup> Instituto do Carste, R. Barcelona, 240/302, 139, Floresta, Belo Horizonte, MG 30360-260, Brazil

confirming their esthetic and cultural value (Moyes 1998; Healy 2007; Stephens et al. 2013).

Caves are also recognized for their potential for fossil preservation. The most important fossil records in such environments are the remains of Quaternary vertebrates incorporated to the caves at a time subsequent to their connection with the surface realm (Santucci et al. 2001; Jass and George 2010). On the other hand, fossils preserved as primary structures within the enveloping rock, i.e., those which have been preserved in the rock in which the caves are formed, are less well-known and frequently underestimated in terms of their scientific and esthetic value (DuChene 2000; Santucci et al. 2001; Vasconcelos and Bittencourt 2018).

This article aims to describe the occurrence of fossil stromatolites embedded in the host rock of caves and also to discuss the importance of those fossils to the geoconservation of caves, and their management under the specificities of the Brazilian law.

## Stromatolite Occurrences in Caves

Stromatolites are laminated structures produced by microbial activity in aquatic environments (marine, lagoon, and lacustrine), occurring since the Precambrian up to the present (Hofmann 1973; Srivastava 2002). Although the stromatolites display considerable morphological variation, the most common types are easily recognizable by the cylindrical shape and the internal laminae with the convexity upward (in lateral view) or concentric in cross section (Walter et al., 1976; Dardenne, 2005; Sallun Filho and Fairchild 2005).

In addition to their paleoenvironmental and stratigraphic importance, stromatolites are also of biological significance, because they are the oldest traces of life in the fossil record (Schopfa et al., 2007). Furthermore, in South America, they are of great historical importance as they were the first Precambrian fossils ever to be described for the continent (Almeida 1944). Such fossils are mainly associated to carbonate rocks and can be found in several regions of the country (for a review see Fairchild and Sanchez 2015). Yet, there are relatively few studies about stromatolites in Brazil (Marchese 1974; Dardenne, 1972; Cloud and Dardenne 1973; Dardenne and Campos Neto 1975; Srivastava 1982; Zaine 1991; Nogueira and Dardenne 1992; Guimarães et al. 2002; Sallun Filho and Fairchild 2004; Dardenne, 2005; Fraga et al. 2013).

Most sites where fossil stromatolites have been described in Brazil refer to surface outcrops, some of them exposed due to quarries and highway cuttings. Some stromatolites have been reported in the host rock of caves; however, these still lack detailed description (Vasconcelos et al. 2016; Vasconcelos and Bittencourt 2018).

There are several studies describing Quaternary stromatolite-like structures in caves, and those structures have been referred to as bio-speleothems, speleo-stromatolites or simply classified as

stromatolites (Gomes 1985; Braithwaite and Whitton 1987; Cox et al. 1989a; Gradzinski et al. 1995; Leveille et al. 2000, 2002; Northup et al. 2000; Jones 2001; Melin et al. 2001; Baskar et al. 2007; Barton and Northup 2007; Baskar et al. 2016; Bontognali et al. 2016). They can be found in caves formed in different lithologies, and they show considerable morphological variation (Cox et al., 1989a, b; Cacchio et al. 2004; Cañaveras et al. 2006; Baskar et al. 2007; Lozano and Rossi 2012; Bontognali et al. 2016). Fossil stromatolites, however, are restricted to carbonate caves (Vasconcelos et al. 2016; Vasconcelos and Bittencourt 2018).

Caves provide a unique opportunity to observe the internal structures of stromatolites embedded in the bedrock, especially in areas covered by soils or where there are no well-preserved surface outcrops. Depending on the cave morphology and their quality of preservation, it may be possible to determine the general characteristics of the stromatolites preserved within it.

## Study Areas

Until now, four areas with stromatolitic caves have been identified in Brazil, but only one of them has been described, even if partially (CECAV 2019; Vasconcelos and Bittencourt 2018). Two areas will be described here, both located in the state of Minas Gerais (Table 1). One of the caves is located in the Arcos-Pains-Doresópolis Karst and the other five in the Vazante-Paracatu-Unai Karst (Fig. 1). All of the caves are in areas of privately-owned land. These areas were elected for study due to easy accessibility, granted land-owner permission, abundance of the stromatolites, and their conspicuous occurrence.

## Geological Context of the Areas

### Arcos-Pains-Doresópolis Karst

The *Teto Estromatolítico* cave have developed in the limestones of the Bambuí Group (Fig. 2). The sedimentary and metasedimentary rocks of that geological unit occupy an area of more than 200,000 km<sup>2</sup> (Alkmim and Martins Neto 2001), spreading across the western portion of the Brasília Fold Belt and overlaying the gneissic-granitic rocks of the São Francisco Craton (Sial et al. 2009; Hasui 2012). It was formed during the Neoproterozoic, on a continental platform of a foreland basin, within repeated marine transgression-regression cycles (Dardenne 1978).

Stratigraphically, the Bambuí Group is the top unit of the São Francisco Supergroup (Alkmim and Martins Neto 2001; Sial et al. 2009; Hasui 2012). Its rocks are composed of a pelite-carbonate sequence (limestone, slate, and phyllite rocks) capped by a sequence of sediments from 600- to 800-m thick deposited on a continental crust (Shinzato, 1998). Those rocks

**Table 1** Location of the studied caves

Area	Cave	Coordinates
Arcos-Pains-Doresópolis Karst	<i>Teto Estromatolítico</i>	20° 24' 08.1" S and 45° 34' 46.3" W
Vazante-Paracatu-Unai Karst	VT-004	17° 43' 21.4" S and 46° 45' 17.2" W
	VT-047	18° 11' 58.5" S and 46° 51' 45.6" W
	VT-051	18° 08' 30.4" S and 46° 53' 04.8" W
	VT-197	17° 43' 22.9" S and 46° 45' 17.8" W
	<i>Gruta da Fendinha</i>	16° 25' 08.3" S and 47° 03' 45.9" W

are divided into five formations (from base to top): Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade, and Três Marias (Dardenne 1978; Vieira et al., 2007).

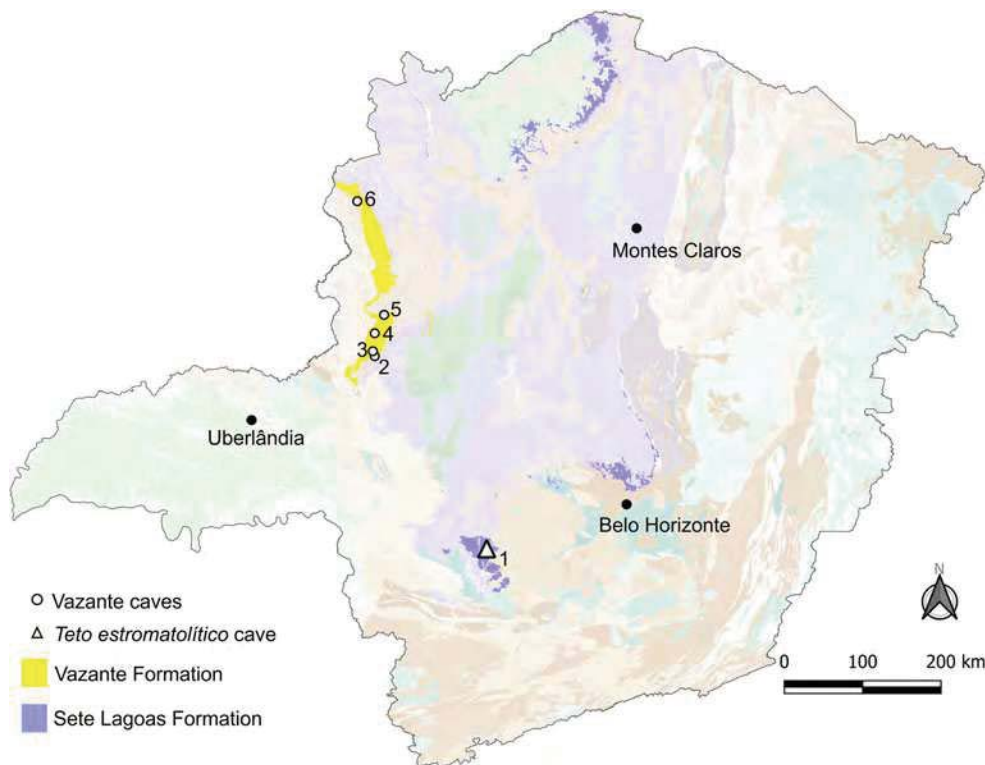
In the studied area, the exposed carbonates are assigned to the Sete Lagoas Formation. They are characterized by pinkish and greenish calcipelites at the base, and dark gray limestones at the top. The calcipelites of the basal unit are correlated with the Pedro Leopoldo Member and the dark gray limestones of the top with the Lagoa Santa Member (Ribeiro et al. 2008).

The stromatolites in the Arcos-Pains-Doresópolis area are readily recognized (Fig. 3a–c). They include structures with varied morphologies such as nodular forms, erect and decumbent columns, sub-planar and pseudo-columnar constructions, with convex, and sub-rectangular lamination (Lopes 1995). The stromatolites also vary in other aspects

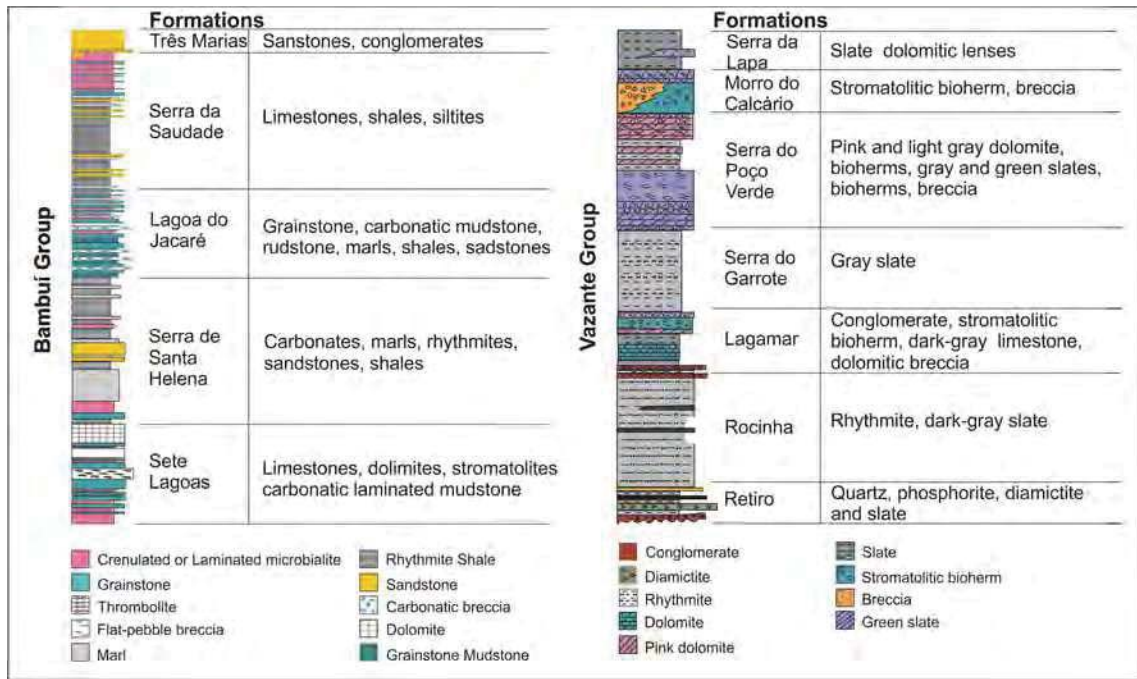
such as height, the presence of bifurcate or multifurcate branching and round or irregular elliptical form in transverse section (Bittencourt et al. 2015).

**Vazante-Paracatu-Unai Karst**

The caves in the Vazante-Paracatu-Unai Karst area have formed in the limestones of Vazante Group (Figs. 1 and 2). This group consists of Mesoproterozoic carbonates (limestones, dolomitic breccias and bioherms) and pelites (phyllite and slates; Dardenne and Walde, 1979). Stratigraphically, it is divided into seven formations: Retiro, Rocinha, Lagamar, Serra do Garrote, Serra do Poço Verde, Morro do Calcário, and Serra da Lapa, not all of them bearing microbialites. In the Vazante-Paracatu-Unai Karst, the



**Fig. 1** Location of the studied caves: the Arcos-Pains-Doresópolis Karst (triangle, one cave) and the Vazante-Paracatu-Unai Karst (circle, four caves). (1) *Teto Estromatolítico*, (2) VT-047, (3) VT-051, (4) VT-004, (5) VT-197, and (6) *Gruta da Fendinha*. Map modified from CPRM-CODEMIG (2014)

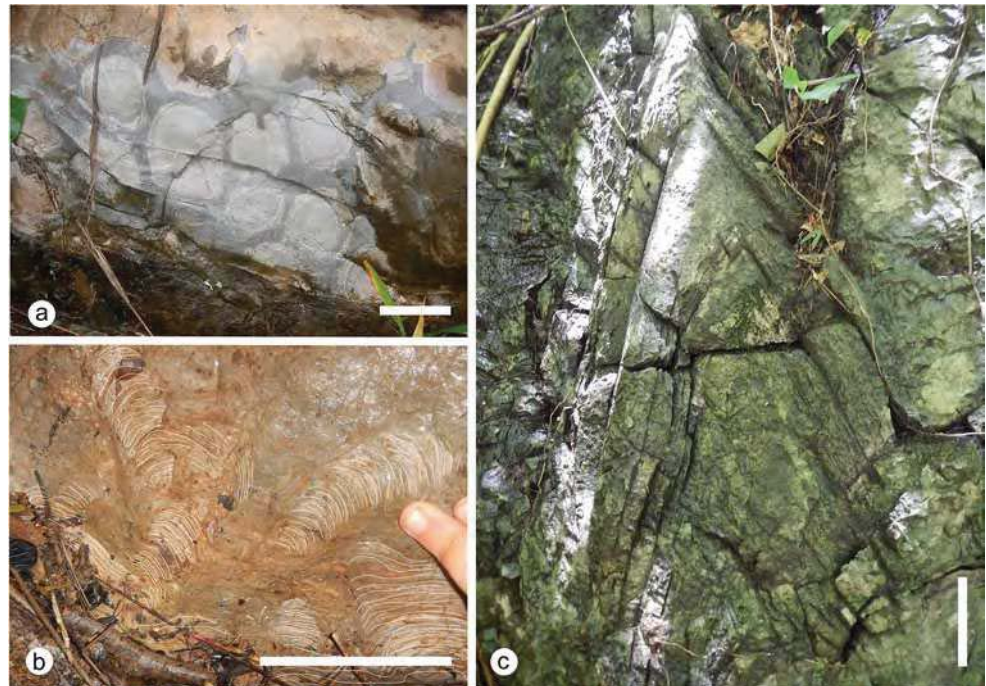


**Fig. 2** Simplified lithostratigraphic chart of the studies areas. Modified from Fairchild et al. (2015) for the Vazante Group, and Uhlein et al. (2017) for the Bambuí Group

**Fig. 3** Different lamina shapes of stromatolites at Arcos-Pains-Doresópolis Karst, in lateral view, their profiles can be steeply convex (a), rhomboidal (b), or gently convex (c)



**Fig. 4** Stromatolite outcrops at Vazante-Paracatu-Unai Karst: **a** multifurcate branching style (view in cross section), **b** recumbent attitude, and **c** conical shape. Scale bar 10 cm



stromatolites (Fig. 4) are recorded as *Baicalia* and *Conophyton metula* Kirichenko (Dardenne, 2005) in the Lagamar Formation; *Conophyton cylindricum* Maslov (Dardenne and Walde, 1979, Dardenne, 2005; Campos Neto 1984) in the Poço Verde and Morro do Calcário Formations; and *Conophyton cylindricum* and *C. metulum* in the Morro do Calcário Formation (Moeri 1972; Cloud and Dardenne 1973). In addition to those, oncolites and algal mats also have been noticed (Nogueira and Dardenne 1992; Dardenne 2009; Dardenne et al. 2009).

## Description of the Caves and Stromatolites

### Arcos-Pains-Doresópolis Karst

The *Teto Estromatolítico* cave is located in a blind valley in the Arcos-Pains-Doresópolis Karst. The cave is ca. 49-m long and located at an altitude of 860 m. It is divided into two main chambers, and the height of the passages varies from 40 to 450 cm. Stromatolites are only found in the first chamber, and they compose most of the ceiling, as well as on a small part of the cave eastern wall (Fig. 5). In the ceiling, they are exposed in elliptical cross section, and their diameters vary from 10 to 20 cm. Most of the stromatolite columns are preserved in high relief (Fig. 6a). The light gray limestone matrix supporting the stromatolites is homogeneous. Longitudinal displays of stromatolites on the cave wall are not well preserved, hindering detailed descriptions (Fig. 6b).

Where columns are vertically exposed, they are connected at the base and branched at the top, reaching a maximum height of 15 cm (Fig. 6b) in the samples studied for this paper. The

lowest parts of the columns are straight, but the upper ones are recumbent/prostrate (i.e., angle of  $< 45^\circ$  with the base line). The columns are contiguous, nearly contacting each other. The laminae are gently convex, with only one order of curvature, i.e., a simple curve. At the edge of the structure, the laminae are inflected, not covering the underlying ones. The lamina stacking is moderately regular and asymmetrical. No alternation of columnar and stratiform parts or microscopic irregularities, ramifications and lateral projections have been observed.

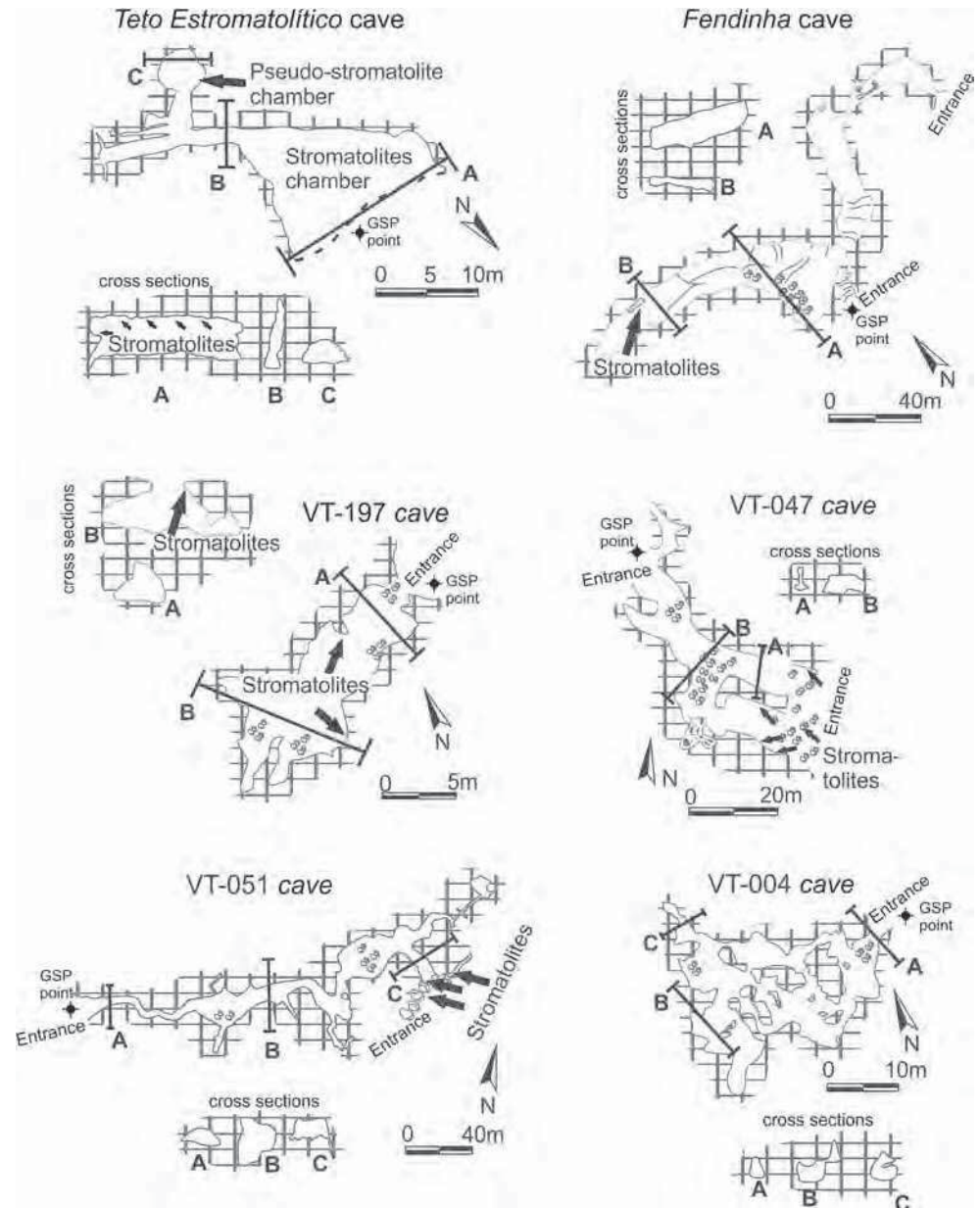
Another chamber deep within the cave bears carbonatic structures of inorganic origin consisting of concentric circles. Because of their close resemblance to stromatolites, they are known as pseudo-stromatolites (Awramik and Grey, 2005; for detail see below, Fig. 14).

### Vazante-Paracatu-Unai Karst

The *Vazante-Paracatu-Unai* Karst has been subject to paleontological studies since the 1970s. Outcrops with stromatolites and other structures of microbial origin were recognized in various localities, including the caves described in the present study (Moeri 1972; Dardenne 2009; Dardenne et al. 2009; Vasconcelos and Bittencourt, 2018). A recent speleological study of the area (Souza et al., 2018) identified 181 caves in the Vazante-Paracatu-Unai Karst, most of which situated at the bases of isolated residual massifs covered with dry forest vegetation and surrounded by pastureland. More specifically, the five caves that have stromatolites are, on average, 330 m long and located at altitudes ranging from 500 to 840 m.

All the visited caves (namely *Gruta da Fendinha*, VT-004, VT-047, VT-051, and VT-197) have preserved *Conophyton*-

**Fig. 5** Cave maps with stromatolite and pseudofossil locations indicated by arrows. Source: *Carste Ciência e Meio Ambiente* database (modified)



type stromatolites, presenting a variety of sizes, colors, textures and states of conservation (Figs. 7a–d). They occur on cave walls, ceilings and fallen blocks. In VT-004 and VT-197, the stromatolites are widespread within the cavities, albeit in varying densities, whereas in VT-047, VT-051, and *Gruta da Fendinha*, they occurrence are more restricted. The stromatolites and their bearing rocks are colored with varied shades of gray, but in VT-004 and VT-047, the sedimentary matrices are respectively beige and reddish (Figs. 7a–d).

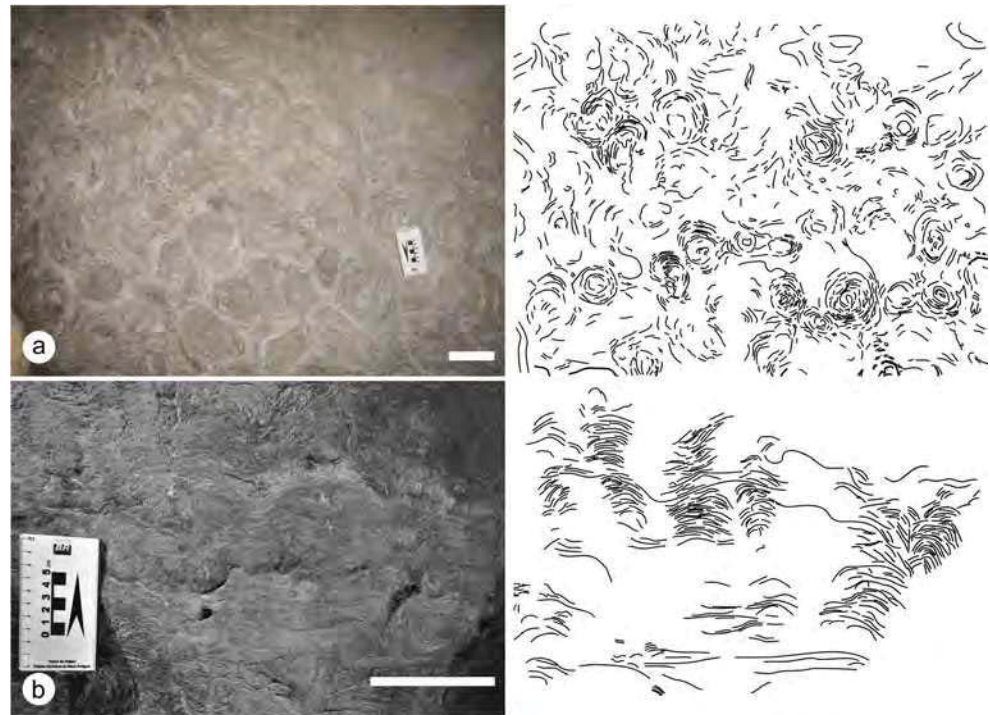
#### VT-004

The VT-004 cave, located at an altitude of 601 m, extends horizontally for 220 m (Souza et al., 2018). Its morphological pattern

is reticulate (Fig. 5) and its passageways vary from 100 to 330 cm high.

The stromatolites in cave VT-004 are well preserved and most of them are exposed in cross section, many of them in high relief (Figs. 8a–c). Some of these are associated with cupules in the ceiling (Fig. 9, see also Auler and Souza 2018), a feature not observed in the remaining studied caves. The surface of the limestone is weathered, and as a result the stromatolites are fragile. Some stromatolite columns are exposed in lateral view at the cave entrance. Those are 90 cm high, with rectilinear growth axis, conical form, and smooth walls (Fig. 8c). Its laminar form is angular with just a single curve. The arrangement of the laminae along the column axis is symmetrical. The laminae inflect intensely, each of them covering the preceding one considerably.

**Fig. 6** Stromatolite columns are preserved in high relief on the *Teto Estromatolítico* cave ceiling (a) and on its eastern wall (b). Scale bar 10 cm

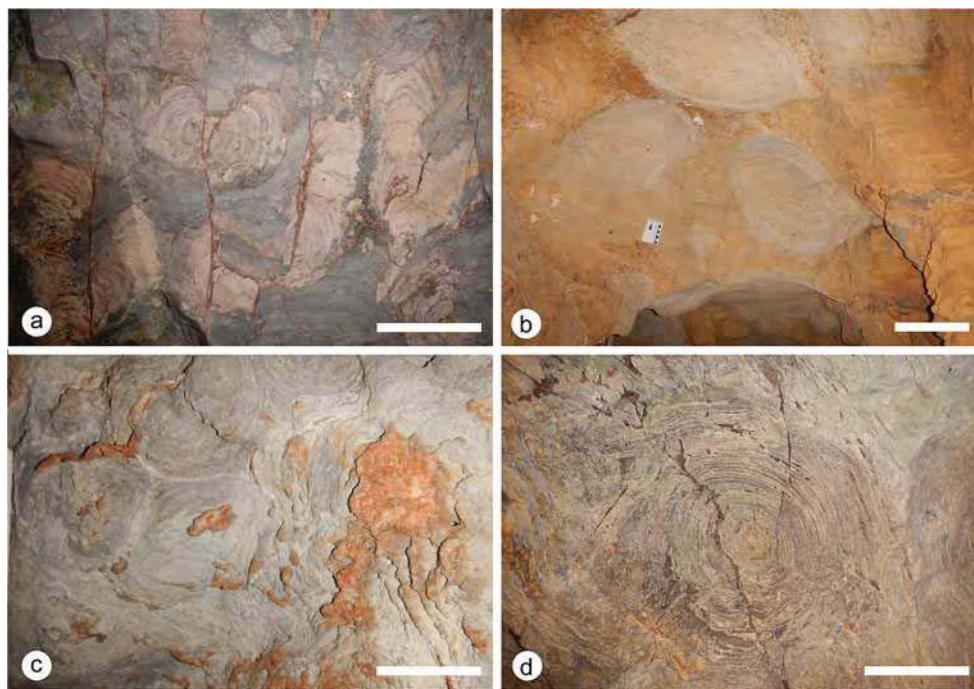


No branching columns, lateral projections or microscopic irregularities occur within the laminae.

In cross section, the columns are ellipsoid. The average length of the stromatolite columns is 65 cm. These structures are very close together, and some of them are in contact (Fig. 8b).

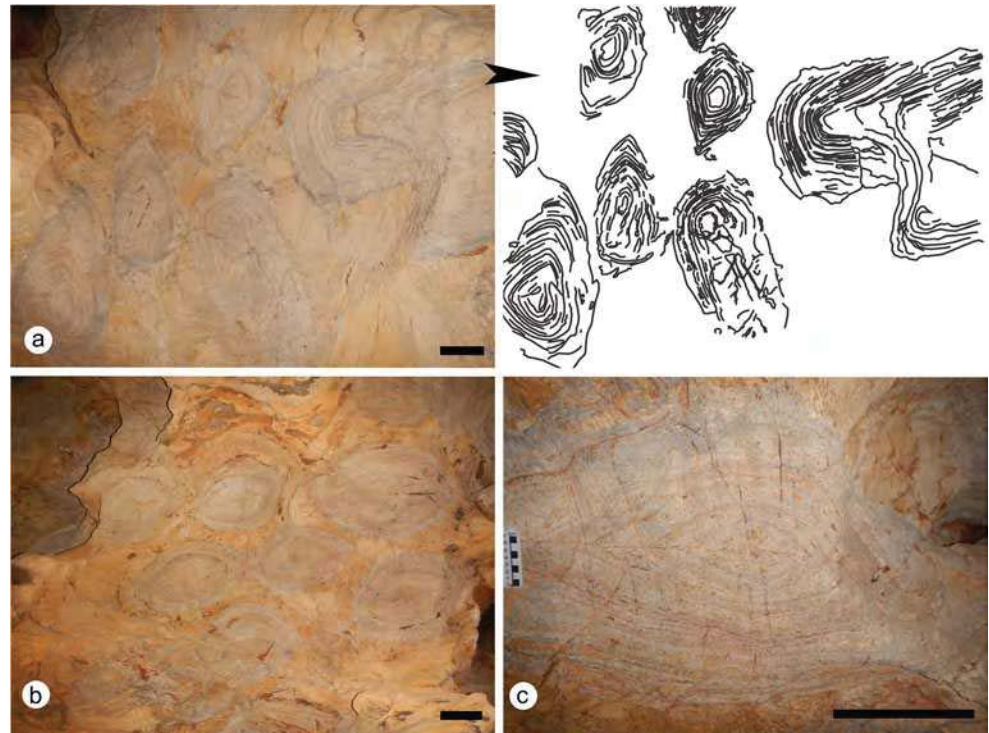
**VT-047**

Cave VT-047 has a rectilinear and reticulate layout (Fig. 5) extending horizontally for about 380 m, and it is situated at an altitude of 712 m (Souza et al., 2018). Some of its passages are over 6-m high. The stromatolites in this cave are well



**Fig. 7** *Conophyton* stromatolites inside the VT-047 (a), VT-004 (b), *Gruta da Fendinha* (c), and VT-197 (d) caves. Scale bar 3 cm (a, c), ~25 cm (b), 20 cm (d)

**Fig. 8** The stromatolites in cave VT-004 are well preserved and most of them are in plan view and in high relief. Scale bar 20 cm



preserved. Some of them are exposed in high relief, whereas others are highly polished due to the action of water (Figs. 10a, b). The stromatolite colors are variable, with pinkish or light gray laminae. In both cases, the carbonate matrix is dark gray (Figs. 10a, b). The stromatolite columns vary from 6 to 15 cm in diameter, reaching 100 cm tall.

The stromatolites have cylindrical, sinuous, or recumbent columns. The laminae are tall and symmetrical, inflecting at their edges, partially covering the ones beneath them. As in VT-004, there are no branching columns, bundles, lateral projections or microscopic irregularities within the laminae.

The columns are close to each other, some of them connected by outgrowth bridges (Fig. 10b). The columns are branched and also thicker immediately below the point where the branches diverge at angles of less than  $20^\circ$ . The edges of the columns are smooth and do not present a laminated covering. In cross section, the morphology of the columns varies as round, elliptical or oblong with rounded edges. Slightly undulating gray-colored microbial mats were also observed. Apparently, they form the bases for the stromatolite columns.

#### VT-051

The morphology of the VT-051 cave is rectilinear with a horizontal extension of 660 m. It is located at an altitude of 694 m (Souza et al., 2018). Its passages can be as high as 8 m. Stromatolites only occur in a small part of this cave, and they are preserved in high relief. The columns are pinkish within a dark gray carbonate rock matrix. The

stromatolite columns are 10 cm in diameter, but their height, as well as the lamination morphology, cannot be assessed due to poor preservation (Fig. 11a). The columns are cylindrical, with rectilinear growth and not in contact with each other (Fig. 11b).

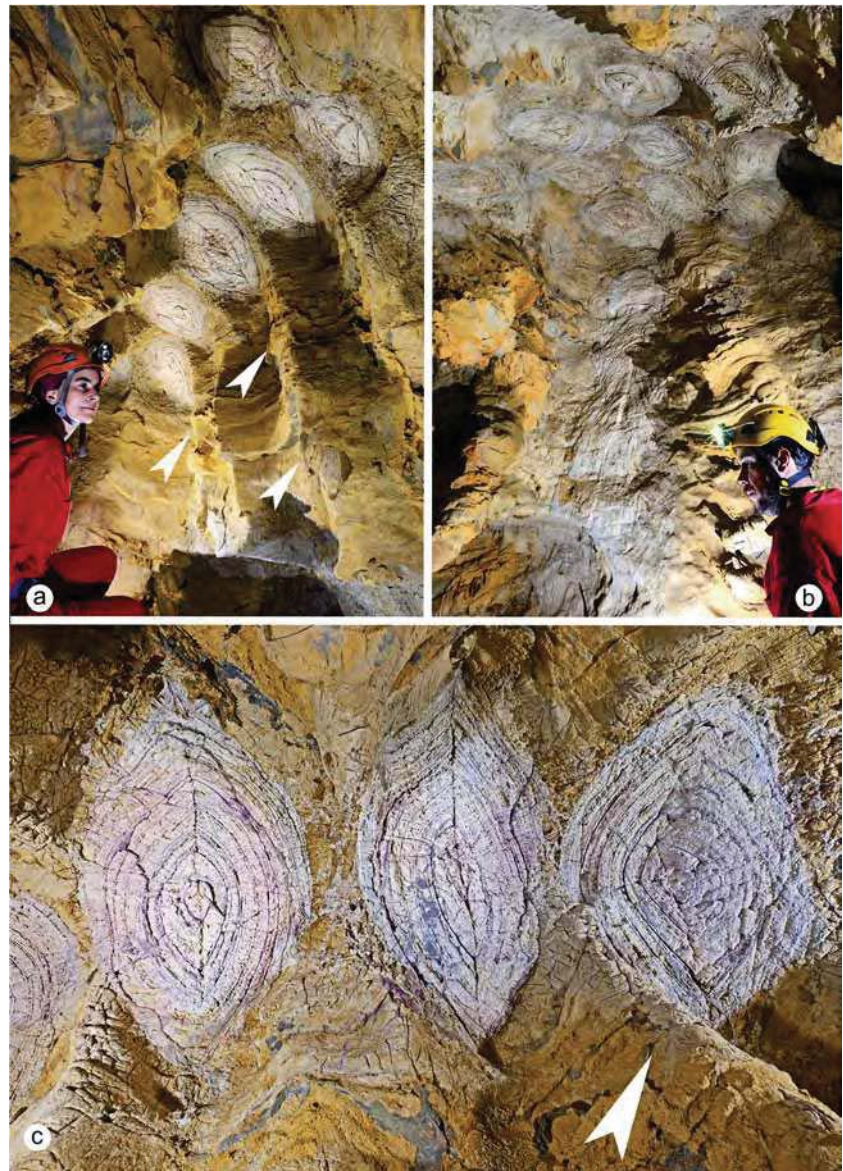
In the best preserved structures, no branching columns, bundles, lateral projections, or microscopic irregularities within the laminae are seen. The edges of the columns are smooth, and there is no lamination of the column cover. In cross section, the columns are rounded. Some domes of microbial mats can be seen in lateral aspect within the VT-051 cave.

#### VT-197

The VT-197 cave consists of a large chamber minimally 5-m high and with a horizontal extension of ca. 34 m. It is located at an altitude of 598 m (Souza et al., 2018). The stromatolites are well preserved in high relief and show a similar light gray color as the surrounding carbonate rock (Figs. 12a–c). The stromatolite columns are around 25 cm in diameter and minimally 50-cm high. The partial exposition of the columns hampers the exact assessments of their dimensions (Fig. 12a). The stromatolites are cylindrical in shape with a rectilinear growth pattern. The laminae are cone-shaped, maintaining the symmetry throughout the stack. They inflect at the edge, each lamina partially covering the one beneath it. There are no bundles, lateral projections, or microscopic irregularities within the laminae.



**Fig. 9** Stromatolites cupules in the ceiling of VT-004 cave. The arrows indicate the walls that divide the domes. Photos: L. Alt and V. Moura (2018)



The stromatolites appear as clusters of columns. Within clusters, the columns are close to each other, or even in contact. Across groups, they are well separated. The edges of the columns are smooth, and there is no lamination of the column cover. In cross section, the columns are rounded (Figs. 12a, c). In this cave, many stromatolites are covered by speleothems (e.g., coraloids; Fig. 12c).

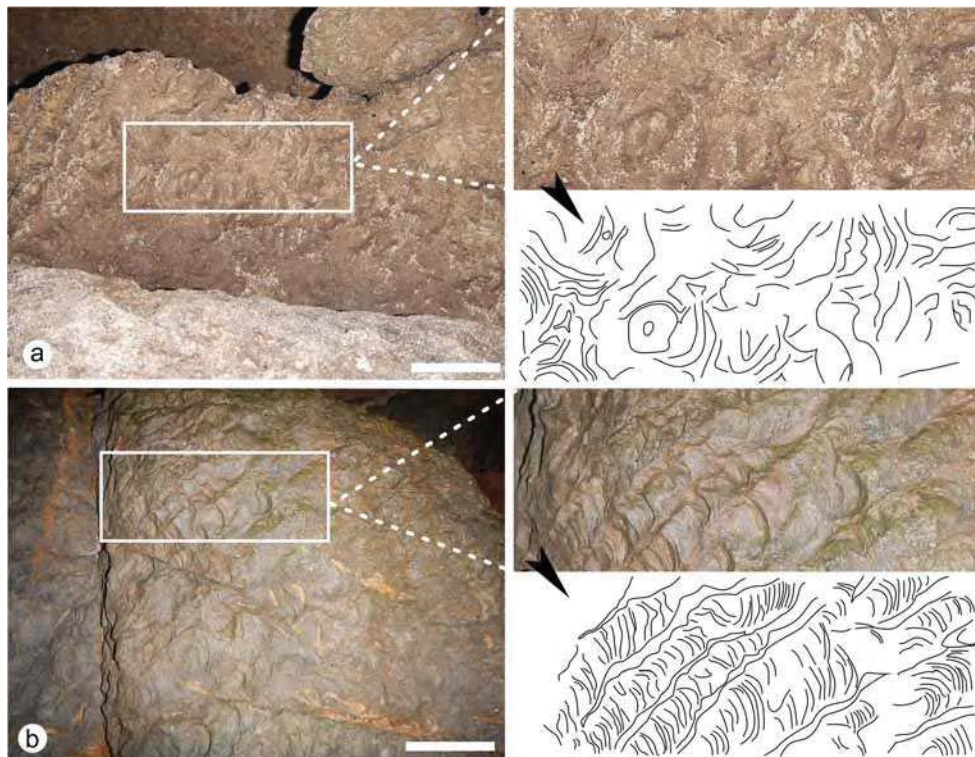
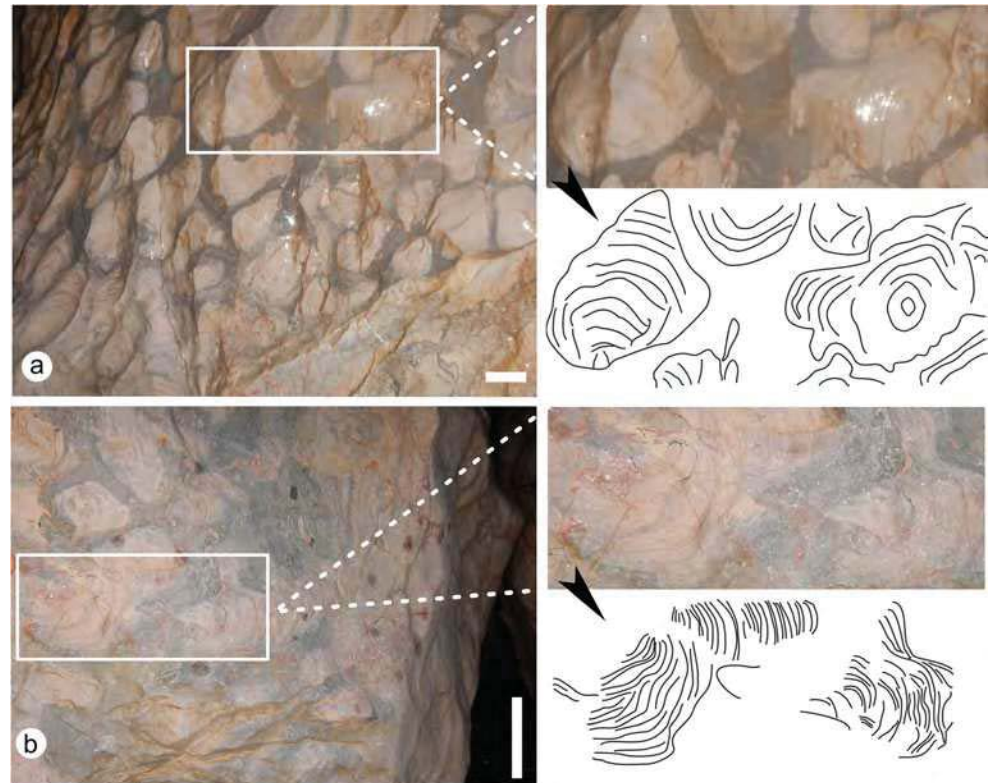
**Gruta da Fendinha**

The *Gruta da Fendinha* cave is located at the base of an isolated massif in the municipality of Unaí. The cave extends horizontally for ca. 390 m, and it is situated at an altitude of 812 m (Souza et al., 2018). Its layout is rectilinear and the height of its conducts varies from 40 cm to ca. 600 cm. Here, the stromatolites are well-preserved and exposed in high

relief (Fig. 13). The columns and laminae are whitish, against the light gray background of the surrounding the carbonate matrix, in which milimetric intraclasts occur. The cylindrical stromatolite columns are approximately 10 cm in diameter and over 30 cm high, with sinuous and recumbent growth axis (Fig. 13).

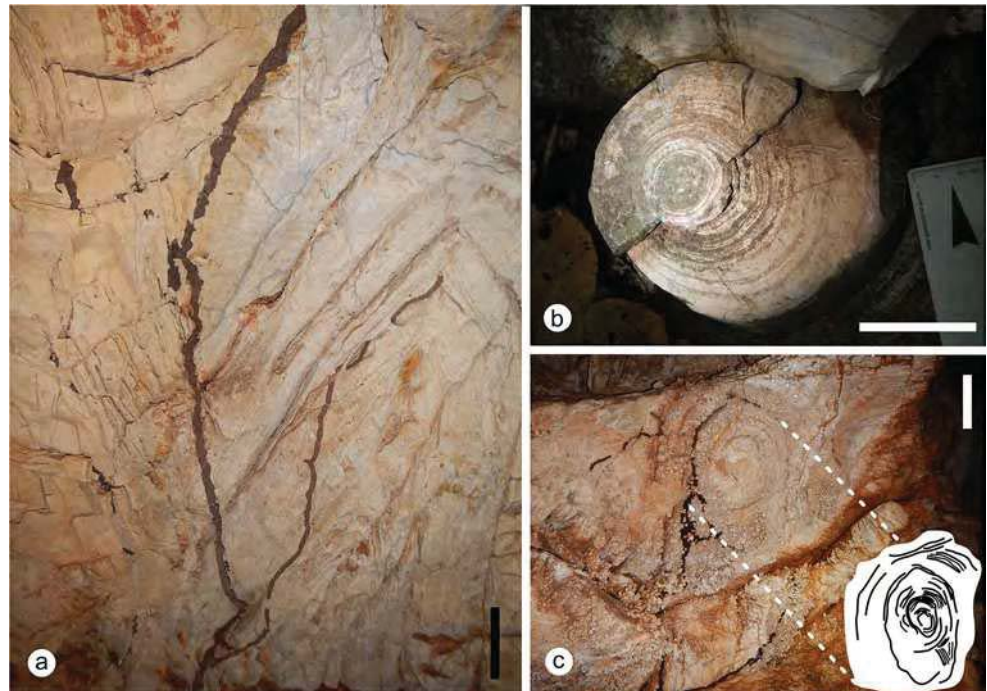
The laminae are conical and disposed symmetrically along the column axis. They inflect at the edges, each one partially covering the preceding lamina. Columns are close together and commonly contact each other. The columns may bifurcate or multifurcate, with small divergence of the branches, not widening prior to the branching. There are no lateral projections of the columns or microscopic irregularities within the laminae. The edges of the columns are rounded, varying from round to lanceolate in cross section (Fig. 13).

**Fig. 10** Stromatolites in VT-047 cave are well preserved and most of them are highly polished due to the action of water. Scale bar 20 cm



**Fig. 11** Stromatolites in VT-051 cave. They occur in a limited portion of the cave, embedded on a dark gray carbonate rock matrix. Scale bar 2.5 cm

**Fig. 12** The well-preserved stromatolites in VT-197 cave are preserved in high relief (a–c) and many of them are covered by coraloids (c). Scale bar ~ 10 cm (a and c) and 50 mm (b)



**Pseudofossils**

Pseudofossils are inorganic structures or traces that can easily be mistaken for real fossils (Awramik and Grey, 2005). In both studied areas, such structures are found in the caves. Two processes produced them: chemical precipitations on gravels (Fig. 14a, b) or weathering of chemical covers (Fig. 14c, d).

In the second chamber of the *Teto Estromatolítico* cave (Arcos-Pains-Doresópolis Karst), speleothems formed by the precipitation of carbonates around a gravel core occur as concentrically laminated structures, roughly similar to stromatolites in cross section. Yet, differences among these structures and stromatolites are conspicuous: the speleothems are highly variable and irregular in size and shape, do not bear true columnar laminae, and are nucleated by a rock fragment.

In VT-014 and VT-167, there are marks in the flowstone, which are caused by weathering (Figs. 14c, d).

Structures resembling stromatolites have also been observed in other karstic areas in Brazil such as cave A204 (14° 23' 12.2" S 44° 15' 40.4" W) in Montalvânia/Juvenilia, municipalities located in the northern part of Minas Gerais state (Vasconcelos 2016).

**Other Occurrences**

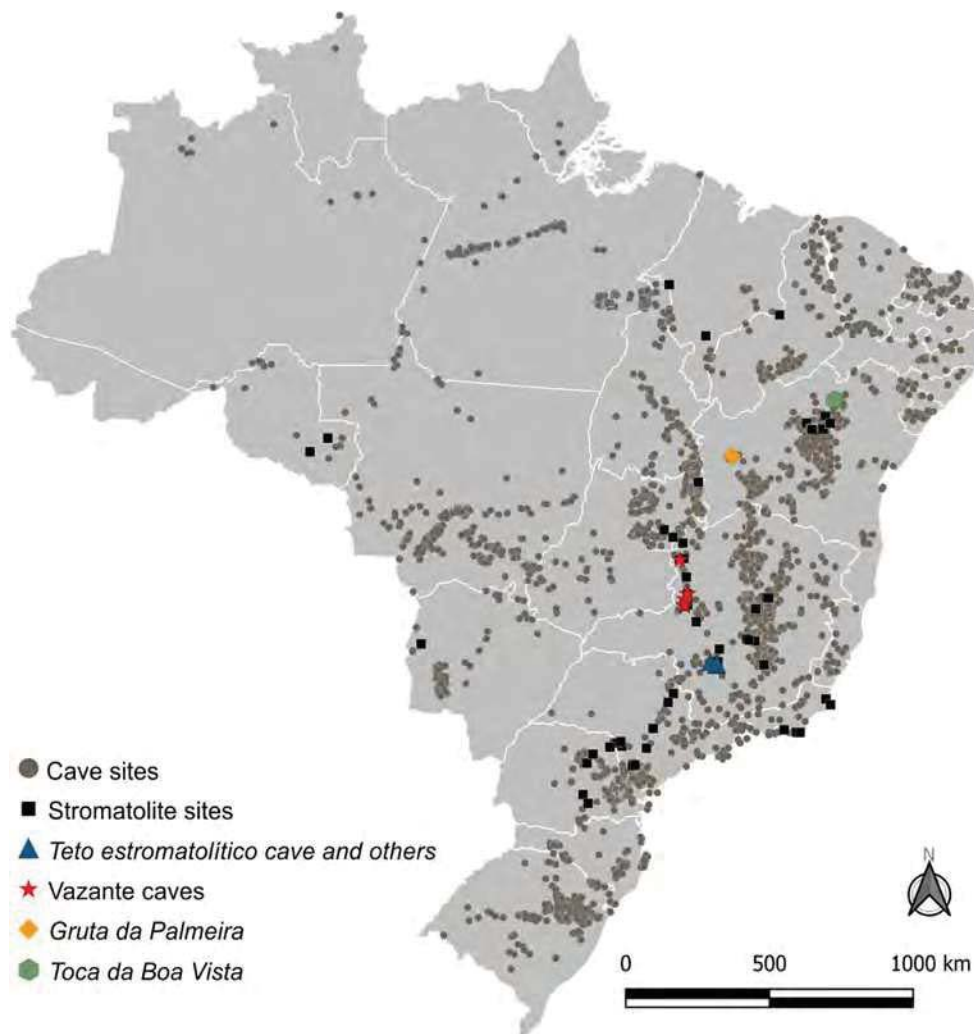
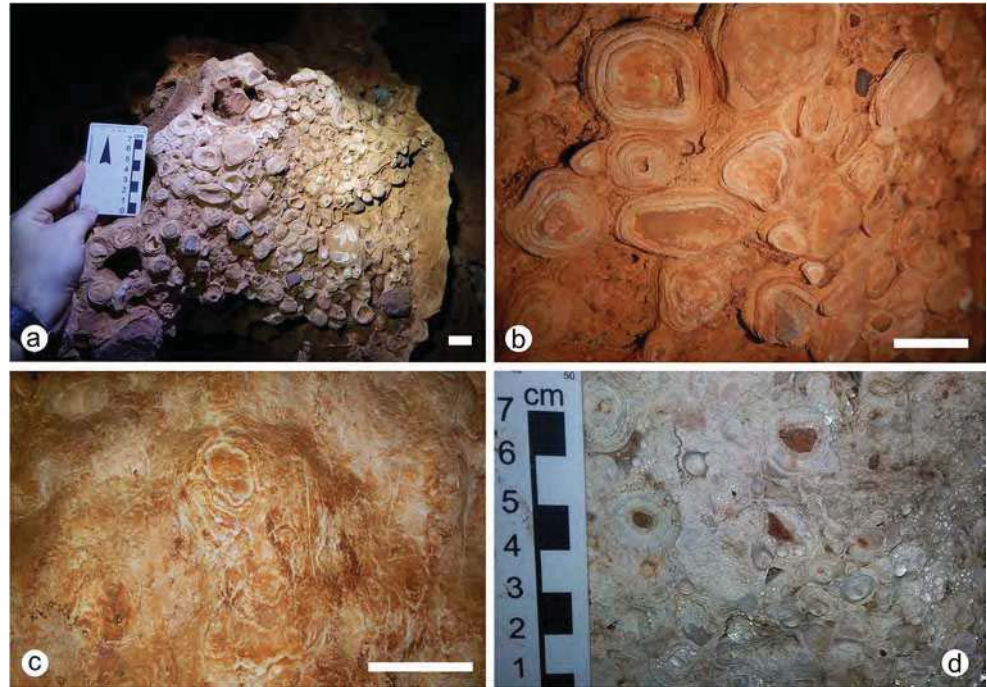
There are approximately 19,300 officially registered caves in Brazil (CECAV, 2019). They are found in all regions of the country and are inserted in a variety of different lithologies including quartzite, arenite, and granite but especially in carbonate rocks and ferrous contexts (Fig. 15; Auler and Farrant 1996; Rubbioli et al. 2019).

The occurrence of stromatolites, however, is more restricted, and they have only been registered in carbonate rock formations. They occur most commonly in Brazil’s central and southern regions including the São Francisco Craton, the Brasília Belt, and the Paraná Basin (Fig. 15). However, there are some



**Fig. 13** Stromatolites in profile view into *Gruta da Fendinha* cave. Scale bar 4 cm

**Fig. 14** Pseudo-fossils preserved inside the *Teto Estromatolítico* cave (a and b) and the VT-167 cave. Scale 2 cm (a, b) and 10 cm (c)



**Fig. 15** Cave distribution and stromatolite locations in Brazil. Based on Fairchild and Sanchez (2015), CECAV (2019), and Vasconcelos and Bittencourt (2018)

scattered occurrences in the northern and northeastern regions of the country (for a review, see Fairchild and Sanchez 2015).

Stromatolites in surface outcrops are frequently easy to locate when they occur in cuttings for highways, stone quarries, or natural rock outcrops (Cloud and Moeri 1973; Marchese 1974; Nogueira and Dardenne 1992; Lopes 1995; Srivastava and Rocha 2002a, b; Sallun Filho and Fairchild, 2005; Fraga et al. 2013). Although there are caves in the same regions where such occurrences of stromatolites have been identified, there are very few reports associating those occurrences to caves (e.g., Reis et al. 2019). In addition to the caves presented here, there are reports of stromatolites in caves in the São Desidério and Campo Formoso regions, both in the state of Bahia (Klimchouk et al. 2016; Cazarin et al. 2019). In the database of the CECAV (2019), there are records of stromatolites in caves near to the *Teto Estromatolítico* cave, but they have not been formally described (Table 2, Fig. 15). Also, the existence of five additional caves with the presence of stromatolites has been reported for Coromandel region (Reis et al. 2019) and the Vazante-Paracatu-Unai Karst (Auler and Souza 2018).

### Cave and Stromatolite Protection in Brazil

The different degrees of protection rendered to caves vary across countries (for a review see Auler et al. 2017). In some countries of Europe and North America, different measures

are taken to protect caves from vandalism and degradation, including the creation of protected areas (see, for example, US Congress 1988; British Columbia 1994, 2003; Slovenia 2003; Williams 2008; Lipps 2009; Skrbinšek 2009; Cigna and Forti 2013; Maggio et al., 2012; FSE 2013). Brazil has specific laws to address the protection of caves (Brasil, 2008; MMA 2017). These laws have been designed to ensure the conservation of caves which contain significant physical (e.g., size) or biological (e.g., rare species) features. Accordingly, once a series of studies is undertaken, a cave may be classified in one out of four levels of significance: maximum, high, medium, or low (Brasil 2008; for a review see Auler and Piló 2015; Auler et al. 2017; Ribeiro et al. 2019).

The presence of fossils in a cave enhances its significance and helps to support its conservation. Yet, the only fossils mentioned in the Brazilian legislation for cave protection are those inserted in caves after their formation, including here the remains of Quaternary mammals. There is no mention to biogenic structures that were formed simultaneously in the rocks where the cave developed (Minas Gerais 2005; Brasil 2008; MMA 2017). The conservation of caves would benefit from and update of the Brazilian legislation, as to enforce more meticulous prospection for fossils and their collecting. Also, there should be more detailed criteria to evaluate the fossil occurrences, including those native to the cave bedrock (e.g., microbialites), rather than simple “presence or absence of fossils”. However, for those other parameters to

**Table 2** Caves with records of preserved stromatolites embedded in the host rock in Brazil

Cave	Coordinates	Area	Reference
<i>Gruta da Palmeira</i>	12° 22' 50.77" S and 44° 57' 51.23" W	São Desidério—BA	This study
<i>Toca da Boa Vista</i>	10° 9' 37.69" S and 40° 51' 40.25" W	Campo Formoso—BA	Klimchouk et al., (2016), Cazarin et al., (2019)
<i>Caverna do Estromatólito</i>	20° 22' 42.89" S and 45° 34' 30.71" W	Arcos—MG	CECAV (2019)
<i>Gruta Estromatolítica</i>	20° 24' 17.15" S and 45° 35' 56.57" W	Pains—MG	CECAV (2019)
<i>Gruta do Brega</i>	20° 25' 4.20" S and 45° 46' 20.14" W	Pains—MG	CECAV (2019)
<i>Rede de Estromatólitos</i>	20° 17' 23.24" S and 45° 50' 11.14" W	Doresópolis—MG	CECAV (2019)
VT-006 Cave	17° 43' 34.40" S and 46° 45' 31.16" W	Vazante - MG	Auler et al. (2018)
VT-007 Cave	18° 11' 59.99" S and 46° 51' 38.85" W	Vazante—MG	Auler et al. (2018)
VT-014 Cave	17° 46' 9.46" S and 46° 43' 35.04" W	Vazante—MG	Auler et al. (2018)
VT-188 Cave	18° 4' 52.06" S and 46° 56' 13.38" W	Vazante—MG	Auler et al. (2018)
VT-195 Cave	18° 2' 12.33" S and 46° 55' 50.96" W	Vazante—MG	Auler et al. (2018)
Ronan I Cave	18° 22' 58.58" S and 47° 9' 49.80" W	Coromandel—MG	CECAV (2019), Reis et al. 2019

be analyzed and described correctly in technical reports, they must be included in the Brazilian legislation and mentioned as a criterion for evaluating paleontological potential. Thus, the Brazilian laws and norms should be updated. All features of paleontological interest should be clearly included in any official document concerning cave value assessment (i.e., laws, norms, instructions), including the fossils preserved in the docking rocks.

Those legal documents should also contain the a standard methodology to be used by professionals in the efforts of characterizing and evaluating caves and their fossil content. If this does not occur, it is risky that caves that have only these types of fossils are not properly protected or are still destroyed due to the development of anthropic activities.

In this case, the rarity of stromatolites within caves would automatically render maximal protection, which would also be supported by their obvious scientific, touristic, and esthetic value (Table 3; Minas Gerais 2005; MMA 2017). In other instances where organic remains entered the cave and eventually fossilized, the quality of the preservation should also be a criteria for assessing the cave value, rather than just the abovementioned “presence or absence of fossil”.

## Geoconservation of Caves in Brazil

Many areas in Brazil have a rich geological heritage due to their geomorphological, paleoclimatic, historical, geological, or speleological importance. Currently, there are many endeavors in progress to foster the creation of conservation areas based on geological features. Specially one of those, the publications of the Brazilian Committee for Geological and Paleontological Sites (SIGEP, which stands for *Sítios Geológicos e Paleontológicos*; see Schobbenhaus et al. 2002; Winge et al. 2009, 2013), is worth mentioning. Among the candidates assessed by SIGEP for geoconservation, the proposals number 9 and 37 refer to caves and paleontological sites, respectively, and other six candidates concern stromatolites (Schobbenhaus

et al. 2002; Srivastava 2002, Srivastava and Rocha, 2002a, b; Boggiani et al. 2009; Dardenne 2005, 2009; Winge et al. 2009, 2013). However, only one SIGEP proposal refers specifically to the creation of a geopark in an area of cave development (the Lago Azul cave, in the state of Mato Grosso do Sul; Boggiani et al. 2009).

Reported alterations to cave environments in Brazil, other than natural weathering, include littering, vandalism of speleothems, graffiti, and soil removal or alteration (Auler and Smart 2002; Berbert-Born 2002; Berbert-Born and Karmann 2002; Cajaiba 2014; Auler 2016). The major threat to the *Teto Estromatolítico* cave, for instance, is the explosions carried out by a nearby (ca. 200 m) quarry, which could easily lead to the total or partial collapse of the cave. Another threat is uncontrolled visitation, which is revealed by the presence of litter, the compacting of the soil and the depredation of the cave features (Fig. 16). In caves in the Vazante-Paracatu-Unai Karst, the original vegetation has been removed and the land converted into pastures, indicating anthropic activity close to the cave localities.

## Potential for Visitation and Management of Caves

The caves in the Arcos-Pains-Doresópolis Karst, as is common in karstic areas in Brazil, are visited for different purposes, including technical and scientific studies, sportive speleology (restrict to speleological organizations) and religious practice (e.g., Gruta do Santuário cave). No cavity there is open to mass-tourist activities. In the Vazante-Paracatu-Unai Karst, one cave is open for visitation (Lapa Nova II), and several of them are used for religious practice (Lapa Velha and Gruta Lagoa Rica; Alt and Moura 2018).

Among the caves described here, VT051, VT-047, and Fendinha are attractive for public visitation, due to amount and variability of speleothem, clastic deposits, and stromatolites. The other cavities (*Teto Estromatolítico*, VT-004, VT-

**Table 3** Possible criteria to determine cave importance that could be applied to stromatolites in caves in keeping with the Brazilian legislation (Brasil 2008; MMA 2017)

Criterion	Explanation/description
Scientific and/or teaching importance; educational use; Geological structures of scientific interest	Stromatolites in caves can be used to paleoenvironmental interpretation and stratigraphic correlation. In the case of the cave studied herein, the stromatolites is also useful for educational purposes.
Scenic beauty; esthetic and scenic values; scenic value; public visitation	In most cases, the beauty of caves is associated with speleothems. Stromatolites can improve the scenic aspect of the caves. In such cases, if a cave is identified for non-suppression, the owner of the property (or government) should implement a management plan that could include the cave as a tourist attraction
Unique morphology (cave VT-004)	Stromatolites associated with the formation of ceiling cupules.



**Fig. 16** Environmental damage observed in the *Teto Estromatolítico* cave. **a** Presence of litter, feces, and compacting of the soil. **b** and **c** rock surface flaking off due to weathering

047, and VT-197) are attractive to a more specific public, including scientists, educators, technical people, and sportive speleology practitioners (Table 4). VT-004 is especially relevant here, due to the occurrence narrow passages and stromatolitic cupules. Educational visiting could use the stromatolite occurrences within caves to approach scientific themes as the origin of life, Precambrian oxygenation event, paleogeography, and plate tectonics (e.g., Klein et al. 1987; Kusky and Vanyo 1991; Bosak et al. 2013; Schirmermeister et al. 2015).

Yet, opening those caves to public visitation should rely on previous preparation, encompassing minimally improvements to accessibility and safety, with construction of roads or trails leading to caves, cave floor leveling, and installation of stairs, platforms, and artificial illumination. A visitation plan could be created in order to select the most relevant points for visitation of the caves, isolating the areas not suitable for it. It would be of public

interest to involve the local people in such implementation. They could be employed in the tourism infrastructure, including the management of cave visitation (e.g., Cigna 2011, 2016; Okonkwo et al. 2017; Leung et al. 2018).

On the other hand, all the caves mentioned here are located in private land and are not part of legal conservation areas. These are the greatest obstacles for implementing public visitation, mainly due to the high costs of the preparations mentioned above and maintenance. In addition to accessibility and safety improvements, tourism activities should also rely on a management plan including studies for impact evaluation, technical preparation of the staff, divulging, maintenance, and conservation. In general, tourist activities are not economically attractive to land owners. One possible solution could be provided by governmental funding, but unfortunately, it is scarce in Brazil (Alt and Moura 2018).

**Table 4** Features with tourist, educational, and scientific potential of caves

Cave	Tourism		Features
	Diversified	Educational/scientific	
<i>Teto Estromatolítico</i>		x	Stromatolites and pseudofossils
VT-004		x	Stromatolite cupules, morphologically varied conducts
VT-047	x	x	Speleothems, wide chambers, clastic deposits, underground river
VT051	x	x	Speleothems, wide chambers, clastic deposits, two (lower and upper) levels
VT-197		x	Stromatolites
<i>Gruta da Fendinha</i>	x	x	Speleothems, stromatolites, wide chambers, clastic deposits

## Final Considerations

We described six caves that have stromatolites (*Conophyton*) on their ceilings, walls, and collapsed blocks. All of them are located in the state of Minas Gerais, one in the Arcos-Pains-Doresópolis Karst and the other five in the Vazante-Paracatu-Unai Karst. The stromatolites are in good state of preservation and well exposed in both lateral view and cross section.

Caves with fossils preserved in their bedrock are suitable candidates for geoconservation, in close alignment with the Brazilian legislation. Given the rarity of that association in Brazil, it is recommended that caves with fossils embedded in their bedrocks receive the status of maximum importance that would ensure their permanent protection with the support of the respective public environmental entities.

Despite some obstacles concerning its implementation, we conclude that some of the caves described herein (e.g., *Teto Estromatolítico*, VT-197, and *Gruta da Fendinha*) can be used for controlled public visitation, if executed with adequate physical infrastructure and management plan. This would serve the purpose of geoconservation, assuring the continuation of the scientific research and cultural practices, ultimately improving the life quality of the local population.

**Acknowledgments** The authors thank *Carste Ciência e Meio Ambiente* for the help during fieldwork (and for the availability of cave maps) and the land owners who allowed access to the caves. The authors also acknowledge L. Alt and V. Moura for the availability of the photos. The anonymous reviewers are thanked for suggestions that greatly improved the final version of the manuscript.

**Funding Information** This study was funded by Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001, and FAPEMIG (grant PPM-00304-18 to JSB).

## References

- Alkmim FF, Martins-Neto MA (2001) A Bacia Intracratônica do São Francisco: Arcabouço estrutural e cenários evolutivos. In: Pinto CP, Martins-Neto MA (eds) Bacia do São Francisco. Geologia e Recursos Naturais. Sociedade Brasileira de Geologia/Núcleo de Minas Gerais, Belo Horizonte, pp 9–30
- Almeida FFM (1944) *Collenia itapevensis* sp n: um fóssil pré-cambriano do estado de São Paulo. Bol. Fac Filos Cienc Letras Univ São Paulo Geologia 01:89–106
- Alt LR, Moura V (2018) Áreas Prioritárias Para Conservação do Patrimônio Espeleológico, Arqueológico e Paleontológico: Principais Desafios e Recomendações. In: Souza TAR, Auler AS (eds) O Carste de Vazante-Paracatu-Unai: Revelando Importâncias, Recomendando Refúgios. Carste Ciência e Meio Ambiente, Belo Horizonte, pp 238–271
- Auler AS (2016) Cave protection as a karst conservation tool in the environmentally sensitive Lagoa Santa karst, Southeast Brazil. Act Carsolog 45(01):131–145. <https://doi.org/10.3986/ac.v45i2.4429>
- Auler AS, Farrant AR (1996) A brief introduction to karst and caves in Brazil. Proc Univ Bristol Spelaeol Soc 20(03):187–200
- Auler AS, Piló LB (2015) Caves and mining in Brazil: the dilemma of cave preservation within a mining context. In: Andreo B, Carrasco F, Durán JJ, Jiménez P, Lamoreaux JW (eds) Hydrogeological and environmental investigations in karst systems, 1rd edn. Springer, Heidelberg, pp 487–496
- Auler AS, Smart PL (2002) Toca da Boa Vista, Campo Formoso, BA: a maior caverna do hemisfério sul. In: Schobbenhaus C, Campos DA, Queiroz ET, Winge M, Berbert-Born M (eds) Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil. CPRM, Brasília, pp 443–452
- Auler AS, Souza TAR (2018) Gênese de cavernas no Grupo Vazante. In: Auler A, Souza T (eds) O Carste de Vazante-Paracatu-Unai: Revelando Importâncias. Recomendando Refúgios. Carste Ciência e Meio Ambiente, Belo Horizonte, pp 149–175
- Auler AS, Souza TAR, Sé DC, Soares GA (2017) A review and statistical assessment of the criteria for determining cave significance. Geol Soc Sp Pub 466:443–459. <https://doi.org/10.1144/SP466.8>
- Awramik SM, Grey K (2005) In: Hoover RB, Levin GV, Rozanov AY, Gladstone GR (eds) presented at the Optics & Photonics San Diego, California Stromatolites: biogenicity, biosignatures, and bioconfusion, vol 5906, pp 59060P1–59060P2. <https://doi.org/10.1117/12.625556>
- Barton HA, Northup DE (2007) Geomicrobiology in cave environments: past, current and future perspectives. J Cave Karst Stud 69(01):163–178 10.1.1.546.5834
- Baskar S, Baskar R, Kaushik A (2007) Evidences for microbial involvement in the genesis of speleothem carbonates, Borra Caves, Visakhapatnam, India. Curr Sci 92(03):350–355
- Baskar S, Routh J, Baskar R, Kumar A, Miettinen H, Itävaara M (2016) Evidences for microbial precipitation of calcite in speleothems from Krem Syndai in Jaintia Hills, Meghalaya, India. Geomicrobiol J 33: 906–933. <https://doi.org/10.1080/01490451.2015.1127447>
- Berbert-Born M (2002) Carste de Lagoa Santa: berço da paleontologia e da espeleologia brasileira. In: Schobbenhaus C, Campos DA, Queiroz ET, Winge M, Berbert-Born M (eds) Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil (SIGEP), vol 01. CPRM, Brasília, pp 415–430
- Berbert-Born M, Karmann I (2002) Lapa dos Brejões: Vereda Romão Gramacho, Chapada Diamantina, BA: gigantesca caverna e vale cárstico com rico depósito de fósseis do Quaternário. In: Schobbenhaus C, Campos DA, Queiroz ET, Winge M, Berbert-Born M (eds) Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil. CPRM, Brasília, pp 469–479
- Bittencourt JS, Kuchenbecker M, Vasconcelos AG, Meyer KEB (2015) O registro fóssil das coberturas sedimentares do Cráton do São Francisco em Minas Gerais. Geonomos 23:39–62 <https://10.18285/geonomos.v23i2.710>
- Boggiani PC, Sallun Filho W, Karmann I, Gesicki ALD, Philadelphi, NM, Philadelphi M (2009) Gruta do Lago Azul, Bonito, MS: onde a luz do sol se torna azul. In: Schobbenhaus C, Campos DA, Queiroz ET, Winge M, Berbert-Born M (eds) Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil. CPRM, Brasília, pp 57–68
- Bontognali TRR, D'Angeli IM, Tisato N, Vasconcelos C, Bernasconi SM, Gonzales ERG, De Waele J (2016) Mushroom speleothems: stromatolites that formed in the absence of phototrophs. Front Earth Sci 4:49. <https://doi.org/10.3389/feart.2016.00049>
- Bosak T, Knoll AH, Petroff AP (2013) The meaning of stromatolites. Ann Rev Earth and Planetary Sciences 41:21–44
- Braithwaite CJR, Whitton BA (1987) Gypsum and halite associated with the cyanobacterium *Entophysalis*. Geomicrobiol J 05(01):43–55. <https://doi.org/10.1080/01490458709385956>
- Brasil (2008) Decreto Federal 6.640. Presidência da República. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm). Accessed 15 September 2017
- British Columbia Ministry of Forests (1994) Cave/karst management handbook for the Vancouver forest region. In: cave management guidebook. Prov BC, Victoria, BC 13:1–11



- British Columbia Ministry of Forests (2003) Karst management handbook for British Columbia. For BC Min For, Victoria, BC. <https://www.for.gov.bc.ca/hfp/publications/00189/Karst-Mgmt-Handbook-web.pdf>. Accessed 30 August 2019
- Cacchio P, Contento R, Ercole C, Cappuccio G, Martinez ML, Lepidi A (2004) Involvement of microorganisms in the formation of carbonate speleothems in the Cervo Cave, L'Aquila-Italy. *Geomicrobiol J* 21:497–509. <https://doi.org/10.1080/01490450490888109>
- Cajaiba RL (2014) Diagnóstico dos impactos ambientais causados por ações antrópicas em cavernas no município de Uruará, PA. *Rev Meio Amb Sustentab* 06(03):490–507
- Campos Neto MC (1984) Litoestratigrafia, relações estratigráficas e evolução paleogeográfica dos Grupos Canastra e Paranoá (região de Vazante-Lagamar, MG). *Rev Bras Geoc* 14(2):81–91
- Cañaveras JC, Cuezva S, Sanchez-Moral S, Lario J, Laiz L, Gonzalez JM, Saiz-Jimenez C (2006) On the origin of fiber calcite crystals in moonmilk deposits. *Naturwis* 293(1):27–32. <https://doi.org/10.1007/s00114-005-0052-3>
- Cazarin CL, Bezerra FHR, Borghi L, Santos RV, Favoreto J, Brod JA, Auler AS, Srivastava NK (2019) The conduit-seal system of hypogene karst in neoproterozoic carbonates in northeastern Brazil. *Mar Pet Geol* 101:90–107. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2018.11.046>
- CECAV (2019) Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas. CANIE, ICMBIO
- Cigna A (2011) Show cave development with special references to active caves. *Tour Karst Areas* 4:7–16
- Cigna A (2016) Tourism and show caves. *Zeits für Geomorp* 60(Supplem Issues):217–233. [https://doi.org/10.1127/zfg\\_suppl/2016/00305](https://doi.org/10.1127/zfg_suppl/2016/00305)
- Cigna AA, Forti P (2013) Caves: the most important geotouristic feature in the world. *Tour Karst Ar* 6(1):9–26
- Cloud P, Dardenne MA (1973) Proterozoic age of the Bambuí group in Brazil. *Geol Soc Am Bull* 84:673–1676. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1973\)84<1673:PAOTBG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1973)84<1673:PAOTBG>2.0.CO;2)
- Cloud P, Moeri E (1973) Conophyton in the Bambuí Group: What form and age? *Geol* 01(3):127. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1973\)1<127:CITBGW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1973)1<127:CITBGW>2.0.CO;2)
- Cox G, James JM, Armstrong RAL, Leggett KEA (1989b) Stromatolitic crayfish-like stalagmites. *Proc Univ Bristol Spelaeol Soc* 18(03):339–358
- Cox G, James JM, Leggett KEA, Armstrong RAL (1989a) Cyanobacterially deposited speleothems: subaerial stromatolites. *Geomicrobiol J* 07(04):245–252. <https://doi.org/10.1080/01490458909377870>
- CPRM-CODEMIG (2014) Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais. CPRM/CODEMIG. Available at <<http://www.portalgeologia.com.br>>
- Dardenne MA (1972) Os recifes algais da região de Vazante (Minas Gerais, Brasil). In: SBG (ed.), Boletim de Resumos do 26º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, SBG, pp 247–248
- Dardenne MA (1978) Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: SBG (ed.), Boletim de Resumos do 30º Congresso Brasileiro de Geologia, Recife, pp 597–610
- Dardenne MA (2005) Conophytions de Cabeludo, Grupo Vazante, MG - Construções dolomíticas por cianobactérias no Proterozóico. In: Winge M, Schobbenhaus C, Berbert-Born M, Queiroz ET, Campos DA, Souza CRG, Fernandes ACS (eds) Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil. CPRM, Brasília, pp 303–310
- Dardenne MA (2009) Conophyton de Cabeludo, Grupo Vazante, MG: construções dolomíticas por cianobactérias no Proterozóico. In: Winge M, Schobbenhaus C, Berbert-Born M, Queiroz ET, Campos DA, Souza CRG, Fernandes ACS (eds) Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil. CPRM, Brasília, pp 303–310
- Dardenne MA, Campos JEG, Campos Neto M (2009) Estromatólitos Colunares no Sumidouro do Córrego Carrapato, Lagamar, MG. In: Winge M, Schobbenhaus C, Souza CRG, Fernandes ACS, Berbert-Born M, Queiroz ET, Campos DA (eds) Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil. CPRM, Brasília, pp 311–320
- Dardenne MA, Campos Neto M (1975) Ocorrência de Estromatólitos colunares na Série Minas (MG). *Rev Bras Geoc* 3(3):160–180
- Dardenne MA, Walde DHG (1979) A estratigrafia dos Grupos Bambuí e Macaúbas no Brasil Central. In: SBG (ed.), Atas do 1º Simpósio de Geologia de Minas Gerais, SBG, Diamantina, pp 43–53
- DuChene HR (2000) Bedrock features of Lechuguilla Cave, Guadalupe Mountains, New Mexico. *J Cave Karst Stud* 62(2):109–119
- Fairchild TR, Rohn R, Dardenne MA, Alvarenga CJ, Guimarães EM (2015) Microbialitos dos Grupos Paranoá (Mesoproterozoico) e Vazante (Neoproterozoico), Distrito Federal, Goiás e Minas Gerais. In: Fairchild TR, Rohn R, Dimas-Brito D (eds) Microbialitos do Brasil do Pré-cambriano ao Recente: um Atlas, 1rd edn. UNESP-IGCE-UNESPetro, São Paulo, pp 90–151
- Fairchild TR, Sanchez EAM (2015) Microbialitos no Brasil: panorâmica de ocorrências e guia de caracterização morfológica. In: Fairchild TR, Rohn R, Dimas-Brito D (eds) Microbialitos do Brasil do Pré-cambriano ao Recente: um Atlas, 1rd edn. UNESP-IGCE-UNESPetro, São Paulo, pp 22–41
- Fraga LMS, Neves SC, Pires GLP, Tibães A, Uhlein A (2013) Estromatólitos colunares na base do Grupo Macaúbas, nordeste da Serra do Espinhaço, MG: paleontologia e ambiente de sedimentação. *Geonomos* 21(01):34–43. <https://doi.org/10.18285/geonomos.v21i1.254>
- FSE (2013) European Speleological Federation. All Rights Reserved. ISSN 1817-0684 [http://www.eurospeleo.eu/en/?option=com\\_content&view=article&id=15&Itemid=22](http://www.eurospeleo.eu/en/?option=com_content&view=article&id=15&Itemid=22). Accessed 15 June 2018
- Gillieson DS (1996) Caves, processes, development, management. Blackwell publishers, Malden
- Gomes NANC (1985) Modern stromatolites in a karst structure from the Malmani subgroup, Transvaal sequence, South Africa. *Trans Geol Soc S Afr* 88:01–09
- Gradzinski M, Banas M, Uchman A (1995) Biogenic origin of manganese flowstones from Jaskinia Czarna Cave, Tatra Mts., Western Carpathians. *Ann Soc Geol Pol* 65:19–27
- Guimarães SB, Reis Neto JM, Siqueira RBL (2002) Caracterização dos estromatólitos da Formação Capiru (Proterozoico) nas regiões de Morro Azul e Morro Grande. *Bol Paran Geoc* 51:77–88
- Hasui Y (2012) O Cráton São Francisco. In: Hasui Y, Carneiro CDR, Almeida FFM, Bartorelli A (eds) Geologia do Brasil. Ed Beca, São Paulo, pp 200–227
- Healy PF (2007) The anthropology of mesoamerican caves. In: Brady JE, Keith MP (eds) In the Maw of the Earth Monster: mesoamerican ritual cave use, *Rev Anthropol*, vol 36, pp 245–278
- Hofmann HJ (1973) Stromatolites: characteristics and utility. *Earth-Sci Rev* 09:339–373. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(73\)90002-0](https://doi.org/10.1016/0012-8252(73)90002-0)
- Jass CN, George CO (2010) An assessment of the contribution of fossil cave deposits to the quaternary paleontological record. *Quat Int* 217:105–116. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.11.008>
- Jones B (2001) Microbial activity in cave: a geological perspective. *Geomicrobiol J* 18:345–357. <https://doi.org/10.1080/01490450152467831>
- Klein C, Beukes NJ, Schopf JW (1987) Filamentous microfossils in the early proterozoic transvaal supergroup: their morphology, significance, and paleoenvironmental setting. *Precambrian Res* 36:81–94. [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(87\)90018-0](https://doi.org/10.1016/0301-9268(87)90018-0)
- Klimchouk A, Auler AS, Bezerra FHR, Cazarin CL, Balsamo F, Dublyansky Y (2016) Hypogenic origin, geologic controls and functional organization of a giant cave system in Precambrian carbonates, Brazil. *Geomorp (Amst)* 253:385–405. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.11.002>
- Kusky TM, Vanyo JP (1991) Plate reconstructions using stromatolite heliotropism: principles and applications. *J Geol* 99:321–335

- Leung Y-F, Spenceley A, Hvenegaard G, Buckley R (2018) Tourism and visitor management in protected areas: guidelines for sustainability. International Union for Conservation of Nature, Switzerland
- Leveille RJ, Fyfe WS, Longstaffe FJ (2000) Geomicrobiology of carbonate-silicate microbialites from Hawaiian basaltic sea caves. *Chem Geol* 169:339–355. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(00\)00213-8](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(00)00213-8)
- Leveille RJ, Fyfe WS, Longstaffe FJ (2002) Kerolite in carbonate-rich speleothems and microbial deposits from basaltic caves, Kauai, Hawaii. *Clays Clay Min* 50(04):514–524. <https://doi.org/10.1346/000986002320514235>
- Lipps JH (2009) PaleoParks: our paleontological heritage protected and conserved in the field worldwide. In: Lipps JH, Granier BRC (eds) *PaleoParks: the protection and conservation of fossil sites worldwide*, vol 03(01). Carnets Géo/Noteb Geo, Brest, pp 01–10
- Lopes JN (1995) *Faciologia e gênese dos carbonatos do Grupo Bambuí na região de Arcos, estado de Minas Gerais*. Universidade de São Paulo, Dissertation
- Lozano RP, Rossi C (2012) Exceptional preservation of Mn-oxidizing microbes in cave stromatolites, El Soplao, Spain. *Sediment Geol* 255-256:42–55. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2012.02.003>
- Maggio CD, Madonia G, Parise M, Vattano M (2012) Karst of Sicily and its conservation. *J Cave Karst Stud* 74(02):157–172. <https://doi.org/10.4311/2011JCKS0209>
- Marchese HG (1974) Estromatolitos "gymnosolenidos" en el lado oriental de Minas Gerais, Brasil. *Rev Bras Geoc* 04:257–271
- Melin LA, Shinglman KM, Boston PJ (2001) Evidence for microbial involvement in pool finger precipitation, hidden cave, New Mexico. *Geomicrobiol J* 18(03):311–329. <https://doi.org/10.1080/01490450152467813>
- Minas Gerais (2005) *Fundação Estadual do Meio Ambiente: Termo de referência para elaboração de estudos de impacto ambiental para atividades minerárias em áreas cársticas no estado de Minas Gerais*, 28 pp
- MMA (2017) Instrução Normativa N. 2. Ministério do Meio Ambiente, <[http://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/19272154](http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/19272154)>. Accessed 13 February 2018
- Moeri E (1972) On a columnar stromatolite in the Precambrian Bambuí Group of Central Brazil. *Eclogae Geol Helv* 65:185–195
- Moyes H (1998) The cave as a cosmogram: function and meaning of Maya speleothem use. In: Colas PR, Delvendahl K, Kuhnert M, Schubart A (eds.), *the sacred and the profane architecture and identity in the Maya lowlands*, 3rd edn. Eur Maya Conf Univ Hamburg. *Acta Mesoam* 10:137–148
- Nogueira GMS, Dardenne MA (1992) Caracterização dos dolomitos biohermais estromatolíticos da Região de Lagamar. In: SBG (ed.), *Boletim de Resumos do 37º Congresso Brasileiro de Geologia*, SBG, São Paulo, pp 70–71
- Northup DE, Dahm CN, Melim LA, Spilde MN, Crossey LJ, Lavoie KH, Mallory LM, Boston PJ, Cunningham KI, Barns SM (2000) Evidence for geomicrobiological interactions in Guadalupe caves. *J Cave Karst Studies* 62(2):80–90
- Okonkwo EE, Afoma E, Martha I (2017) Cave tourism and its implications to tourism development in Nigeria: a case study of Agu-Owuru cave in Ezeagu. *Int J Res Tour Hosp* 3(3):16–24. <https://doi.org/10.20431/2455-0043.0303003>
- Reis PVM, Rodrigues RR, Ferreira AC, Ibrahim L, Quaglio F (2019) Classificação do grau de dificuldade da Gruta Ronan I, Coromandel, MG. In: Zampaulo RA (ed) *Boletim de resumos do Congresso brasileiro de espeleologia*. SBE, Bonito, pp 214–216
- Ribeiro A, Paciullo FVP, Senra AS, Valeriano CM, Trouw RAJ (2008) Nota explicativa da Folha Piumhi (SF.23-V-B-II), Minas Gerais. UFRJ/CPRM, Rio de Janeiro
- Ribeiro AA, Reino JCR, Cruz JB (2019) Histórico e fundamentação legal. In Cruz JB Piló LB (2019)
- Ribera C, Elverici M, Kunt KB, Özkütük RS (2014) *Typhlonesticus goemeni* sp n, a new cave-dwelling blind spider species from the Aegean region of Turkey (Araneae, Nesticidae). *ZooKeys* 419:87–102. <https://doi.org/10.3897/zookeys.419.5739>
- Rubbioli EL, Auler AS, Menin D, Brandi R (2019) *Cavernas. Atlas do Brasil Subterrâneo*, 1rd edn. IABS, Brasília
- Sallun Filho W, Fairchild TR (2004) Os estromatólitos do Grupo Itaiacoca ao sul de Itapeva, São Paulo. *Rev Bras Paleol* 7(3):359–370
- Sallun Filho W, Fairchild TR (2005) Estudo comparativo entre estromatólitos do tipo *Conophyton* das faixas Ribeira e Brasília. *Rev Inst Geo* 26:1–18
- Santucci VL, Kenworthy J, Kerbo R (2001) An inventory of paleontological resources associated with national park service caves. U.S. depart Int, Nat Park Serv, GRD technical report NPS/NRGRD/GRDTR-01/02 (NPS publication D-2231)
- Schirrmeyer BE, Gugger M, Donoghue PCJ (2015) Cyanobacteria and the great oxidation event: evidence from genes and fossils. *Palaeontology* 58:769–785. <https://doi.org/10.1111/pala.12178>
- Schobbenhaus C, Campos DA, Queiroz ET, Winge M, Berbert-Born M (2002) *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. CPRM, Brasília
- Schopf JW, Kudryavtseva AB, Czajac AD, Tripathi AB (2007) Evidence of Archean life: stromatolites and microfossils. *Precambrian Res* 158(2007):141–155. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2007.04.009>
- Shinzato E (1998) *O carste da área de proteção ambiental de Lagoa Santa (MG) e sua influência na formação dos solos*. Dissertation, Universidade Estadual do Norte Fluminense
- Sial A, Dardenne MA, Misi A, Pedreira A, Ferreira VP, Silva Filho MA, Uhlein A, Pedrosa-Soares AC, Santos RV, Egydio-Silva M, Babinski M, Alvarenga CJ, Pimentel MM (2009) The São Francisco Palecontinent. In: Gaucher C, Sial A, Halverson G, Frimmel H (eds) *Neoproterozoic-Cambrian tectonics, global change and evolution: a focus on outwestern Gondwana*. Elsevier, London, pp 31–69
- Skrbinšek AM (2009) Report on the implementation of the Bern Convention in Slovenia: convention on the conservation of European wildlife and natural habitats, 29th meeting. T-PVS Inf (14):01–21
- Souza TAR, Franca L, Auler AS (2018) O Carste - Importância e Fragilidade. In: Souza TAR, Auler AS (eds) *O Carste de Vazante-Paracatu-Unai: Revelando Importâncias. Recomendando Refúgios*. Carste Ciência e Meio Ambiente, Belo Horizonte, pp 19–43
- Srivastava NK (1982) Algumas observações sobre os estromatólitos dos Grupos Una (Bahia) e Vaza Barris (Sergipe), Nordeste do Brasil. *Ciê Terra* 03:07–11
- Srivastava NK (2002) Lagoa Salgada, RJ - Estromatólitos recentes. In: Schobbenhaus C, Campos DA, Queiroz ET, Winge M, Berbert-Born M (eds) *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. CPRM, Brasília, pp 203–209
- Srivastava NK, Rocha AJD (2002a) Fazenda Arrecife (Bahia): Estromatólitos Neoproterozóicos. In: Schobbenhaus C, Campos DA, Queiroz ET, Winge M, Bebert-Born M (eds) *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. CPRM, Brasília, pp 95–100
- Srivastava NK, Rocha AJD (2002b) Fazenda Cristal (Bahia): Estromatólitos Mesoproterozóicos. In: Schobbenhaus C, Campos DA, Queiroz ET, Winge M, Bebert-Born M (eds.), *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*, CPRM, Brasília, pp 95–100
- Stephens M, Hodge S, Paquette J (2013) Geoconservation of Volivoli Cave, Fiji: a prehistoric heritage site of national significance. *Geoherit* 05:123–136. <https://doi.org/10.1007/s12371-013-0075-7>
- Uhlein GJ, Uhlein A, Stevenson R, Halverson GP, Caxito FA, Cox G (2017) Early to late Ediacaran conglomeratic wedges from a complete foreland basin cycle in the southwest São Francisco Craton, Bambuí Group, Brazil. *Precam Res* 299:101–116

- United States Congress (1988) Federal Cave Resources Protection Act 1988 (FCRPA) 16 U.S.C. 4301–4310
- Vasconcelos AG (2016) Levantamento do Potencial Paleontológico das Cavidades Inseridas no Município de Montalvânia, Minas Gerais. Relatório técnico. 66p
- Vasconcelos AG, Bittencourt J (2018) Desenterrando a vida do passado. Potencial paleontológico em cavernas. In: Souza TAR, Auler AS (eds) O Carste de Vazante-Paracatu-Unai: Revelando Importâncias, Recomendando Refúgios. Carste Ciência e Meio Ambiente, Belo Horizonte, pp 215–237
- Vasconcelos AG, Eliziario NT, Bittencourt J (2016) Estromatólitos como ferramenta para valoração de cavidades naturais. In: SBP (ed.), Anais do 48º Congresso Brasileiro de Paleontologia, SBP, Porto Alegre, pp 5932
- Vieira LC, Almeida RP, Trindade RIF, Nogueira ACR, Janikian L (2007) A Formação Sete Lagoas em sua área-tipo: fácies, estratigrafia e sistemas deposicionais. *Rev Bras Geoc* 37(4):2–14
- Walter MR, Bauld J, Brock TD (1976) Microbiology and morphogenesis of columnar stromatolite (*Conophyton*, *Vaccarella*) from Hot Springs in Yellowstone National Park. In: Walter MR (ed) *Developments in sedimentology*, vol 6.2. Elsevier, Amsterdam, pp 273–310
- Williams PW (2008) World heritage caves and karst: a thematic study. World heritage Conv. IUCN Programme on protected areas, WCPA, IUCN, International Union for Conservation of nature, gland <https://www.iucn.org/sites/dev/files/import/downloads/cavesandkarstwh.pdf>. Accessed 30 August 2019
- Winge M, Schobbenhaus C, Souza CRG, Fernandes ACS, Berbert-Born MLC, Queiroz ET, Campos DA (2009) Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil. CPRM, Brasília
- Winge M, Schobbenhaus C, Souza CRG, Fernandes ACS, Berbert-Born MLC, Sallun Filho W, Queiroz ET (2013) Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil. CPRM, Brasília
- Zaine MF (1991) Análise dos fósseis de parte da Faixa Paraguai (MS, MT) e seu contexto temporal e paleoambiental. Dissertation, Universidade de São Paulo

**CAPÍTULO DE LIVRO****Desenterrando a vida do passado - potencial paleontológico em cavernas**

Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/330964156>

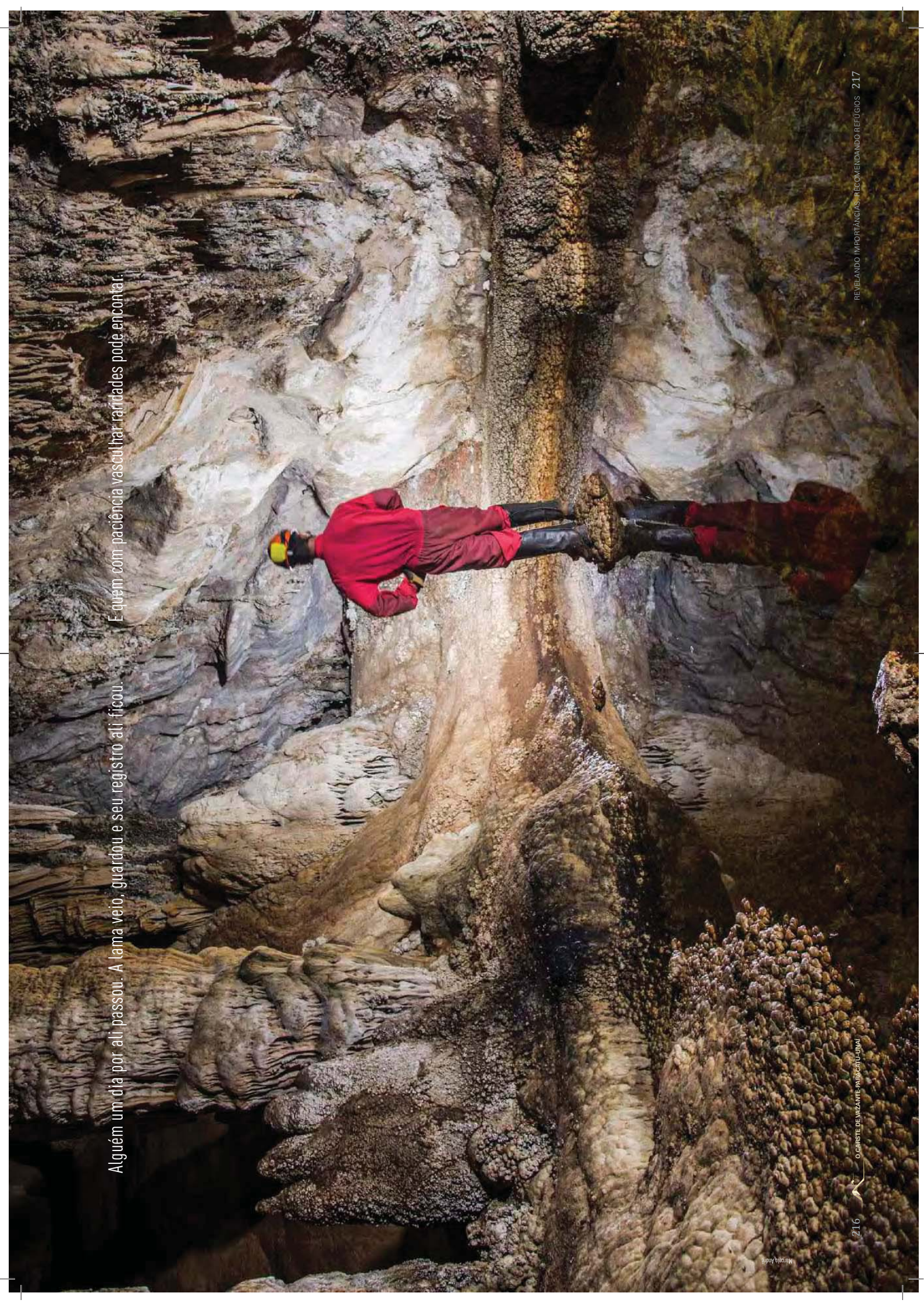
# 7

*Descoberto a vida do passado.*



## POTENCIAL PALEONTOLÓGICO EM CAVERNAS

Alguém um dia por ali passou. A lama veio, guardou e seu registro ali ficou. E quem com paciência vasculhar raridades pode encontrar.



André Vasconcelos  
Jonathas Bittencourt



**P**aleontologia é o ramo da ciência que se ocupa em estudar as evidências de organismos que existiram há mais de 11.700 anos, data de início da época geológica atual, o Holoceno. Essas evidências são chamadas fósseis e constituem o objeto de estudo do paleontólogo.

Os fósseis podem ser divididos em duas categorias: restos orgânicos propriamente ditos, como troncos de árvores, ossos, dentes e conchas; e vestígios, quando apenas traços da existência de organismos são preservados, incluindo, por exemplo, pegadas, trilhas, excrementos e marcas de escavação. Restos de organismos ou de seus vestígios que foram soterrados, mas têm menos de 11.700 anos, são chamados de subfósseis.

A partir desses achados, pode-se compreender melhor a dinâmica e a evolução do planeta, assim como a dos organismos que nele viviam. Nesse sentido, o levantamento do potencial paleontológico é de grande importância, uma vez que, a partir das novas descobertas, pode-se aumentar o número de informações sobre organismos extintos e, assim, gerar mais dados sobre os ambientes e as relações ecológicas do passado.

Devido à sua extensão territorial e à presença de ambientes sedimentares propícios para a preservação de fósseis, Minas Gerais possui um amplo registro paleontológico, tanto do ponto de vista temporal quanto espacial. O Estado também possui uma posição de destaque por ter sido o local onde o naturalista dinamarquês Peter Lund iniciou, na primeira metade do século XIX, a pesquisa paleontológica no Brasil. Seu legado inclui a descrição de diversas espécies de mamíferos do período Quaternário (que abrange os últimos 2,5 milhões de anos) coletadas em grutas calcárias ao longo da bacia do Rio das Velhas e até então desconhecidas da ciência.

É nas cavernas que ocorre o maior número de achados fósseis de mamíferos no Brasil. Isso se deve a características peculiares que normalmente estão relacionadas a esses ambientes, como ausência de predadores e neotrogos, temperatura e umidade constantes, incidência reduzida de luz solar, que proporcionam uma melhor preservação de restos orgânicos (Lund, 1837). Além de mamíferos, fósseis de outros grupos taxonômicos também são encontrados nesses ambientes, incluindo invertebrados com partes mineralizadas, como as conchas de caramujos, e outros vertebrados, como anfíbios, aves e répteis. Restos de vegetais recobertos por carbonatos também já foram mencionados para cavidade no Rio Grande do Norte (Ferreira *et al.*, 2010).

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos a partir do levantamento paleontológico realizado nas cavidades naturais na região dos municípios de Vazante, Unaí e Paracatu, incluindo a descrição dos depósitos de relevância paleontológica, seus fósseis e subfósseis, além das interpretações que podem ser realizadas a partir deles.

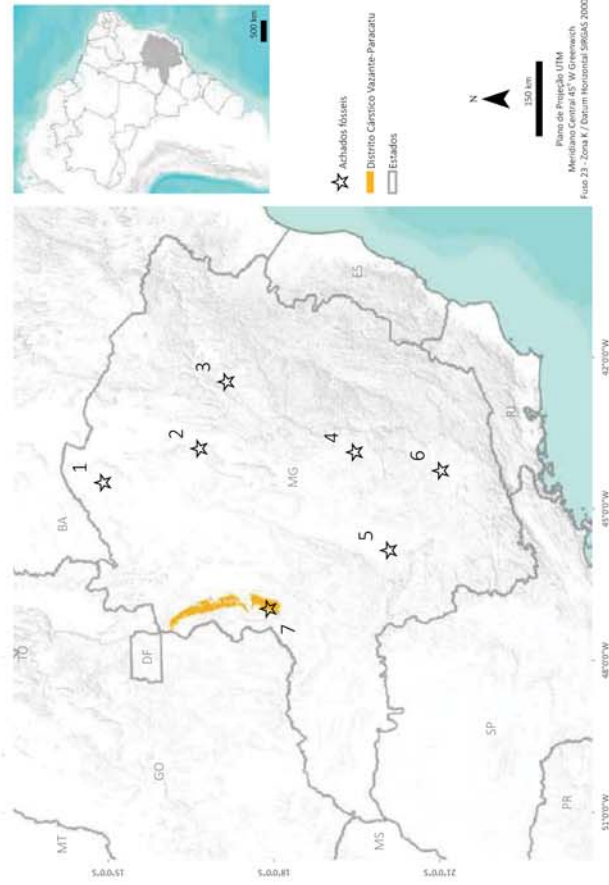


## FÓSSEIS DE CAVERNAS EM MINAS GERAIS

A maioria dos achados fósseis relacionados com depósitos de cavernas em Minas Gerais se concentra no Carste de Lagoa Santa (Paula Couto, 1958). Mesmo sendo pesquisadas desde a época de Lund, até hoje são reportados achados importantes para as cavidades desenvolvidas nesta região (Vasconcelos *et al.*, 2015).

Bem menos explorada, a região cárstica de Arcos-Pains-Doresópolis também preservou fósseis e subfósseis de mamíferos em cavidades naturais, como o de um gambá (família Didelphidae) e de um mastodonte *Mastododon platensis* (Ameghino, 1888). Há também restos de roedores e de peiros-do-mato na região cárstica de Montebáñia, norte do Estado, sendo que os últimos estão depositados na coleção do Museu de História Natural e Jardim Botânico da Universidade Federal de Minas Gerais. Fósseis em cavernas também são reportados a Confinsburgo, Montes Claros, Minas Novas e às regiões do Vale do Peruaçu, de Curvelo-Baldim e de São João del-Rei, este provavelmente o mais antigo registro no Estado (Cartelle, 2017).

## Localização das regiões onde são reportados achados fósseis em cavidades naturais no Estado de Minas Gerais



(1) Carste de Montebáñia e Peruaçu; (2) Montes Claros; (3) Minas Novas; (4) Carste de Lagoa Santa e Baldim-Confinsburgo; (5) Carste de Arcos-Pains-Doresópolis; (6) São João del-Rei e (7) Vazante.

As cavidades que apresentaram restos orgânicos recentes ou fósseis e/ou um grande volume de sedimentos preservados em seu interior foram alvo de estudos mais detalhados. Assim, para o levantamento da potencialidade fossilífera da área de estudo, foram realizadas inspeções das superfícies dos depósitos sedimentares e identificação do material orgânico ali depositado.

## DEPÓSITOS SEDIMENTARES EM CAVERNAS

A natureza e a dinâmica dos depósitos sedimentares das cavernas são fatores cruciais para a preservação de fósseis nesses ambientes. A ocorrência de depósitos sedimentares clásticos (aqueles formados por partículas de areia, silte, cascalho) que provêm do exterior somada à grande quantidade de depósitos químicos, em geral formados pela precipitação de carbonato de cálcio (calcita), aumenta o potencial de preservação de restos orgânicos e, consequentemente, o valor científico da cavidade.

Os carbonatos presentes no sedimento clástico ou que se depositam sobre o piso, as paredes e o teto podem criar um ambiente protetor para os restos orgânicos, principalmente para as partes duras, como conchas, carapaças, ossos e dentes, favorecendo sua preservação (Lund, 1837). O mesmo ocorre com os depósitos formados por sedimentos de granulometria fina e bem selecionados, indicando a ocorrência de ambientes de sedimentação calmos. Nesse caso, a relevância do ponto de vista paleontológico é significativa, uma vez que tais localidades favorecem a preservação de partes menores e mais frágeis do esqueleto. Já os depósitos constituídos de conglomerados e brechas, que são rochas formadas pela mistura de fragmentos minerais com mais de 2 milímetros de diâmetro cimentados por um sedimento mais fino, são mais comuns em ambientes de alta energia, fato que pode ocasionar a destruição parcial ou total dos restos orgânicos, prejudicando sua preservação dentro das cavernas.



Modelos de possíveis tipos de depósitos cavernícolas: (1) Grupo de rocha orgânica; (2a) e (2b) Depósitos químicos, respectivamente paleolítico e eoceno; (3) Blocos desmoronados; (4) Sedimentos mais resistentes (argila, areia, cascalho); (5a) e (5b) Brechas sedimentar e fossilífera, respectivamente; (6) Substratos (conchas e ossos). Relecionado de Lino e Azeite (1993).



Em todas as cavidades visitadas na área de estudo, depósitos clásticos, químicos e orgânicos estavam presentes em quantidades variáveis. Neste contexto, os achados fósseis mais relevantes, incluindo os espécimes identificáveis taxonomicamente, estão associados a depósitos clásticos de granulometria fina, apresentando-se parcialmente soterrados, completamente expostos e/ou recobertos por depósitos químicos. É o caso dos depósitos fossilíferos preservados nas grotas da Gamaleira, Quartaço Severino e da Fenúinha. A cavidade VI-0001 não continha restos fósseis aflorados, mas a ocorrência de expressivos depósitos sedimentares, principalmente de granulometria fina, sugere um elevado potencial de preservação.



## PROCESSOS DE FOSSILIZAÇÃO EM CAVERNAS

Fossilização é o conjunto de processos pelos quais se preservam os restos e/ou vestígios orgânicos incorporados no ambiente sedimentar. Inúmeros são os processos de fossilização descritos na literatura que podem propiciar a preservação das partes duras (ex.: ossos e conchas) e das partes moles (ex.: músculos e pele) dos organismos (Mendes, 1977). Conforme relatado em trabalhos envolvendo fósseis coletados em cavernas carbonáticas, as partes duras dos organismos podem sofrer, basicamente, cinco processos de fossilização: substituição, incrustação, cimentação e impressões/molde (Cartelle, 2012).

Na substituição, os minerais originais do resto orgânico são dissolvidos e aqueles provenientes do meio se cristalizam, ocupando o seu lugar e assim criando uma réplica do resto orgânico. A incrustação, por outro lado, é definida pela precipitação de minerais na superfície externa do resto orgânico, criando uma capa protetora que o envolve.

Já a permineralização ocorre quando os minerais do meio são incorporados aos restos orgânicos, penetrando na sua estrutura interna e precipitando em poros e canais. A cimentação ocorre quando há precipitação de minerais no sedimento que contém restos orgânicos, deixando-o com uma dureza elevada. Quando o organismo ou suas partes caem no sedimento e sofrem um processo lento de degradação, sua forma pode ficar "impressa" na rocha, gerando então as impressões e os moldes. A diferença entre eles é que os moldes são estruturas de relevo mais profundo, enquanto que as impressões têm relevo baixo, quase bidimensional, na rocha.

Embora mais rara, há a preservação de tecidos moles dos organismos, como músculos, pele e pelos, que podem sofrer processos de desidratação (mumificação) ou preservação pelo gelo (criopreservação) (Shimer, 1966). Há ainda os vestígios de organismos preservados como estrutura deposicional da rocha onde a caverna se desenvolve, que é o caso dos estromatólitos. Esse termo se refere às estruturas constituídas por finas lâminas sobrepostas, com formato convexo, geralmente observadas em calcários, sendo resultantes do crescimento de colônias fixas de bactérias fotossintetizantes em ambiente aquático. Esses fósseis são consideradas como a evidência mais antiga de vida na terra, os mais antigos com uma idade de cerca de 4 bilhões de anos.

Para as cavernas visitadas, são reportados os seguintes processos de fossilização: osso de um pequeno vertebrado que sofreu o processo de substituição e de restos de uma preguiça-terricola cimentada e incrustada na Gruta da Gardião Severino; preguiças-terricolas permineralizadas e incrustadas por calcita na Gruta da Fendinha; e ainda um gambá mumificado (subfóssil) na Lapa Nova. Os invertebrados, basicamente conchas de gastrópodes, também sofreram incrustação e/ou cimentação, e ainda alguns foram encontrados como moldes. Estromatólitos também foram observados na área, tanto fora quanto no interior das cavernas.

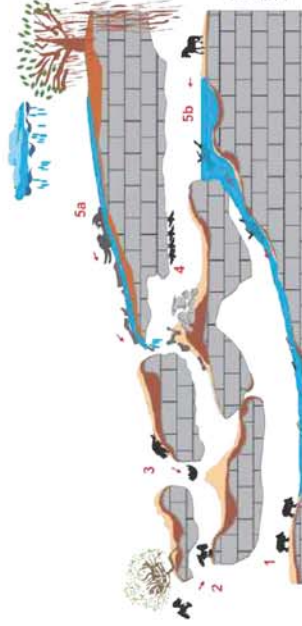
O estudo dos processos de fossilização também envolve o modo de incorporação dos restos orgânicos no ambiente sedimentar, permitindo distinguir organismos que fazem parte do ambiente cavernícola daqueles que foram transportados para lá.



Ossos de morcegos que sofreram diferentes tipos de fossilização, sendo crânio recente (A) e fossilizados por incrustação (B) e por substituição (C). Escala: 20 mm. Material depositado no Laboratório de Paleontologia do Museu de Ciências Naturais PUC Minas.



Exemplos de conchas de gastrópodes que sofreram os processos de fossilização por cimentação (A) e por molde (B). Escala: 5 cm.



Hipóteses de entrada de animais (ou de seus restos) no interior das cavidades: (1) à procura de água ou sal; (2) entrappedos por presadões; (3) queda através de fendas verticais; (4) à procura de abrigo (ex.: morcegos); (5a) levados por correntezas de água - somente no osso; (5b) levados por correntezas de água - como caracais. Escala: 20 mm.

Em geral, a ocorrência de restos de vertebrados em cavernas naturais se deve: (1) à entrada do animal na cavidade de maneira acidental (quedas em fendas) ou ativamente em busca de recursos (habitação, abrigo temporário, nutrientes); ou (2) transportado por fatores físicos (fluxos de água) ou biológicos (carreamento por predador) (Lund, 1837).

Os diversos mecanismos de entrada de organismos em cavernas, em geral, resultam na formação de depósitos fósseis constituídos por elementos incorporados ao longo de muito tempo. Esse fenômeno é comum em ambientes com sedimentação lenta ou episódica, sendo chamado de mistura temporal (Staff et al., 1986). Na Lapa Nova, por exemplo, foi observado, por meio de datações radiométricas, que os restos de cervídeos foram ali depositados em um intervalo entre 5.890 e 790 anos atrás (Hubbe e Auler, 2012). Em alguns casos, a mistura temporal pode prejudicar o trabalho de reconstrução paleoambiental, porque traz na mesma localidade espécies que viveram em condições ambientais distintas.

Em se tratando dos mecanismos de transporte de vertebrados observados na área de estudo, destacam-se os restos levados por predadores, pela ação da água ou pela ação do homem. Nas proximidades das entradas das cavidades VT-0001 e Gardião Severino, especialmente, grandes concentrações de microvertebrados, como pequenos roedores e morcegos, estão depositadas sobre pisos e patamares. No caso da cavidade Gardião Severino, os restos estão associados a pellets de regurgito recente de corujas. Muitas aves, incluindo espécies de rapina como as corujas, regurgitam restos não digeridos de suas presas, incluindo partes de insetos, penas, pelos, ossos e dentes. Esse material é expelido sob a forma de pellets compactados, com alto potencial de preservação em cavernas com baixa umidade e baixa incidência de luz. Quando essas pellets se destacam, o material preservado em seu interior, como os pequenos

ossos, se solta, gerando grandes acúmulos sobre o piso das grutas. Por apresentarem restos orgânicos, as pelotas de reguinho são importantes fontes de informação ecológica e, no caso de pelotas fossilizadas, paleontológica.

Já os restos de outros grupos de vertebrados podem ter sido carneados pelas águas ou por predadores, uma vez que há apenas ossos isolados preservados, como fragmentos de crânio, ossos longos (braços e pernas) e podais (ossos de mãos e pés), como observado nas cavidades VF-0001, VF-0003, VF-0167, VF-0193, VF-0197, Gruta Gamelaia, Lapa Nova, Lapa Nova II. Em primeira análise, pelo fato de os ossos não apresentarem marcas de dentes, a ação de predadores foi descartada. Esqueletos encontrados parcial ou completamente articulados foram interpretados como morte do animal no próprio local, uma vez que fluxos hidráulicos tendem a desarticulá-los. Restos desse tipo, tanto recentes quanto fósseis e subfósseis, foram observados nas cavidades VF-0167, Gruta Gamelaia, Gruta Guardião Severino e Gruta da Fendinha.

Um estudo prévio na cavidade Lapa Nova (Hubbe e Auler, 2012) constatou que uma grande quantidade de esqueletos de cervídeos preservados em um de seus condutos pode estar relacionada a quedas acidentais desses animais. Segundo os autores, um desnível abrupto impossibilitava o retorno dos animais que ali caíam; com isso, eles morriam na caverna. Já a ausência de crânios e o alto grau de fragmentação dos ossos foram atribuídos às atividades turísticas na caverna. Nesse caso, os próprios visitantes, desavisados da importância científica do material, coletam e pisoteiam os esqueletos.



Grande concentração de restos de microvertebrados junto a raios, próxima à entrada subterránea da cavidade VF-0001. Escala: 7 cm.

Restos de animais domésticos como cães, galinhas e bovinos foram localizados em relativa abundância nas entradas das cavidades Guardião Severino e Gruta da Gamelaia. Esses depósitos podem ser atribuídos à ação antrópica de descarte dos animais, hipótese que pode ser sustentada: 1) pela proximidade com áreas construídas (município, fazenda); 2) pela ocorrência exclusiva de animais domésticos; 3) pela presença de esqueletos articulados e em associação, não apresentando marcas de fraturas ou predação. Adicionalmente, foram observadas evidências indiretas de animais selvagens: pegadas e fezes de vertebrados, bem como ninhos e tubos de invertebrados.

Outro aspecto importante é a presença de animais vivos na cavidade, assim como de seus restos recentes, demonstrando que a cavidade recebeu até recentemente – ou ainda recebe – fluxo de organismos. Dentre estes, os mais relevantes são os que possuem partes duras, como conchas de gastrópodes terrestres, ossos e dentes de vertebrados.

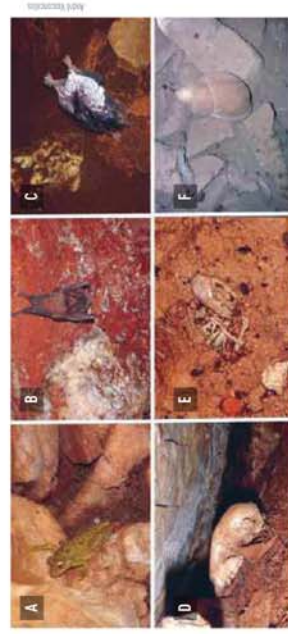
Em sete cavidades foram observados animais vivos, como peixes (VF-0047), anuros (VF-0008 e VF-0197), conuja (Gruta Guardião Severino), maritacas (VF-0001), morcegos (VF-0003, VF-0008, VF-0012, VF-0014, VF-0047, VF-0134, VF-0197, Lapa Nova), além de cachorro doméstico (Lapa Nova).



Esqueletos de moribhos (*Bos sp.*) próximos à entrada da Gruta Guardião Severino.



Vestígios recentes de organismos observados em algumas cavidades visitadas: (A) Caixa de ovo de ave (VF-0171); (B) Fezes de tamandá; (C) Pelotas de reguinho de coruja; (D) Ninho de vespa; (E) Tubo de cupim (Termiteidae); (F) Pegadas de mamífero.



Animais vivos e restos recentes observados em algumas cavidades visitadas: (A) Anuro (*Bhineia*) (VF-0197); (B) Morcego (VF-0134); (C) Caraca de morcego (Lapa Nova); (D) Crânio de psamim (*Pipomys sp.*) (VF-0193); (E) Restos de reator (VF-0001); (F) Concha de gastrópode terrestre (VF-0167).

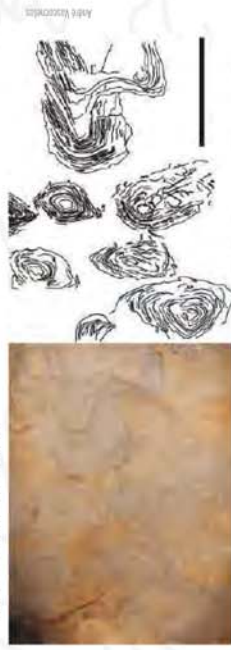
As estruturas são colunares, com tamanhos e cores variáveis, observadas em seção transversal ou longitudinal.

Na entrada da cavidade VT-0004, é possível observar estromatólitos do tipo *Conophyton* preservados tanto em seção vertical quanto horizontal. Apesar da exposição a intempéries (clima e vegetação), os estromatólitos se encontram bem preservados, com laminação bem definida. Já em seu interior, praticamente todas as paredes e teto são formados por estromatólitos, observados principalmente em seções horizontais e com laminação em alto relevo. Devido aos processos de dissolução, alguns estromatólitos nessa caverna são muito frágeis, desfazendo-se facilmente à manipulação.

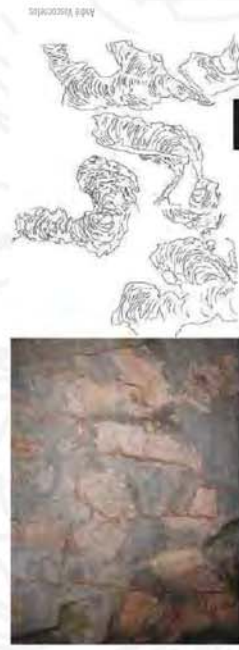
Já os afloramentos estromatolíticos observados na cavidade VT-0047 se encontram com sua superfície polida, provavelmente pela ação da água. As colunas estão preservadas no mesmo plano da matriz carbonática e apresentam laminações com cor rosada, conforme descrito por Dardarne *et al.* (2009) para outros afloramentos da região.

Na Gruta da Fendinha foram observados estromatólitos colunares com cerca de 7 centímetros de diâmetro nas colunas, que se apresentam de forma variável quanto à preservação: alguns em excelente estado, com laminação preservada em alto relevo; outros com lâminas de difícil visualização devido ao intemperismo.

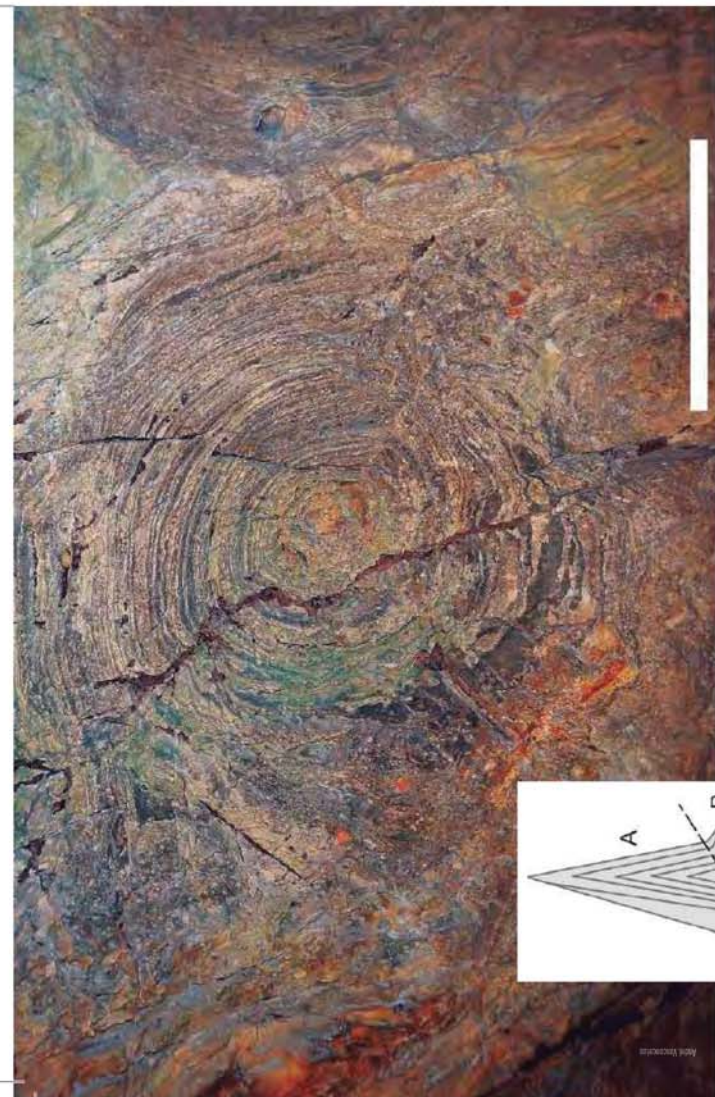
### INVERTEBRADOS TERRESTRES



Em seções horizontais, estromatólitos tipo *Conophyton* preservados no teto da cavidade VT-0004. Escala: 80 cm.



Estromatólitos cilíndricos preservados em seções longitudinais e transversais, em bloco batido na cavidade VT-0047. Escala: 3 cm.



Estromatólitos preservados no teto da cavidade VT-0197, onde é possível notar suas laminações preservadas em alto relevo. Escala: 20 cm. A esquerda, apresentação de seção vertical (A) e horizontal (B) de estromatólitos colunares. Modificado de Miori (1972).

### ESTROMATÓLITOS

Estromatólitos já são conhecidos para o carste da região de estudo desde a década de 1970 (Miori, 1972), porém, até então, a presença dessas estruturas no interior das cavernas não havia sido reportada. Nos calcários onde as cavidades VT-0004, VT-0047, VT-0051, VT-0197 e Gruta da Fendinha se desenvolvem, foram observados estromatólitos colunares do tipo *Conophyton* e esteiras microbianas. Estas últimas são estruturas também formadas por microorganismos, mas, neste caso, as lâminas são horizontais, e não convexas como nos estromatólitos. Até o momento, há apenas um registro confirmado na literatura desses fósseis para cavernas brasileiras, localizado no carste de Arcos-Pains-Doresópolis (Vasconcelos *et al.*, 2016).



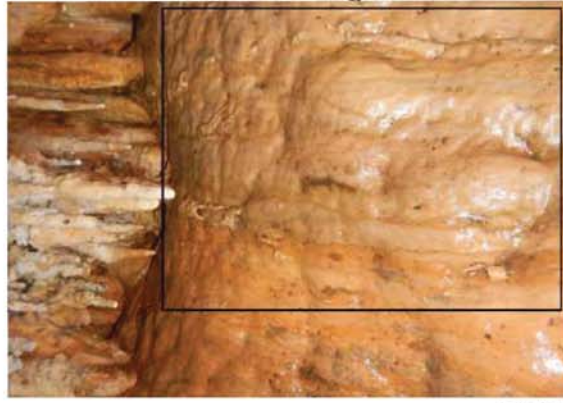
Fósseis de origem microbiana preservados no exocarste da região de estudo. Escala: 10 cm. (A) Esteiras microbianas nas proximidades da cavidade VT-0153; (B) e (C) Estromatólitos preservados próximos a cavidade VT-0047.

Todos os restos fossilizados de invertebrados nas cavidades visitadas se tratam de conchas de gastrópodes terrestres de *Megalobulimus* Miller, 1878, *Solaropsis* Beck, 1837, e *Orthis* Beck, 1837. Como são restos comuns em cavidades naturais, sua relevância paleontológica é relativa.

Conchas de gastrópodes são mais abundantes no piso das cavidades, apresentando-se incrustadas nos depósitos clásticos e/ou químicos. Também foram encontradas com frequência nas paredes das cavidades VT-0003, VT-0010, VT-0012, VT-0134, VT-0197, Grutas da Fendinha, da Gamela e da Guardião Severino, além da Lapa Nova e Lapa Nova II.

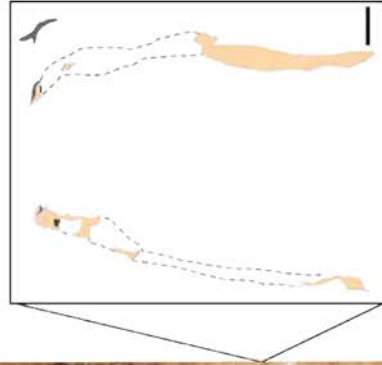
Como há poucos estudos paleontológicos envolvendo esses animais em cavernas, inferências a respeito de seu modo de entrada, fossilização e preservação nesses ambientes são restritas. No entanto, várias conchas preservadas de maneira cáotica em um depósito na cavidade VT-0014 podem ser indicativas de ambiente de fluxo turbulento (Kruweil *et al.*, 1986). Também foram observados moldes externos de concha do gastrópode *Megalobulimus* na cavidade VT-0012.

Vestígios fossilizados de invertebrados foram observados nas paredes da cavidade VT-0134. Trata-se de tubos de cupins (família Termitidae) que sofreram incrustação.



André Veizovicis

Tubos de cupins incrustados por carbonatos preservados na cavidade VT-0134. Reconstituição dos tubos a direita. As linhas pontilhadas indicam o limite inferior dos tubos. Escala: 3 cm.



## VERTEBRADOS

No registro fóssil em cavernas, o grupo de organismos mais bem-representado é o dos vertebrados. Isso se deve aos corpos desses animais serem constituídos por um grande número de peças esqueléticas resistentes à destruição, como ossos judiais e dentes, que são compactos e robustos, principalmente os de mamíferos de grande porte (Paula Couto, 1979). Pelo estado precário de preservação de alguns fósseis e/ou por se apresentarem parcialmente entocobertos por sedimentos, muitas vezes a identificação do organismo é prejudicada. Ainda assim, dentre os restos fósseis localizados nas cavernas, foram identificados ossos pertencentes aos seguintes animais: anfíbio, porco-do-mato, veado, anta e preguiças-terricólas, além de fezes fossilizadas de algum carnívoro.

## MICROVERTEBRADOS

Fósseis de microvertebrados ainda são pouco estudados em cavernas brasileiras, principalmente em se tratando de restos pertencentes a grupos taxonômicos não mamíferos. Restos recentes, fósseis e subfósseis de aves, quirópteros, marsupiais e roedores são aqui reportados à área, além de um osso alongado coletado na cavidade Guardião Severino, que, apesar de muito fragmentado, foi atribuído a um anuro.

## ARTIODÁCTILS

Certamente, o grupo subfóssil e fóssil de grandes vertebrados mais comum em cavernas é o dos artiodáctilos (Lino *et al.*, 1979; Hubbe e Auler, 2012), aqui representados pelos porcos-do-mato (família Tayassuidae) e veados (família Cervidae). Ambas as famílias possuem representantes extintos e viventes.

Os porcos-do-mato atuais são encontrados do sul da América do Norte à Argentina. No Brasil, há registro de fósseis desses animais em cavernas dos seguintes Estados: Pará, Ceará, Bahia, Mato Grosso e Minas Gerais. Já restos fósseis de veados são reportados a cavidades localizadas nos Estados da Bahia, de Minas Gerais, de Mato Grosso do Sul e do Paraná (Cartelle, 2012). Restos de porco-do-mato são aqui reportados à Gruta da Gamela. Já nas cavidades Fendinha, Lapa Nova e Lapa Nova II foram encontrados esqueletos de cervídeos.



André Veizovicis

Ossos de anta que sofreram processo de fossilização por substituição, encontrado em meio ao sedimento da Gruta Guardião Severino. Escala: 10 mm.

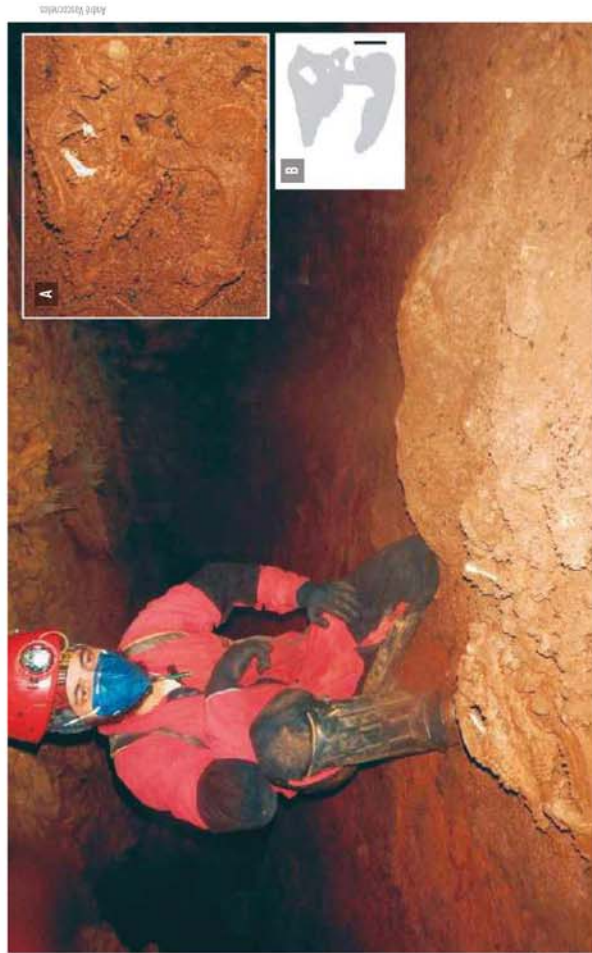
Ossos incrustados localizados em fundo vertical na Lapa Nova II. Escala: 1 m.





Reiterado a partir de Mendes (1988) e Cartelle (2012).

Restos das preguiças-terricólas localizados na área de estudo: em verde, a representação de um megalonquídeo encontrado na Gruta da Fendinha; e, à direita, a indicação dos restos de *Mithotherium maquiquense* preservados nas Grutas, Gruta do Severino (em verde) e da Fendinha (em amarelo).



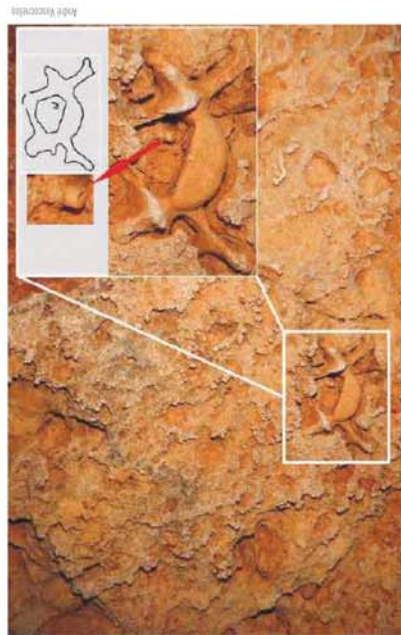
Esqueleto parcialmente articulado de *Tapirus* sp. no piso da Gruta da Gamelaia: (A) crânio incrustado do fóssil e (B) a representação esquemática do mesmo. Escala em 8,7 cm.

## PERISSODÁCTILS

Fósseis de anta são conhecidos no Brasil em depósitos datados de cerca de 1,5 milhão de anos atrás. Esse grupo, representado no Brasil pelas espécies *Tapirus terrestris* Linnaeus (1758) e *Tapirus cristatus* Winge, 1906, possui um amplo registro no país. Restos fósseis de anta coletados em cavernas são reconhecidos nos seguintes Estados: Ceará, Bahia, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná e Rio Grande do Sul (Paula Couto, 1979). Na área de estudo, restos fossilizados de anta estão presentes na Gruta da Gamelaia.

## XENARTROS

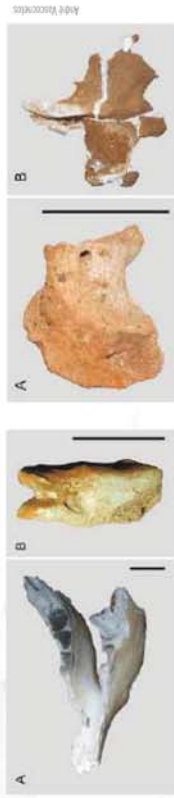
Os xenartros são animais exclusivos do continente americano e tiveram sua origem na América do Sul há cerca de 60 milhões de anos (Cartelle, 2012). Entre seus representantes: temnos tamarandás, tatus, gliptodontes, preguiças-terricólas (ondas extintas) e arvicólas. Para a área de estudo (localidades Gruta da Fendinha e Gruta do Severino), foram identificadas duas preguiças-terricólas: *Mithotherium maquiquense* (Lund, 1838) Lydekker, 1869 e um *Megalonychia* indeterminado. Restos de *Mithotherium maquiquense* já foram reportados e cavernas da Bahia, de Minas Gerais e de São Paulo. Já fósseis de *Megalonychia* ocorrem em alguns Estados: Acre, Paraíba, Ceará, Pernambuco, Bahia, Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul (Cartelle e Bohórquez, 1986; Oliveira et al., 2009; Ghilardi et al., 2011). Esta é a primeira ocorrência desses táxons no noroeste de Minas Gerais. A preguiça *Mithotherium maquiquense* era a menor das preguiças-terricólas, alcançado o tamanho de um grande cachorro. Já o megalonquídeo encontrado na Gruta da Fendinha podia alcançar o tamanho de um boiadeiro. Esses animais eram herbívoros e foram extintos há cerca de 11 mil anos.



Vitrêbra e molartome (seta) de *Mithotherium maquiquense* orientados em paleopiso na Gruta do Guardião Severino.



Falanges indicadas pelas setas amarelas e dentes (seta azul) de *Mithotherium maquiquense* preservados em paleopiso na Gruta do Guardião Severino. Escala: aproximadamente 5,5 cm.



Mandiúba fragmentada (A) e idangae (B) da preguica-terricida *Mandiúba fragmentada* sobre o piso da Gruta da Fendinha. Escala: 7 cm.

Fragmento de sacro (A) e de vértebra (B) da preguica-terricida *Megalonychidae* sobre o piso da Gruta da Fendinha. Escala: 7 cm.



Gambá (*Didelphis albiventris*) mumificado na Lapa Nova. Escala: 8 cm.



Copólito preservado na Lapa Nova II. Escala: 8 cm.

Peus achados de vertebrados apresentados acima (cavidades Lapa Nova, Lapa Nova II, Grutas Guardião Severino e da Gamela) e pela preservação de estromatólitos (cavidades VT-0004, VT-0047, VT-0051, VT-0197 e Gruta da Fendinha), a região de estudo apresenta um alto valor científico do ponto de vista paleontológico, sendo inclusive alvo promissor para futuros estudos.

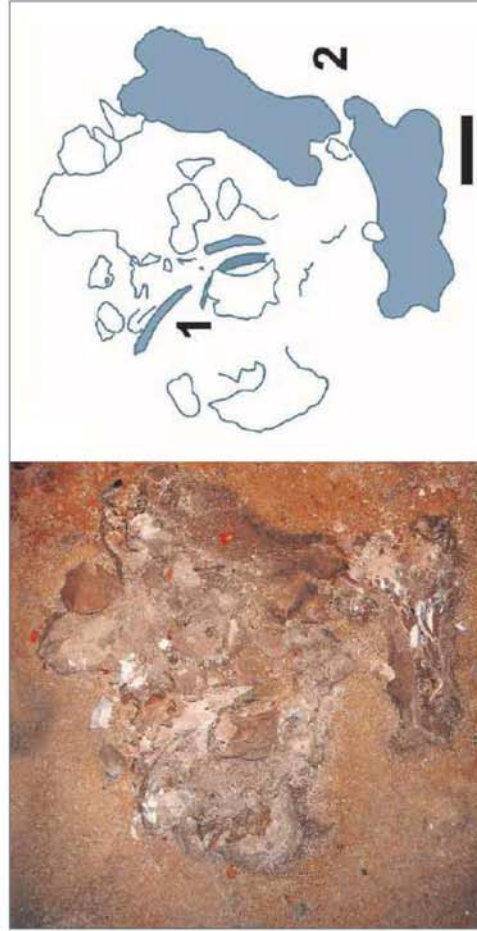
### PSEUDOFÓSSEIS

Pseudofósseis são estruturas de origem inorgânica que se assemelham a fósseis. Algumas estruturas laminadas nas paredes das cavidades VT-0014, VT-0167 e Lapa Nova se assemelham a estromatólitos. No entanto, tais marcas são produtos de deposição inorgânica ou intemperismo de minerais provenientes das paredes e do teto das cavernas.

### MARCAS ANTROPICAS DE ESCAVAÇÃO

Uma das características observadas em campo durante o trabalho foram as marcas deixadas por atividades antrópicas de escavação, possivelmente associadas às atividades de extração de fósseis ou a outras pesquisas ligadas à geologia, como prospecção de salitre. A documentação de tais estruturas é relevante, porque serve de parâmetro de comparação para escavações não antrópicas invariavelmente encontradas em cavidades classificadas como paleotocas, que são tocas escavadas por animais extintos, como tatus e preguiças-terricidas (Bittencourt *et al.*, 2015).

Escavações antrópicas foram observadas nas cavidades VT-0008 e Lapa Nova. Nessas cavernas, não há registro paleontológico associado, tampouco apresentaram características associadas a depósitos fossilíferos.



Esqueleto de preguica-terricida enterrado sobre o piso da Gruta da Fendinha. Os ossos destacados na representação à direita são: (1) fragmentos de costelas; (2) ossos longos. Escala: 14 cm.

Animais mumificados naturalmente em cavernas são raros, principalmente em cavidades úmidas, nas quais a decomposição do animal é acelerada. No Brasil, mumificações são conhecidas para cavernas da Bahia, com neoteros, lagartos e morcegos. Para a área de estudo, é relatada a presença de um gambá (*Didelphis albiventris* Lund, 1840) mumificado na Lapa Nova, provavelmente um subfóssil.

Evidências indiretas de vertebrados terrestres (fósseis ou subfósseis em cavernas brasileiras, como marcas de escavações, tocas e coprólitos (fezes fossilizadas) são restritas. Estes últimos possuem elevado potencial científico, uma vez que podem ser utilizados para estudos alimentares, parasitários e para reconstruções paleoambientais (Marcolino *et al.*, 2017). Um coprólito foi identificado na Lapa Nova e, pela sua morfologia, foi atribuído a um pequeno carnívoro.



Formas inorgânicas semelhantes a estruturas de origem microbiana observadas na cavidade VT-167 (à esq.) e na Lapa Nova. Escala: 10 cm.



Escavação antrópica realizada em conito superior da cavidade Lapa Nova.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral, o estudo demonstra um alto potencial paleontológico para a região devido à presença significativa de estromatólitos e fósseis de vertebrados, destacando os esqueletos de mamíferos extintos preservados nas Grutas Guardião Severino e da Fenitinha. A presença de restos atuais e fósseis desarticulados indicam a existência de fluxo pluvial de sedimentos para o interior das cavidades.

Pelotas de requirigito e fezes, assim como a presença de animais vivos nas cavidades, indicam claramente que esses locais ainda são frequentados por animais.

A ocorrência de conchas de gastrópodes terrestres cimentadas nas paredes e no teto das cavidades tem relevância paleontológica restrita devido à ampla distribuição desses moluscos não apenas em âmbito regional e local, como também por sua ocorrência em outros biomas.

Os resultados apontam que a região ainda possui um alto valor fósilífero e abriga importantes ferramentas para o desenvolvimento de pesquisas ligadas à paleontologia em cavernas.

## REFERÊNCIAS

- BITTENCOURT, Jonathan S. et al. Registro paleontológico em caverna desenvolvida em formações ferríferas na Serra do Gandaiela. In: RICHKIS, Ursula de Azevedo et al. (Ed.). **Patrimônio espeleológico em rochas ferruginosas** propostas para sua conservação no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais. Campinas: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2015. p. 192-206.
- CARTELE, Gábor. **Das grutas à luz, mamíferos pleistocênicos de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Bicho do Mato, 2012.
- CARTELE, Gábor; BODÓRIZZI German Arturo. **As pré-maxilas de *Eremotherium Laurillardii* (Lund) e de *Nothotherium magnumense* (Lydekker) Eubantia Megatheriidae**. *Iheringia*, v. 11, p. 11-9-14, 1986.
- PAULA COUTO, Carlos de. **Núcleos à margem de uma expedição científica a Minas Gerais**. Kiteirão: **Revista da Faculdade de Filosofia da UMG**. Belo Horizonte, v. 11, n. 45-46, p. 401-423, 1958.
- PAULA COUTO, Carlos de. **Tratado de paleomastozoologia**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1979.
- DAROENNE, Marcel Auguste; CAMPOS, José Eloi Guimarães; CAMPOS NETO, Mário da Costa. **Estromatólitos colonares no Sumbouro do Corrego Carapato, Lagamar, MG: registro de construções colonares dolomíticas por coque-lacárias no Proterozoico do Brasil**. In: SCHOBENHAUS, Carlos et al. (Ed.). **Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil**. Brasília: CPRM, 2005. p. 311-320.
- FERRERA, Rodrigo Lopes et al. **Fauna subterránea do Estado do Rio Grande do Norte: caracterização e impactos**. **Revista Brasileira de Espeleologia**, v. 1, n. 1, p. 25-51, 2010.
- GHILARDI, Aline Marcelle; FERNANDES, Marcelo Adorno; BICHETTE, Maria Elina. **Megafauna from the Late Pleistocene-Holocene deposits of the Upper Rhuica karst area, southeast Brazil**. **Quaternary International**, v. 245, n. 2, p. 349-374, 2011.
- HUBBE, Alex; AULER, Augusto S. **A Large Evidace Holocene accumulation in Eastern Brazil: an example of extreme taphonomical control in a cave environment**. **International Journal of Speleology**, v. 4, n. 12, p. 299-307, 2012.
- KIDWELL, Susan M.; FURUSON, Franz T.; AGER, Thomas. **Conceptual framework for analysis and classification of fossil concentrations**. **Palaios**, v. 1, p. 228-238, 1986.
- LUND, Clayton Ferreira et al. **Paleontologia das cavernas do Vale do Ribeira: exploração I: abismo do fóssil (SP-145): resultados parciais**. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2. 1979. Rio Claro. **Atas**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1979. p. 757-768.
- LUND, Clayton Ferreira; ALLIEVI, João. **Cavernas brasileiras**. São Paulo: Melhoramentos, 1980.
- LUND, Peter Wilhelm. **Cavernas existentes no calcário do interior do Brasil, contendo algumas delas ossadas fósseis**. In: LUND, Peter Wilhelm. **Segunda memória sobre a fauna das cavernas**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional do Livro, 1937. p. 93-106.
- MARCOLINO, Camila Pires et al. **Diet of *Palaeobama major* (Carnivora) of Bahia, Brazil, inferred from coprolites**. **Quaternary International**, v. 278, p. 81-86, Nov. 2012.
- MENDES, Jussie Camargo. **Paleontologia geral**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1977.
- MIBER, Ernst. **On a columbar stromatolite in the Precambrian Bambui Group of Central Brazil**. **Eclogae Geologicae Helveticae**, v. 65, p. 185-195, 1972.
- OLIVEIRA, Edison Vicente; BARRETO, Alcina M.; FRANCA-ALVES, Roseberg da Silva. **Aspectos sistemáticos, paleogeográficos e paleontológicos dos mamíferos quaternários de Fazenda Nova, PE, nordeste do Brasil**. **Gaea: Journal of Geoscience**, v. 5, n. 2, p. 75-85, 2009.
- SHIMMER, Harvey Woodburns. **An introduction to the study of fossils**. New York: Macmillan Company, 1956.
- STAFF, George M. et al. **Time-averaging, taphonomy and their impact on paleocommunity reconstruction: Death assemblages in Texas bays**. **Geological Society of America Bulletin**, v. 97, p. 428-443, 1986.
- VASCONCELOS, André Gomide; ELIZABIO, Nubair Tadeu; BITTENCOURT, Jonathan S. **Estromatólitos como ferramenta para valorização de cavidades naturais**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 48, 2016, Porto Alegre. **Anais**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 2016.
- VASCONCELOS, André Gomide; MEYER, Kaini Elise Bonins; CAMPELLO, Marcos Santos. **Mamíferos quaternários da cavidade ES-08, Município de Prudente de Morais, Minas Gerais: análises tafonômica e taxonômica**. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 18, n. 1, p. 171-190, jan./abr. 2015.



**ARTIGO 4**

**Mammal tooth traces in a ferruginous cave in southeastern Brazil and their relevance to cave legal protection**



## Mammal tooth traces in a ferruginous cave in southeastern Brazil and their relevance to cave legal protection

ANDRÉ G. VASCONCELOS<sup>1,2</sup>, JONATHAS S. BITTENCOURT<sup>2</sup> and AUGUSTO S. AULER<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, Pampulha, 31270-901 Belo Horizonte, MG, Brazil

<sup>2</sup>Laboratory of Paleontology and Macroevolution, Centro de Pesquisas Professor Manoel Teixeira da Costa, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, Pampulha, 31270-901 Belo Horizonte, MG, Brazil

<sup>3</sup>Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, Pampulha, 31270-901 Belo Horizonte, MG, Brazil

<sup>4</sup>Instituto do Carste, r. Barcelona, 240/302, 139, Floresta, 30360-260 Belo Horizonte, MG, Brazil

*Manuscript received on August 19, 2018; accepted for publication on January 18, 2019*

**How to cite:** VASCONCELOS AG, BITTENCOURT JS AND AULER AS. 2019. Mammal tooth traces in a ferruginous cave in southeastern Brazil and their relevance to cave legal protection. *An Acad Bras Cienc* 91: e20180861. DOI 10.1590/0001-3765201920180861.

**Abstract:** We describe the first occurrence of biogenic traces made by mammals within an iron formation cave located in the Serra da Ferrugem ridge, in Southeastern Brazil. These bioerosions are tooth traces produced in boulders, walls and floor within the cave. The traces occur as sets of two or more grooves, which are highly variable in size. The grooves were compared to tooth traces artificially produced by imprinting the incisors of different mammal species collected in the cave region on soft clay. Among those, the following taxa are potential tracemakers: *Akodon* sp., *Oligoryzomys* sp., *Necromys lasiurus*, *Rhipidomys mastacalis*, *Oecomys* gr. *concolor*, *Trinomys moojeni*, and *Hydrochoerus hydrochaeris*. The age of the traces is unknown; therefore, any discussion on its fossil nature is circumstantial. Regardless of its relevance to paleontology, the presence of ichnological features should be considered as an additional cave value, according to the current Brazilian legislation regarding cave protection.

**Key words:** bioerosion, geophagy, gnawing traces, rodents, ichnology.

### INTRODUCTION

Fossil and extant biogenic structures within caves include chemically-induced erosional surfaces and relief construction, such as tubes, burrows, pits, tunnels and scratch traces, variously produced

by distinct types of organisms, notably microbial decomposers, plant roots, and assorted invertebrates and vertebrates (Holsinger and Dickson 1977, Macdonald and Terrel-Nield 1991, Lockley and Meyer 2000, Santucci et al. 2001, Lamprinou et al. 2009, Jones 2010, Karkanas and Goldberg 2013). Biogenic structures can also be represented by fossilized feces, i.e. coprolites (Czaplewsky and Cartelle 1998, Santucci et al 2001, Backwell et

Correspondence to: André Gomide Vasconcelos

E-mail: [andregomide86@gmail.com](mailto:andregomide86@gmail.com)

Or Cid: <http://orcid.org/0000-0002-9799-7657>

\* Contribution to the centenary of the Brazilian Academy of Sciences.



al. 2009, Marcolino et al. 2012, Vasconcelos and Bittencourt 2018).

Due to the shortage and uneven distribution of resources within caves, these environments are generally more restrict to occupation than several non-cave ecosystems (Fernandes et al. 2016). Therefore, a lower diversity of biogenic traces is expected. Yet, explanations for the reduced diversity of biological modifications in soft and hard substrates within caves in comparison to the vast record of non-cave environment bioturbations (Miller 2007) rely not only on its lower alpha-taxonomic diversity or the erosional nature of caves, but also on their rare documentation (Bednarik 1991).

Several studies have demonstrated the role of biological activity as chemical modifiers of caves, including mainly microbial-induced substrate weathering or speleothem construction (Jones 2010 for review), and erosion by the input of metabolic residues, such as carbon dioxide, water and of bat and bird guano (Piccini et al. 2007, Lundberg and McFarlane 2012). Yet, the direct mechanical weathering of caves by organisms is frequently neglected, rendering an equivocal irrelevance to its role as substrate shaper.

Examples of both large- and small-scale burrows completely constructed by organisms have been found in Pliocene to Holocene sites in Argentina and Brazil (Genise 1989, Dondas et al. 2009, Frank et al. 2012, 2015). However, extensive bioturbation within tropical caves is restricted to large tunnels probably produced by mid to moderate-sized extinct ground sloths during the Pleistocene–Holocene in distinct karst areas in Brazil (Carmo et al. 2011, Frank et al. 2011, Bittencourt et al. 2015, Frank et al. 2015). As a contribution to the debate and further scrutiny of the role of vertebrates to the general aspect of cave environments, we report for the first time a distinct type of mammal trace within a cave in southeastern Brazil, which was produced by small

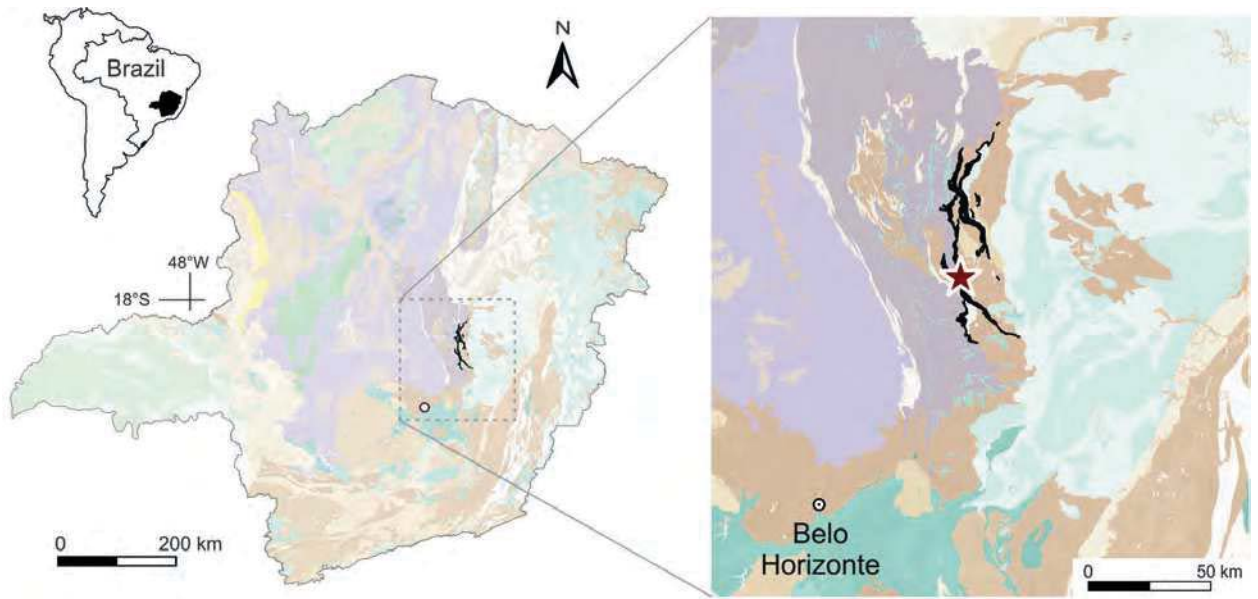
mammals using their front teeth for active erosion of the substrate. The traces, which can be related to either geophagy or tooth-sharpening behavior, have been reported in non-cave environments and limestone caves (Bednarik 1991, Martinelli et al. 2013, Panichev et al. 2017), but until now their occurrence within iron formation caves has never been registered.

#### STUDY AREA AND CAVE FEATURES

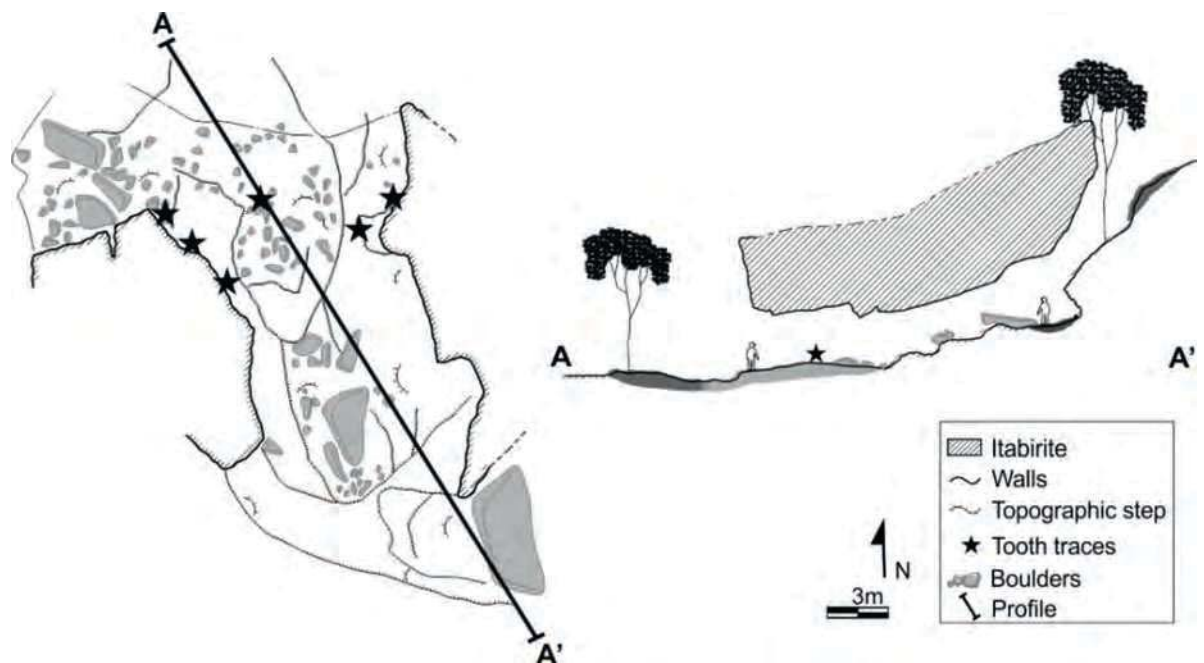
Cave CMN-0022 is located in the Monumento Natural da Serra da Ferrugem (Ferrugem Ridge Natural Monument), in the municipality of Conceição do Mato Dentro, in central state of Minas Gerais, southeastern Brazil. The cave developed within Precambrian banded-iron formations (itabirite) of Serra da Serpentina Group, in the western edge of Serpentina Ridge (Fig. 1). Previous studies found a major component of  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and a minor composition of manganese, aluminum, potassium, titanium and phosphorus oxides in the itabirites of the Serra da Serpentina Group (Pires e Souza et al. 2014). The cave CMN-0022 comprises a single chamber, which is approximately 22 m long and shows two entrances located at opposite sides along its axis. The sloped northern entrance is 5 meters high (Fig. 2). Other similar caves close to CMN-0022 show no evidence of biogenic traces.

#### MATERIALS AND METHODS

The traces were documented by photographs and compared to tooth scrape marks produced artificially produced by imprinting the upper and lower incisors of different mammal species on soft clay, following the methodology proposed by Bednarik (1991) and also used by Martinelli et al. (2013). We assessed thirty-three specimens (skulls and mandibles) of rodents, marsupials, lagomorphs, deer, peccary and carnivores (Fig. 3), housed at the collection of Mastozoology (MCN-M) and Paleontology (MCL) of the Museu de Ciências



**Figure 1** - Geological map of Minas Gerais showing the location of CMN-0022 cave (star). The Serra da Serpentina Group is highlighted in black. Modified from CPRM-CODEMIG (2014)



**Figure 2** - CMN-0022 cave map and profile showing trace sites. Survey by Carste Ciência e Meio Ambiente.

Naturais of Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais and the Museu de História Natural e Jardim Botânico – Universidade Federal de Minas Gerais (Mh NJB-UFGM).

In addition to clay imprinting analysis, we also compared the morphology of the tooth traces

directly with dental anatomy of species previously collected in the cave area (Fig. 3). This was necessary because additional evidence of cave dwellers, such as nests, feces or carcasses (see Haglund 1992), along with clay imprinting of all potential producers were not available.

taxa	
<b>Rodentia</b>	<i>Trinomys</i> sp. <sup>2</sup>
<i>Akodon</i> sp. <sup>2*</sup>	<i>Trinomys moojeni</i> (MCN-M 2012) <sup>1,2*</sup>
<i>Akodon cursor</i> <sup>2</sup>	<i>Trinomys setosus</i> <sup>2</sup>
<i>Akodon</i> cf. <i>serrensis</i> (MCN-M 3404) <sup>1*</sup>	<b>Marsupialia</b>
<i>Calomys</i> sp. <sup>2</sup>	<i>Caluromys philander</i> (MCN-M 575) <sup>1</sup>
<i>Calomys callosus</i> (MCN-M 1447) <sup>1*</sup>	<i>Cryptonanus</i> sp. <sup>2</sup>
<i>Calomys tener</i> <sup>2</sup>	<i>Didelphis albiventris</i> (MCN-M 874) <sup>1</sup>
<i>Caluromys philander</i> <sup>2</sup>	<i>Didelphis aurita</i> <sup>2</sup>
<i>Cavia aperea</i> <sup>2</sup>	<i>Gracilinanus agilis</i> <sup>2</sup>
<i>Cerradomys subflavus</i> (MCN-M 1346) <sup>1</sup>	<i>Gracilinanus microtarsus</i> <sup>2</sup>
<i>Clyomys laticeps</i> <sup>2</sup>	<i>Marmosa</i> sp. <sup>2</sup>
<i>Coendou prehensilis</i> (MCN-M 514 e MCN-M 307) <sup>1</sup>	<i>Marmosops incanus</i> <sup>2</sup> (MCN-M 2123) <sup>1,2</sup>
<i>Cuniculus major</i> (Mh NJB-P -2274) <sup>1</sup>	<i>Metachirus nudicaudatus</i> (MCN-M 2918) <sup>1</sup>
<i>Cuniculus paca</i> (MCN-M 2618) <sup>1</sup>	<i>Monodelphis</i> sp. <sup>2</sup>
<i>Dasyprocta azarae</i> (MCN-M 3088) <sup>1</sup>	<i>Monodelphis americana</i> <sup>2</sup>
<i>Euryoryzomys</i> sp. <sup>2</sup>	<i>Monodelphis domestica</i> (MCN-M 654) <sup>1</sup>
<i>Euryoryzomys russatus</i> <sup>2</sup>	<i>Monodelphis gr. americana</i> <sup>2</sup>
<i>Euryoryzomys</i> cf. <i>russatus</i> <sup>2</sup>	<i>Philander frenatus</i> <sup>2</sup>
<i>Euryzygomatomys spinosus</i> <sup>2</sup>	<i>Philander opossum</i> (MCN-M 429) <sup>1</sup>
<i>Hydrochaeris hydrochaeris</i> (MCN-M 57 and MCN-M 2786) <sup>1,2*</sup>	<i>Thylamys velutinus</i> <sup>2</sup>
<i>Hylaeamys</i> sp. <sup>2</sup>	<b>Lagomorpha</b>
<i>Hylaeamys laticeps</i> <sup>2</sup>	<i>Sylvilagus brasiliensis</i> (MCN-M 1666 and MCN-M 2900) <sup>1,2*</sup>
<i>Hylaeamys megacephalus</i> (MCN-M 1241) <sup>1*</sup>	<b>Primates</b>
<i>Kerodon rupestris</i> (MCN-M 3385) <sup>1</sup>	<i>Callicebus</i> sp. <sup>2</sup>
<i>Myocastor coypus</i> (MCL-7141) <sup>1</sup>	<i>Callicebus nigrifrons</i> <sup>2</sup>
<i>Necomys lasiurus</i> (MCN-M 851) <sup>1,2*</sup>	<b>Xenarthra</b>
<i>Nectomys squamipes</i> (MCN-M 598) <sup>1</sup>	<i>Dasypus novemcinctus</i> <sup>2</sup>
<i>Oecomys</i> sp. <sup>2</sup>	<i>Euphractus sexcinctus</i> <sup>2</sup>
<i>Oecomys catherinae</i> <sup>2</sup>	<b>Chiroptera</b>
<i>Oecomys</i> gr. <i>concolor</i> (MCN-M 840) <sup>1,2*</sup>	<i>Micronycteris megalotis</i> <sup>2</sup>
<i>Oligoryzomys</i> sp. (MCN-M 3119) <sup>1,2*</sup>	<i>Phyllostomus hastatus</i> <sup>2</sup>
<i>Oligoryzomys nigripes</i> <sup>2</sup>	<b>Artiodactyla</b>
<i>Oryzomys</i> sp. (MCN-M022) <sup>1</sup>	<i>Blastocerus dichotomus</i> (MCN-M 212) <sup>1</sup>
<i>Oxymycterus</i> sp. <sup>2</sup>	<i>Tayassu pecari</i> (MCN-M 124) <sup>1</sup>
<i>Oxymycterus amazonicus</i> (MCN-M 1389) <sup>1*</sup>	<b>Carnivora</b>
<i>Proechimys roberti</i> (MCN-M 1381) <sup>1*</sup>	<i>Cerdocyon thous</i> <sup>2</sup>
<i>Rhagomys rufescens</i> <sup>2</sup>	<i>Eira barbara</i> (MCN-M 2981) <sup>1</sup>
<i>Rhipidomys</i> sp. <sup>2</sup>	<i>Lycalopex</i> sp. (MCN-M) <sup>1</sup>
<i>Rhipidomys mastacalis</i> (MCN-M 2080) <sup>1,2*</sup>	<i>Procyon cancrivorus</i> <sup>2</sup> (MCN-M 2116) <sup>1</sup>

**Figure 3** - List of the mammals used to produce the artificial traces in clay (1). Mammals observed and/or collected in the region of the cave by the personnel of the Mastozoology Laboratory of PUC Minas Museum (2). Taxonomic species that match the observed traces in the cave are marked with an asterisk.

We also performed additional comparisons with previously published papers about mammal traces on hard substrate (Gobet and Hattin 2002, Martinelli et al. 2013, Panichev et al. 2017), aiming at the identification of the structures described in this paper.

**RESULTS AND DISCUSSION**

**BIOGENIC STRUCTURES WITHIN THE CAVE CMN-0022**

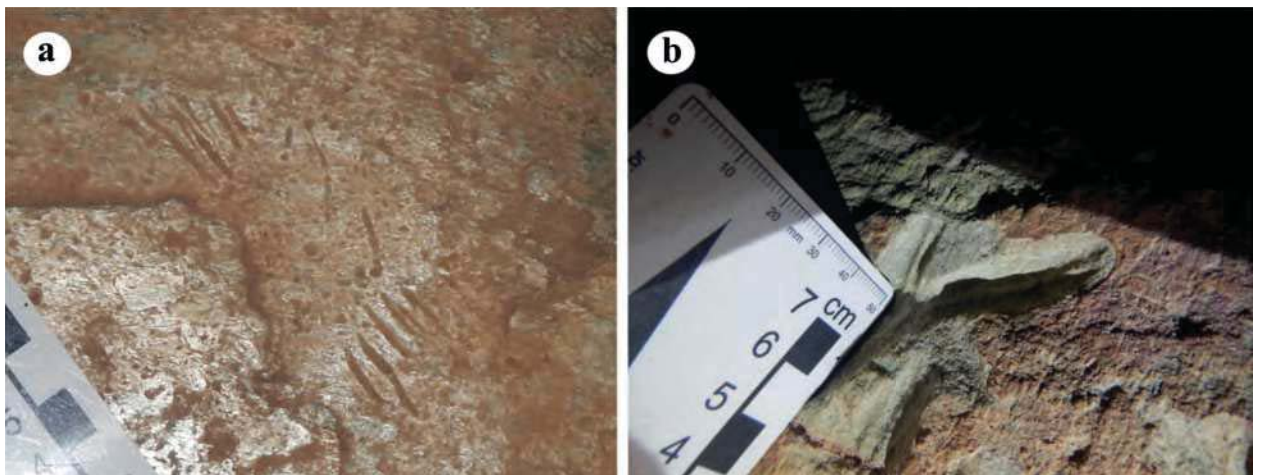
The traces are grooves preserved in low-relief. The traces are numerous (minimally 500 sets of grooves), scattered across the northern entrance of the cave, and mainly concentrated on boulders collapsed from the ceiling and western wall.

(Figs. 2, 4). The traces do not restrict to a specific substrate. They occur on both hard and friable surfaces (Fig. 5).

The grooves are randomly distributed in the center and edges of the blocks, orientated perpendicularly, sub-horizontally and horizontally to the ground level. They occur as sets with two or more grooves (Fig. 6), and are highly variable in size. Among the best-preserved traces, quantitative parameters, such as length and width, were taken for 75 traces (Table I). Based on their shape and size, the traces were separated into two morphotypes (the numbers expressed below are based on the mean values of all measurements):



**Figure 4** - the black stars indicate the tooth traces in the cave CMN-0022, which are mostly concentrated on the western wall at the northern entrance.



**Figure 5** - Traces produced in different substrates within the cave. (a) hematite and (b) siliceous substrate.

Morphotype I: parallel double-grooved traces, heterogeneous in shape and deeper than the other types. The traces of this morphotype are 18.4 mm long, 5.9 mm wide (both grooves), and 2.85 mm deep (Table I). The trace extremities are of different shapes: rounded (Fig 6, a1), rectangular (Fig 6, a2), forked, serrated and irregular. This morphotype is interpreted as double parallel tooth traces.

Morphotype II: parallel, multiple-grooved traces, which are 19 mm long, 2.58 mm width (individual groove) and 16.6 mm width (all parallel grooves), and 1.1 mm deep (Table I). These traces have rounded (Fig 6, b1), rectangular (Fig 6, b2) or pointed extremities.

THE NATURAL EROSION OF THE TRACES AND POTENTIAL  
TRACE MAKERS

The shape and size of the morphotypes indicate that these traces result from teeth erosion by distinct species of small mammals on the sediments of the sampled cave. The traces are also morphologically consistent with those reported in non-cave outcrops in the United States, Brazil and Russia (respectively Gobetz and Hattin 2002, Martinelli et al. 2013, Panichev et al. 2017) and rodent tooth traces in bones of distinct mammal species (Brain 1981, Shipman and Rose 1983, Fernandez-Jalvo and Andrews 2016). Biogenic structures produced by claw scratching have been reported for other South American caves, and were interpreted as excavations of extinct ground sloths and armadillos (Buchmann et al. 2009, Dondas et al. 2009, Bittencourt et al. 2015, Frank et al. 2011, 2012, 2015). Those traces are distinct from those

observed in CMN-0022 by being larger, deeper and not double-grooved.

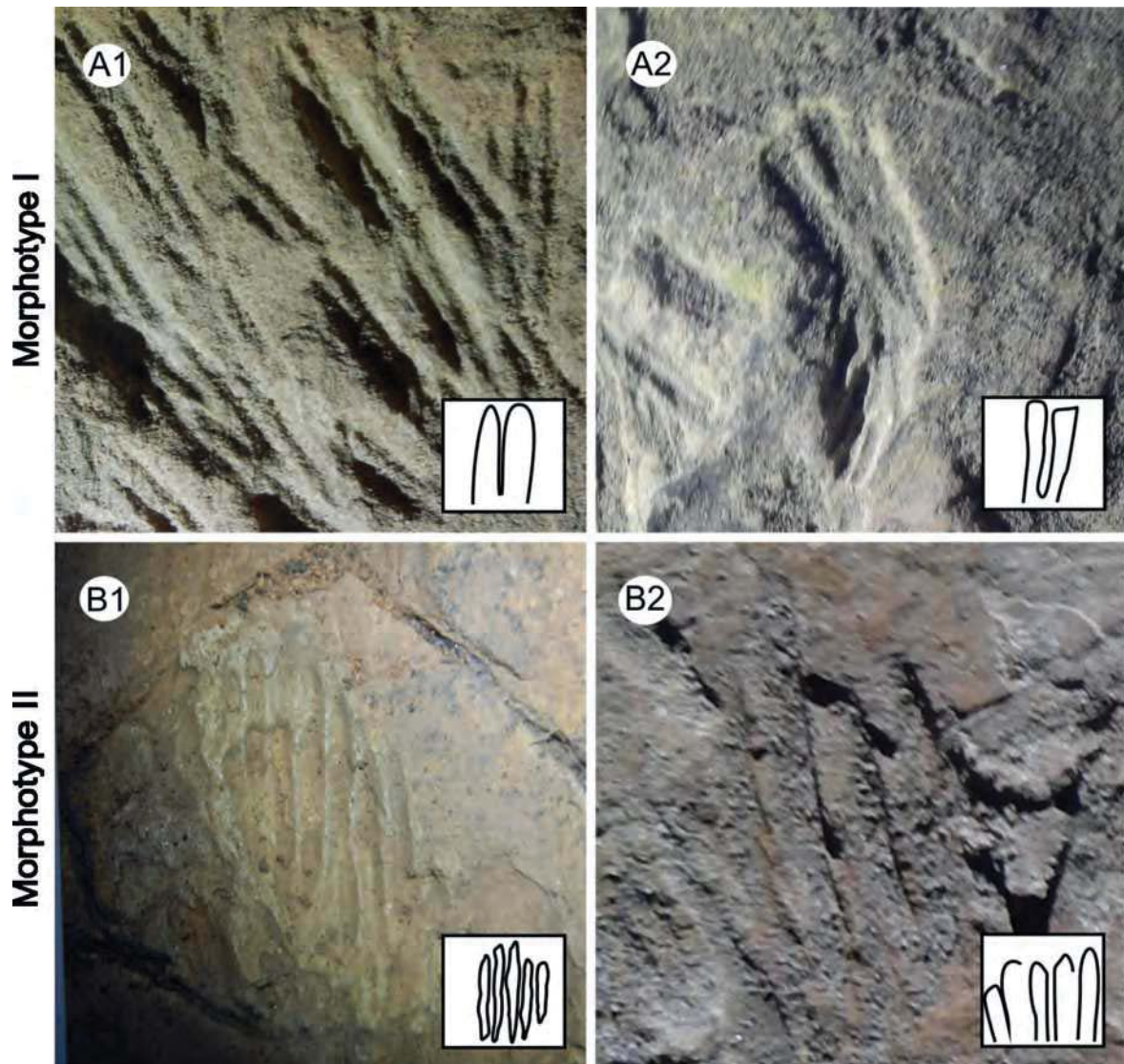
Tooth traces on rigid substrate are produced by distinct mammal taxa (e.g. rodent, lagomorphs and others). This behavior is generally used for nutrition (geophagy) and sharpening of the teeth with continuous growth (Brain 1981, Johnson 1985, Barlow 2000, Sabatini and Costa 2001, Borrini et al. 2012). Yet, geophagy and gnawing cannot be identified based only on tooth traces. In fact, other than rocky substrates, as reported herein and by other authors (see Gobetz and Hattin 2002, Martinelli et al. 2013, Panichev et al. 2017), traces of these behaviors are commonly reported in biological substrates, as bones and wood (Johnson 1985, Haglund 1992, Mondini 2002, Stefen et al. 2016). Some mammals (e.g. carnivores), can also produce traces on substrates for territorial demarcation, but these have been reported for non-cave areas (Burst and Pelton 1972, Braga 2014), and cannot be demonstrated for the structures described in this paper.

Due to the diversity of similar mammal species in the cave region and the unexceptional preservation of the traces, we refrained from assigning them to a particular taxon. Instead, we assessed potential producer taxa by comparing their dental anatomy, and their artificial marking on clay, with the shape and size of the described traces. Among the 48 mammal species collected within the cave area, seven are potential producers of the morphotype I, one of which is also the possible agent of the morphotype II.

The smaller ones (morphotype I) are compatible with marks obtained by teeth of the following taxa:

**TABLE I**  
Measurements (in mm) of tooth marks (morphotypes I and II). n = number of measured traces. Average deviation in parentheses.

Morphotype	n	Total length	Groove width	Total width
1	64	175 (60)	27 (8)	59 (14)
2	11	185 (44)	30 (7)	165 (28)



**Figure 6** - tooth traces within the cave: morphotype I (a) and morphotype II (b). See description in text. Not in scale.

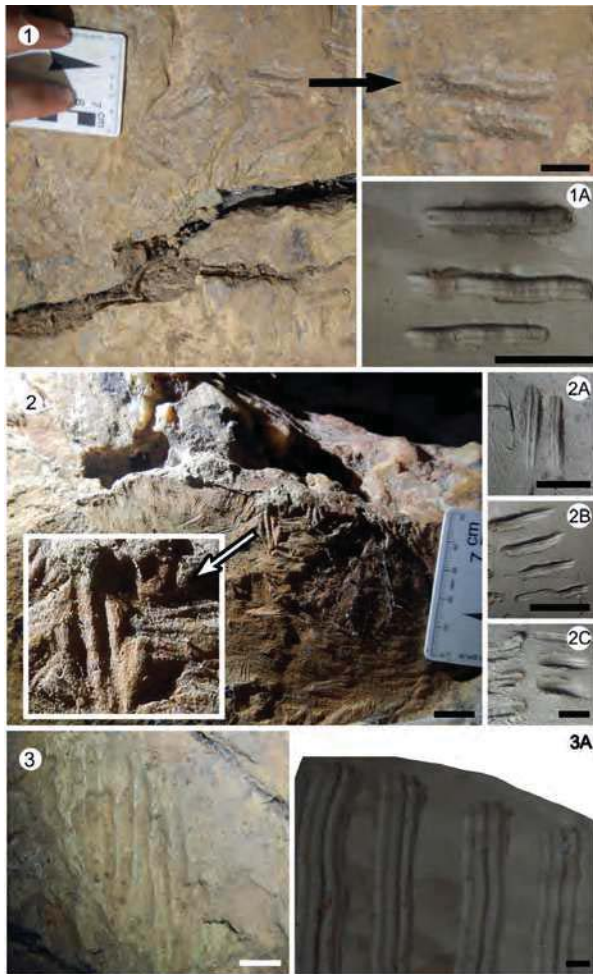
*Rhipidomys mastacalis* (Fig. 7: 1a; MCN-M 2080), *Oecomys* gr. *concolor* (Fig. 7: 2b; MCN-M 840), *Oligoryzomys* sp. (Fig. 7: 2c; MCN-M 3119), *Necomys lasiurus* (Fig. 7: 2d; MCN-M 851), *Akodon* sp. (MCN-M 3404), *Trinomys moojeni* (MCN-M 2012), *Calomys callosus* (MCN-M 1447) and *Hylaeamys megacephalus* (MCN-M 1241). There is no record of the last two species in the area, but three related taxa, *Calomys* sp., *Hylaeamys laticeps* and an indeterminate species of the genus *Hylaeamys* have been reported in the

region of the cave. The larger traces (morphotype II; Fig. 7: 3) was potentially produced by the capybara *Hydrochoerus hydrochaeris* (MCN-M 2786), for which geophagy behavior has been recorded (Mills and Milewski, 2006).

RELEVANCE TO CAVE ASSESSMENT UNDER BRAZILIAN LAW

About 18.000 caves have been officially reported in Brazil until 2018, and most of these are developed within carbonate rocks and iron formations





**Figure 7** - Tooth traces within the cave (1, 2, 3), and clay imprint of some of their respective potential tracemakers: *Rhipidomys mastocolis* (1a; MCN-M 2080; morphotype I), *Oecomys* gr. *concolor* (2b; MCN-M 3404; morphotype I), *Olygoryzomys* sp. (2b; MCN-M 3119; morphotype I), *Necromys lasiurus* (2c; MCN-M 0851; morphotype I) and *Hydrochoerus hydrochaeris* (3A; MCN-M 2786; morphotype II). Scale bar: 10 mm.

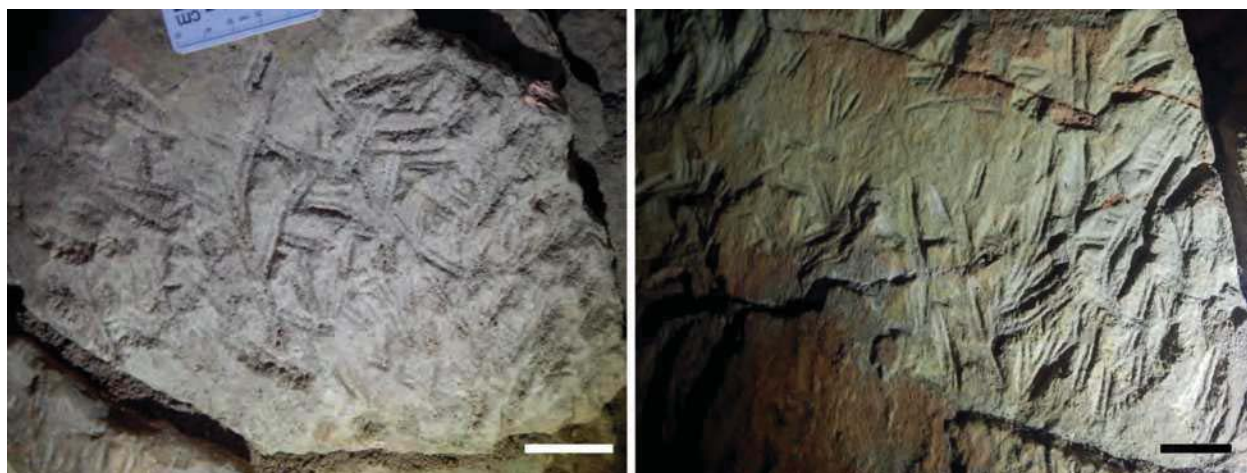
(CECAV 2018). Less common lithologies include marble, quartzites, sandstones and granites (Auler and Farrant 1996, Auler et al. 2001, Oliveira-Galvão 2014). Tooth traces were not formally reported in any of them.

Brazil has specific legislation to deal with cave protection, especially against irreversible damages, such as mining (Brasil 2008, MMA 2017). In general terms, the legislation confers protection to caves, and their suppression is allowed in special

cases in which the relevance for conservation is previously evaluated. There are four classes of relevance: Maximal, high, Medium and Low relevance (see Auler and Piló 2015 for review). The presence of fossils within caves is a criterion for increasing relevance. Yet, the legislation only mentions fossils which were preserved within cave after its formation (e.g. Quaternary mammal bones). There is no mention of biogenic structures formed simultaneously with the cave bedrock (e.g. stromatolites, see Minas Gerais 2005, Brasil 2008, MMA 2017).

The age of the traces described herein is unknown. There is no evidence (e.g., recent carcasses, feces, nests or food remains) of present occupation of the cave by any vertebrate species, including the potential tracemakers. The age of the cave is also unknown due to the lack of datable structures. The traces were probably produced after the partial collapsing from ceiling, but this does not support dating. Some evidences as weathering of grooved surfaces within the cave and the overlapping of older traces by newer ones suggest that the grooves were produced during a long time span (Fig. 8). Yet, the fossil or subfossil nature of the traces, and therefore their relevance from a paleontological point of view, is elusive.

On the other hand, the biogenic traces preserved in the cave CMN-0022 satisfy some criteria demanded by Brazilian federal laws for cave protection (Minas Gerais 2005, Brasil 2008, MMA 2017), including scientific and/or didactic importance, educational use, and bio-geological structures of scientific interest. In this case, the traces can be used as evidence of former occupation by distinct mammal species, implying scientific importance from an ecological point of view. They could also be used for educational purposes, and to public visitation due to aesthetic and scenic appeal.



**Figure 8** - Evidences of the overlapping of older traces by newer ones suggest that the grooves were produced during a long time span. Scale bar: 30 mm.

### CONCLUSIONS

We describe the first occurrence of biogenic alterations made by mammal teeth within an iron formation cave in the Serpentina ridge, at Minas Gerais state, southeastern Brazil. The tooth traces are a product of geophagy or sharpening of teeth with continuous growth. The traces were compared with tooth traces artificially imprinted in soft clay. This assessment suggested that at least seven extant taxa are potential tracemakers, all of them still living in the area: *Akodon* sp., *Oligoryzomys* sp., *Necromys lasiurus*, *Rhipidomys mastacalis*, *Oecomys* gr. *concolor*, *Trinomys moojeni* and *Hydrochoerus hydrochaeris*.

The age of the traces is unknown, thus its relevance to paleontology is elusive. Yet, regardless of their fossil nature, ichnological features should be considered as an additional value for cave protection, according to the Brazilian legislation.

### ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank Anglo American Minério de Ferro Brasil S.A for permission to access the cave and publish this study. The authors also acknowledge Cláudia Guimarães and Cástor Cartelle (Museu de Ciências Naturais, PUC Minas)

for allowing access to specimens under their care. Matheus Amorim is thanked for laboratory assistance. Carste Ciência e Meio Ambiente and Marcelo Souza helped during fieldwork. Heitor Francischini and an anonymous reviewer are thanked for suggestions that greatly improved the final version of the manuscript. This study was funded by Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001, and FAPEMIG (grants APQ-01110-15 and PPM-00304-18 to JSB).

### AUTHOR CONTRIBUTIONS

A.G.V.: designed the study; A.G.V., J.S.B. and A.S.A. analyzed the results; A.G.V., J.S.B. and A.S.A. wrote the manuscript. All authors reviewed the manuscript.

### REFERENCES

- AULER AS AND FARR ANT AR. 1996. A brief introduction to karst and caves in Brazil. *Proc Univ Bristol Spelaeo Soc* 20(3): 187-200.
- AULER AS AND PILÓ LB. 2015. Caves and mining in Brazil: the dilemma of cave preservation within a mining context. In: Andreo B, Carrasco F, Durán JJ, Jiménez P, Lamoreaux JW (Eds), *Hydrog and Environ Invest in Karst Syst*. Heidelberg: Springer, p. 487-496.

- AULERAS, RUBBIOLI EL AND BRANDIR. 2001. As Grandes Cavernas do Brasil. Belo Horizonte: Rona Editora, 230 p.
- BACKWELL L, PICKERING R, BROTHWELL D, BERGER L, WILCOMB M, MARTILL D, PENKMAN K AND WILSON A. 2009. Probable human hair found in a fossil hyaena coprolite from Gladysvale cave, South Africa. *J Archaeol Sci* 36: 1269-1276.
- BARLOW C. 2000. The ghosts of evolution - nonsensical fruit, missing partners, and other ecological anachronisms. New York: Basic Books, 291 p.
- BEDNARIK G. 1991. On natural cave markings. *Helv* 29(2): 29-41.
- BITTENCOURT JS, VASCONCELOS AG, CARMO FF AND BUCHMANN FS. 2015. Registro paleontológico em caverna desenvolvida em formações ferríferas na Serra do Gandarela. In: Ruchkys U, Travassos LEP, Rasteiro MA and Faria LE (Eds), Patrimônio Espeleológico em Rochas Ferruginosas: Propostas para sua conservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Campinas: Socie Bras Espeleo, p. 192-209.
- BORRINI M, MARIANI PP, MURGIA C, RODRIGUEZ C AND TUMBARELLO MV. 2012. Contextual taphonomy: Superficial Bone Alterations as Contextual Indicators. *J Biol Res* 85(1): 217-219.
- BRAIN CK. 1981. Porcupines as Bone Collectors in African Caves. In: Brain CK (Ed), *The Hunters or the Hunted?* Chicago: University of Chicago Press, p. 109-117.
- BRASIL. 2008. Decreto Federal 6.640. Presidência da República. <[www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm)>. Accessed 15 July 2018.
- BUCHMANN F, LOPES R AND CARON F. 2009. Icnofósseis (paleotocas e crotovinas) atribuídos a mamíferos extintos no sudeste e sul do Brasil. *Rev Bras Paleo* 12: 247-256.
- BURSTILL AND PELTON M. 1972. Black bear mark trees in the smoky mountains. *International Conference on Bear Research and Management*. 5:45-53.
- CARMO FF, CARMO FF, SALGADO, AAR AND JACOBI CM. 2011. Novo sítio espeleológico em sistemas ferruginosos, no Vale do Rio Peixe Bravo, norte de Minas Gerais, Brasil. *Espeleo-tema* 22(1): 25-39.
- CECAV. 2018. Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. Ministério do Meio Ambiente. <[http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?option=com\\_icmbio\\_cavnie&controller=relatorioestatistico&itemPesq=true](http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?option=com_icmbio_cavnie&controller=relatorioestatistico&itemPesq=true)>. Accessed 01 August 2018.
- CPRM-CODEMIG. 2014. Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais. CPM/CODEMIG. Available at <<http://www.portalgeologia.com.br>>.
- CZAPLEWSKI NJ AND CARTER C. 1998. Pleistocene bats from cave deposits in Bahia, Brazil. *J Mam* 79(3): 784-803.
- DONDAS A, ISLAFI AND CARBALLIDO JL. 2009. Paleocaves exhumed from the Miramar Formation (Ensenadan Stage-age, Pleistocene), Mar del Plata, Argentina. *Quat Intern* 210: 44-50.
- FERNANDES CS, BATHALHA MA AND BICHUET EME. 2016. Does the Cave Environment Reduce Functional Diversity? *PLoS ONE* 11(3): 1-14.
- FERNÁNDEZ-JALVO Y AND ANDRÉS EWS P. 2016. Corrosion AND Digestion. In: Fernández-Jalvo Y and Andrews P (Eds), *Atlas of taphonomic identifications: 1001+ images of fossil and recent mammal bone modification*. Dordrecht: Springer, p. 235-280.
- FRIANKHT, ALTHAUSCE, DARIO EM, TRAMONTINA F, ANDRIANO M, ALMEIDA ML, FERREIRA GF, NOGUEIRA R AND BRUIER. 2015. Underground chamber systems excavated by Cenozoic ground sloths in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *Rev Bras Paleo* 18: 273-284.
- FRIANKHT, BUCHMANN FSC, LIMA LG, CARON F, LOPES R P AND FORNARI M. 2011. Karstic features generated from large palaeovertebrate tunnels in southern Brazil. *Espeleo-tema* 22: 139-153.
- FRIANKHT, BUCHMANN FS, LIMA LG, FORNARI M, CARON F AND LOPES R P. 2012. Cenozoic vertebrate tunnels in Southern Brazil. *Mon Soc Bras Paleo* 2: 141-157.
- GENISE JF. 1989. Las cuevas con *Actenomys* (Rodentia, Octodontidae) de la Formación Chapadmalal (Plioceno Superior) de Mar del Plata y Miramar (provincia de Buenos Aires). *Amegh* 26(1-2): 33-42.
- GOBET Z KE AND HATTIN DE. 2002. Rodent-gnawed carbonate rocks from Indiana. *Proc Ind Acad Sci* 1: 1-8.
- HAGLUND WD. 1992. "Contribution of rodents to Postmortem Artifacts of Bone and Soft tissue". *J For Sci* 37(6): 1459-1465.
- HOLSINGER JR AND DICKSON GW. 1977. Burrowing as a means of survival in the troglobitic amphipod crustacean *Crangonyx antennatus* Packard (Crangonyctidae). *Hydrobiologia* 54(3): 195-199.
- JOHNSON E. 1985. Current Developments in Bone Technology. In: Schiffer MB (Ed), *Advances in Archeological Method and Theory*, Orlando: Academic Press, p. 157-235.
- JONES B. 2010. Microbes in caves: agents of calcite corrosion and precipitation. *Geological Society, London, Special Publications* 336(1): 7-30.
- KAR KANAS P AND GOLDBERG P. 2013. Micromorphology of Cave Sediments. In: Shroder JF and Frumkin A (Eds), *Treatise on Geomorphology, Karst Geomorphology*. San Diego: Academic Press, p. 286-297.
- LAMPRI NOU V, PANTAZIDOU A, PAPAIOGIANNAKI G, ADEAC AND ECONOMOU-AMILLI A. 2009.

- Cyanobacteria and associated invertebrates in Leontari Cave, Attica (Greece). *Fototea* 9(1): 155-164.
- LOCKLEY M AND MEYER C. 2000. Dinosaur tracks and other fossil footprints of Europe. New York: Columbia University Press, 323 p.
- LUNDBERG G J AND MCFARELANE DA. 2012. Post-speleogenetic biogenic modification of Gomantong Caves, Sabah, Borneo. *Geomorphology* 157: 153-168.
- MACDONALD J AND TERRELL-NIELD CE. 1991. The bioturbation of cave sediments by decomposers. In: Meadows PS and Meadows A (Eds), *The Environmental Impact of Burrowing Animals and Animal Burrows: The Proceedings of a Symposium Held at the Zoological Society of London*. London: Clarendon Press, p. 309-311.
- MARCOLINO CP, ISAIAS RMS, COZZUOL MA, CARTELLER C AND DANTEAS MAT. 2012. Diet of *Palaeolama major* (Camelidae) of Bahia, Brazil, inferred from coprolites. *Quaternary International* 278: 81-86.
- MARTINELLI AG ET AL. 2013. Tooth Marks of Mammalian Incisors on Rocky Substrate in Brazil: Evidence of Geophagy in the Cerrado Biome. *Ichnos. An International Journal of Plant Animal Traces* 20: 173-180.
- MILLER WIII. 2007. *Trace Fossils: Concepts, Problems, Prospects*. Amsterdam: Elsevier, 632 p.
- MILLS A AND MILEWSKI A. 2007. Geophagy and nutrient supplementation in the Ngorongoro Conservation Area, Tanzania, with particular reference to selenium, cobalt and molybdenum. *J Zoo* 271: 110-118.
- MINAS GERAIS. 2005. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Termo de Referência para Elaboração de Estudos de Impacto Ambiental para Atividades Minerárias em Áreas Cársticas no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brazil, 28 p. [http://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0tZC2Mb/content/id/19272154](http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0tZC2Mb/content/id/19272154)
- MMA 2017. Instrução Normativa N. 2. Ministério do Meio Ambiente, < [http://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0tZC2Mb/content/id/19272154](http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0tZC2Mb/content/id/19272154)>. Accessed 13 February 2018.
- MONDINI M. 2002. Carnivore taphonomy and the Early human Occupations in the Andes. *J Archaeol Sci* 29: 791-801.
- OLIVEIRA A-GALVÃO ALC. 2014. A base de dados geoespacializados do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas - CECAV. *Rev Bras Espeleol* 1(4): 52-62.
- PANICHEV AM, POPOV VK, CHEKRYZHKOVIY, SERGODKIN IV, SERGIEVICH AA AND GOLOKHVASTSKS. 2017. Geological nature of mineral licks and the reasons for geophagy among animals. *Biogeosciences* 14: 2767-2779.
- PICCINI L, FORTI P, GIULIVO I AND MECCHIAM. 2007. The polygenetic caves of Cuatro Ciénegas (Coahuila, Mexico): morphology and speleogenesis. *Intern J Speleol* 36: 83-92.
- PIRES E SOUZA AA, SILVA RCF, ROSIÈRE CA, DIAS GS AND MOREAIS FP. 2014. Estudos geoquímicos de itabiritos da Serra do Sapo, Espinhaço Meridional, Minas Gerais. *Geonomos* 22: 1-17.
- SABATINI V AND COSTA MJR P. 2001. Etograma da *Paca (Agouti paca, Linnaeus, 1766)* em Cativeiro. *Rev Etol* 3(1): 3-14.
- SANTUCCI VL, KENWORTHY J AND KERBOUR. 2001. An inventory of paleontological resources associated with National Park Service caves. *Geologic Resources Division Technical Report*, v. NPS/NR/GD/Gr/Dtr-01/02, 50 p.
- SHIPMAN P AND ROSE J. 1983. Early hominid hunting, Butchering, and Carcass-Processing Behaviors: Approaches to the Fossil Record. *J Anthropol Archaeol* 2: 57-98.
- STEFEN C, HABELER SETZER J AND WITZEL U. 2016. Biomechanical aspects of incisor action of beavers (*Castor fiber* L.). *J Mam* 97(2): 619-630.
- VASCONCELOS AG AND BITENCOURT J. 2018. Desenterrando a vida do passado. Potencial paleontológico em cavernas. In: Auler AS and Souza T Ar (Eds), *O Carste de Vazante-Paracatu-Unai: revelando importâncias, recomendando refúgios*. 1. Belo Horizonte: Carste Ciência e Meio Ambiente, p. 215-237.

## ARTIGO 5

### **Atualização taxonômica dos mamíferos quaternários coletados por Peter Lund na região de Lagoa Santa entre os anos de 1835 e 1845**

#### **Introdução**

A maior quantidade e diversidade de fósseis de mamíferos quaternários coletados no Brasil é proveniente de cavernas calcárias (ANDRADE; MANIESI; ADAMY, 2017; ARAÚJO-JÚNIOR et al., 2013; AULER et al., 2006; CARTELLE; HIROOKA, 2005; FAURE; GUÉRIN; PARENTI, 1999; GUÉRIN et al., 1996; HUBBE et al., 2011b; LUND; PAULA COUTO, 1950; MAYER et al., 2018; MOREIRA; MELO, 1971; PILLATI; BORTOLI, 1978; SALLES et al., 2006; SEDOR; BORN, 1999). Áreas cársticas como as de Lagoa Santa (MG), São Raimundo Nonato (PI), Vale do Ribeira (SP) e norte da Bahia (ex. regiões de Iraquara, Nova Redenção e Campo Formoso) são as áreas de maior potencial paleontológico, relacionado a esses animais (ex. CARTELLE, 2012; GHILARDI; FERNANDES; BICHUETTE, 2011; VASCONCELOS; KRAEMER; MEYER, 2018). Isso também possivelmente, está diretamente relacionado ao fato dessas regiões serem as mais estudadas no país. Trabalhos mais recentes desenvolvidos em outras regiões, como Tocantins, Ceará e norte de Minas Gerais, vêm se mostrando bastante promissoras no que diz respeito aos achados paleontológicos em cavernas (BUCHMANN et al., 2017; CASTRO et al., 2013; KRAEMER et al., 2018; VASCONCELOS et al., 2018; VIANA et al., 2010).

Porém, no que se refere às descobertas de novas espécies, o carste de Lagoa Santa se destaca nesse cenário (LUND; PAULA COUTO, 1950). Isso pode ser atribuído a soma de dois fatores: (i) foi onde os estudos paleontológicos se iniciaram no Brasil e (ii) a expressiva quantidade de material que foi coletado nessas grutas favoreceu a identificação de espécies antes desconhecidas pelos naturalistas da época (HOLTEN; STERLL, 2011). Dois naturalistas se destacaram nesses estudos. Lund foi o principal coletor dos ossos, e foi quem, juntamente com Winge, mais se dedicou ao estudá-los (LUND; PAULA COUTO, 1950; WINGE, 1888, 1892, 1893, 1895, 1906, 1915).

Desde a época das coletas de Lund, e dos trabalhos de Winge, muitos táxons foram atualizados e/ou invalidados (ex. CARTELLE; DE IULIIS; FERREIRA, 2009; CARTELLE et al., 2019; GARDNER, 2008; PARDIÑAS et al., 2016; PARDIÑAS; D'ELÍA; TETA, 2009; PARDIÑAS; TETA, 2011; PATTON; PARDIÑAS; D'ELÍA, 2015; PAULA COUTO, 1946, 1979). Alguns ainda se apresentavam duplicados e outros tiveram sua distribuição atualizada, sendo constatada a ausência deles no território nacional. A última lista atualizada, e comparativa com a de Winge, foi fornecida por PAULA COUTO (1946). Neste sentido, o objetivo deste trabalho é apresentar uma atualização taxonômica dos mamíferos, comparando-a com as listas de desses pesquisadores, assim como indicar as cavernas onde esse material foi coletado por Lund.

#### **Uma breve contextualização**

##### **Século XIX e início de século XX**

O naturalista Peter W. Lund iniciou suas pesquisas paleontológicas no Brasil no ano de 1835. Em dez anos de trabalho, ele visitou centenas de cavernas ao longo da região entre os rios Das Velhas e Paraopeba, onde coletou milhares de fósseis (LUND; PAULA COUTO, 1950; WINGE, 1888, 1892, 1893, 1895, 1906, 1915). Mesmo distante da Europa e da comunidade científica da época, e com um limitado material para consulta, Lund descreveu diversas espécies antes desconhecidas pela comunidade científica, todas coletadas em cavernas dessa região (CARTELLE, 2002, 2012; HOLTEN; STERLL, 2011; LUND; PAULA COUTO, 1950).

Lund dividia seu trabalho da seguinte forma, no período de seca, ele visitava as cavernas e coletava os ossos para seus estudos. Já na época das chuvas, ele se dedicava na identificação e descrição do material resgatado (HOLTEN; STERLL, 2011). Uma vez feita essas etapas, Lund enviava seus resultados para Europa, onde seriam publicados e divulgados para a comunidade científica da época (ex. LUND (1836, 1843).

Embora Lund tenha coletado fósseis de diferentes grupos taxonômicos, ele se restringiu a identificar e descrever somente os restos de mamíferos. Apesar de muitas espécies descritas por ele terem sido invalidadas, ou atualizadas, no total de táxons válidos até hoje, ele descreveu 23 novas espécies desse grupo, entre viventes e extintas (CARTELLE, 2012).

O volume de fósseis coletado por Lund nas cavernas era tamanho, que mesmo após o fim de suas atividades científicas, em 1845, em meio a esse material ainda seriam descritas várias espécies para a região cárstica de Lagoa Santa. Herluf Winge foi o principal naturalista que estudou e identificou o material coletado por Lund. Além dos mamíferos, Winge também descreveu o material de aves proveniente das grutas de Minas Gerais (WINGE, 1888, 1892, 1893, 1895, 1906, 1915).

Winge, além de trabalhar com o material não descrito por Lund, também revisou as espécies fundadas por ele. Este trabalho foi desenvolvido na Dinamarca, onde Winge possuía maiores recursos para comparar os fósseis, tanto a partir de livros, quanto com outros fósseis (Holten e Sterll 2011). Os resultados de seu trabalho foram divulgados em uma série de publicações, entre os anos 1887 e 1895. Elas foram apresentadas da seguinte forma: Rodentia (1887), Aves (1888), Chiroptera (1892), Marsupialia (1893), Primates (1895a), Carnivora (1895b), Ungulata (1906), e Edentata (1915). Winge também fez considerações sobre os achados humanos na Gruta do Sumidouro. Além da descrição do material, ele ainda indica a procedência de cada táxon coletado por Lund (WINGE, 1888, 1892, 1893, 1895, 1906, 1915).

### **Segunda metade do Século XX**

Após um hiato de quase 100 anos, estudos paleontológicos foram reiniciados no carste de Lagoa Santa por membros da Academia de Ciências Mineira e do Museu Nacional (RJ). Esses pesquisadores, além de se ocuparem em novas escavações, também se dedicaram em revisar parte dos trabalhos taxonômicos de Lund e Winge (ex. GORCEIX, 1884; LEITE; COSTA, 2002; LUND; PAULA COUTO, 1950; PAULA COUTO, 1946, 1951, 1958b; SOUZA CUNHA, 1960)

Porém, a maioria dos trabalhos de atualização taxonômica envolvia poucas espécies (ou somente uma), e são raros os que relacionam a taxonomia atualizada com as cavernas onde Lund coletou o material ou que fornecem o número de tomo dos fósseis utilizados (ex. Teixeira 2016). Já os trabalhos onde são listadas as cavernas de coleta, as espécies são citadas com a taxonomia ainda utilizada por Winge ex. GORCEIX, 1884; MATTOS, 193DC, 1930, 1939).

As revisões mais completas foram elaboradas por Paula Couto (LUND; PAULA COUTO, 1950; PAULA COUTO, 1946). Além de sua contribuição analisando os fósseis de mamíferos, ele também se ocupou em traduzir, complementar e atualizar os manuscritos de Lund, publicando-os em português, com o título, “Memórias sobre a Paleontologia Brasileira” (LUND; PAULA COUTO, 1950; PAULA COUTO, 1946). PAULA COUTO (1951) também foi quem coletou uma nova espécie de mamífero, *Tetrastylus walteri*, encontrado no Carste de Lagoa Santa. Esse roedor foi a única espécie descrita para a região após os trabalhos de Lund (PAULA COUTO, 1951). Seus restos foram encontrados na Lapa da Cerca Grande.

Os demais táxons encontrados por Lund, também foram reportados por trabalhos realizados na área a partir dos anos 1980 (Informações mais detalhadas são fornecidas em CARTELLE, (2020).

## Resultados

Em 10 anos de trabalho, Lund visitou mais de 800 cavernas, sendo que, em pelo menos 72, ele coletou fósseis (Tabela 11, LUND; PAULA COUTO, 1950). Certamente, este número é maior, pois a localização de vários achados é imprecisa, uma vez que parte deles é apontado para “várias cavernas diferentes” (Tabela 11, ver trabalhos de Winge). Ao menos, duas das cavernas escavadas por Lund foram suprimidas. A Lapa Vermelha de Lagoa Santa, em 1973 e a Lapa dos Coxos (Pedro Leopoldo, perto de Mocambo; CARTELLE et al., 1998). Infelizmente, sabe-se a localização exata de apenas 13 cavernas exploradas pelo dinamarquês (Tabela 11, Anexo I).

**Tabela 11.** Cavidades da região entre os rios Das Velhas e Paraopeba (Minas Gerais), onde Lund coletou fósseis (WINGE, 1888, 1892, 1893, 1895, 1906, 1915).

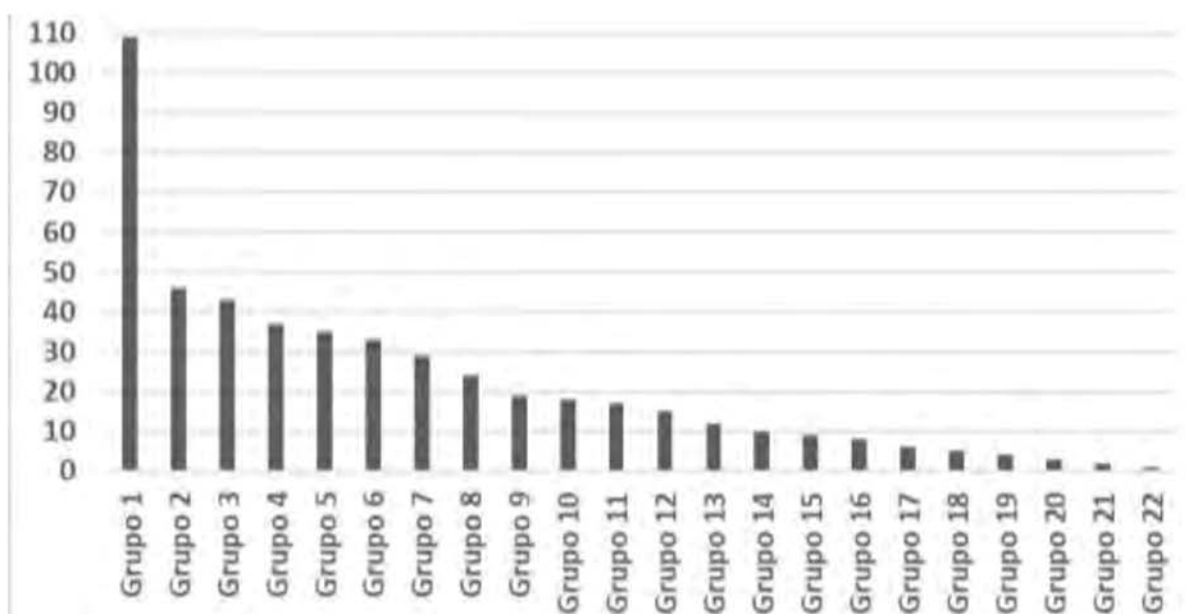
Lapa de Anna Felícia <sup>3*</sup>	Lapa da Escrivânia nº 3 <sup>2</sup>	Lapa do Marinho nº 2 <sup>3</sup>	Lapa da Serra do Taquaral nº 2 <sup>3</sup>
Lapa da Babida <sup>3</sup>	Lapa da Escrivânia nº 4 <sup>2</sup>	Lapa Nova de Maquiné*	Lapa da Serra do Taquaral nº 3 <sup>2</sup>
Lapa do Baú	Lapa da Escrivânia nº 5 <sup>2</sup>	Lapa de Oco de Pau <sup>3</sup>	Lapa da Serra do Taquaral nº 4 <sup>2</sup>
Lapa do Baú nº 1 <sup>2</sup>	Lapa da Escrivânia nº 6 <sup>2</sup>	Lapa da Onça*	Lapa de Soares <sup>3*</sup>
Lapa do Baú nº 2 <sup>2</sup>	Lapa da Escrivânia nº 7 <sup>2</sup>	Lapa dos Ossinhos <sup>3</sup>	Lapa dos Tatus
Lapa do Baú nº 3 <sup>2</sup>	Lapa da Escrivânia nº 8 <sup>2</sup>	Lapa da Pedra dos Índios nº 1	Lapa da Vargem Formosa <sup>3</sup>
Lapa do Baú <i>Hullet</i> <sup>2</sup>	Lapa da Escrivânia nº 9 <sup>2</sup>	Lapa da Pedra dos Índios nº 4	Lapa do Valle <sup>3</sup>
<i>Hule ved</i> Baú <sup>2</sup>	Lapa da Escrivânia nº 10 <sup>2</sup>	Lapa de Periperi	Lapa Vermelha de Lagoa Santa <sup>4*</sup>
Lapa do Bento <sup>3</sup>	Lapa da Escrivânia nº 11 <sup>2</sup>	Lapa de Periperi nº 1	Lapa Vermelha nº 1
Lapa do Caixão <sup>3</sup>	<i>En Salpeter</i> <i>Hule ved</i> Escrivânia <sup>2</sup>	Lapa de Periperi nº 2	Lapa Vermelha nº 2 <sup>4</sup>
Lapa do Camelo <sup>3</sup>	<i>Hule ved</i> Escrivânia <sup>2</sup>	Lapa dos Porcos <sup>3</sup>	Diversas cavidades não identificadas <sup>3</sup>
Lapa do Capão Secco <sup>3</sup>	<i>Hule ved</i> Sumidouro <sup>2</sup>	Lapa das Quatro Boccas <sup>3*</sup>	Depósitos recentes (achados sobre o piso de cavernas variadas) <sup>3</sup>
Lapa das Carrancas <sup>1</sup>	Lapa do Gambá	Lapa Quebra Chavelha <sup>3</sup>	
Lapa do Cavallo <sup>3</sup>	Lapa Grande de Genette <sup>3</sup>	Lapa Rasguão do Azude <sup>3</sup>	
Lapa da Cerca Grande*	Lapa de José Barbosa <sup>3</sup>	Lapa Roça de Lacinto <sup>3</sup>	
Lapa da Cerca Grande, Rancho <sup>2</sup>	Lapa da Lagoa do Sumidouro	Lapa da Serra das Abelhas <sup>2</sup>	
Lapa das <i>Corréas</i>	Lapa da Lagoa dos Pitos	Lapa da Serra da Anta <sup>2</sup>	
Lapa Come e não Bebe <sup>3</sup>	Lapa de Maquiné	Lapa da Serra da Anta nº 1 <sup>2</sup>	
Lapa dos Coxos <sup>4</sup>	Lapa de Lúcio <sup>3</sup>	Lapa da Serra da Anta nº 2 <sup>2</sup>	
Lapa da Escrivânia nº 1 <sup>2</sup>	Lapa do Marinho <sup>3</sup>	Lapa da Serra do Taquaral <sup>3</sup>	
Lapa da Escrivânia nº 2 <sup>2</sup>	Lapa do Marinho nº 1 <sup>3</sup>	Lapa da Serra do Taquaral nº 1 <sup>2</sup>	

<sup>1</sup>Localização duvidosa, <sup>2</sup>Localização imprecisa, <sup>3</sup>Localização desconhecida, <sup>4</sup>Cavidades suprimidas (Cartelle et al. 1998). \*Cavidades representadas por Brandt em seu caderno de esboço (Auler e Piló 2016).

### Cavidades com maior ocorrência de restos de mamíferos

As cavidades com a maior diversidade taxonômica foram, Escrivânia nº 5, Escrivânia nº 11, Lagoa do Sumidouro, Escrivânia nº 1 e Serra das Abelhas. Dessas, somente a Lagoa do Sumidouro se sabe a localização exata (Figura 21, Anexo III)

Tabela 24; WINGE, 1888, 1892, 1893, 1895, 1906, 1915).



**Figura 21.** Total de táxons reportados para as cavernas escavadas por Lund (Winge 1887, 1892, 1895a, 1895b, 1906, 1915).

**Legenda:** **Grupo 1** (Escrivânia nº 5), **Grupo 2** (Escrivânia nº 11), **Grupo 3** (Lagoa do Sumidouro), **Grupo 4** ("Cavernas diferentes"), **Grupo 5** (Escrivânia nº 1), **Grupo 6** (Serra das Abelhas), **Grupo 7** (Capão Secco e Tatus), **Grupo 8** (Baú), **Grupo 9** ("cavernas diferentes"), **Grupo 10** (Escrivânia nº 3), **Grupo 11** (Periperi), **Grupo 12** (Cerca Grande, Marinho nº 2 e Vermelha), **Grupo 13** (Baú nº 1 e En salpeter ved Escrivânia), **Grupo 14** ("cavernas diferentes"), **Grupo 15** (Quebra Chavelha), **Grupo 16** (Serra da Anta), **Grupo 17** (Escrivânia nº 9, Vermelha N 1 e Periperi n 1), **Grupo 18** (Pedra dos Índios nº 1 e Onça), **Grupo 19** (Camelo, Coxos, Ossinhos e Soares), **Grupo 20** (Anna Felícia, Baú Hullet, Come não bebe, Escrivânia nº 4, Escrivânia nº 6, Escrivânia nº 8, Marinho, Pedra dos Índios nº 1 e Quatro Boccas), **Grupo 21** (Cavallo, Escrivânia nº 10, Escrivânia nº 7, Pedra dos Índios nº 4, Maquiné, Marinho nº 1, Serra Anta nº 1, Serra Taquaral nº 3, Valle e Vermelha nº 2), **Grupo 22** (Babida, Baú nº 2, Baú nº 3, Bento, Caixão, Carrancas, Cerca Grande, Rancho, Correias, Escrivânia nº 2, Escrivânia nº 7, Gambá, Grande de Genette, *Hule ved* Escrivânia, *Hule ved* Sumidouro, *Hule ved* Baú, José Barbosa, Lagoa dos Pitos, Lucio, Nova de Maquiné, Oco de Pau, Periperi n 2, Porcos, Rasguão Azude, Roça Lacinto, Serra Anta nº 2, Serra Taquaral, Serra Taquaral nºs 1, 2 e 4 e Vargem Formosa).

Em uma de suas últimas escavações, Lund retirou todo o sedimento de um pequeno abismo (cerca de 7m de prof.). Ao final da escavação, chegou-se a quase 20m de profundidade. Após 3 meses de escavações, mais de 6 mil barris de sedimento foram retirados. Com a preparação do material, Lund estimou que retirou dali mais de 7 milhões de animais. Apesar de Lund informar que a caverna se desenvolve na região no maciço Escrivânia, nos trabalhos recentes feitos nesse maciço, a mesma não foi localizada. Possivelmente, pelo volume de material, poderia ter sido alguma dessas cavidades citadas acima (LUND; PAULA COUTO, 1950).



Outros locais de coleta de Lund, também não são mencionados com exatidão. Winge se refere a diversas ocorrências para “Caverna no Baú” (*Hule ved Baú*), “Caverna no Escrivânia” (*Hule ved Escrivânia*), “Caverna no Sumidouro” (*Hule ved Sumidouro*) e “caverna com salitre no Escrivânia” (*En salpeter ved Escrivânia*). Embora ainda que pela nomenclatura seja possível identificar a região de coleta, informações mais detalhadas não foram dadas para se localizar com exatidão a localização dessas cavernas.

Ainda há o relato de táxons para “cavernas diferentes” (*Forskjellige Huler*) “sobre o piso de cavernas, em depósitos recentes” (*Ovenpaa Hulernes Jordlag, i Aflejringer fra nyeste Tid, er der fundet Knogler af*) e cavernas sem nome (*Fra forskjellige, ikke navngivne Huler haves desuden*).

### As nomenclaturas de espécies mantidas e atualizadas

Desde as publicações de Winge (ex. WINGE, 1888, 1915), muito foi alterado quanto à classificação taxonômica, desde os níveis mais genéricos, aos mais específicos. Certas nomenclaturas caíram em desuso e foram descartadas. Outras, apesar de mantidas, passaram a ser mais amplas ou restritas. Por exemplo, o grupo Ungulata (WINGE, 1906), se referia a uma divisão que incluía todos os mamíferos com casco. Hoje, essas espécies são divididas em Artiodactyla (Cetartiodactyla), Perissodactyla, Notungulata e Proboscidae. Já o Edentata, deixou de ser usado para se referir ao atual grupo dos Xenarthra (CARTELLE, 2012).

Porém, o nível taxonômico que mais sofreu alterações foi o de espécie. Grupos, coletados por Lund, como Didelphimorphia, Lagomorpha, Primates, Perissodactyla e Proboscidae tiveram a nomenclatura de todas as suas espécies alteradas. Já os grupos que menos sofreram atualizações foram, Notungulata, Artiodactyla e Cingulata ((WINGE, 1888, 1892, 1893, 1895, 1906, 1915).

**Tabela 12;** (WINGE, 1888, 1892, 1893, 1895, 1906, 1915).

**Tabela 12.** Relação da quantidade de espécies que sofreram modificações quanto à sua nomenclatura. Nomenclatura das ordens de acordo com as utilizadas por Winge (WINGE, 1888, 1892, 1893, 1895, 1906, 1915).

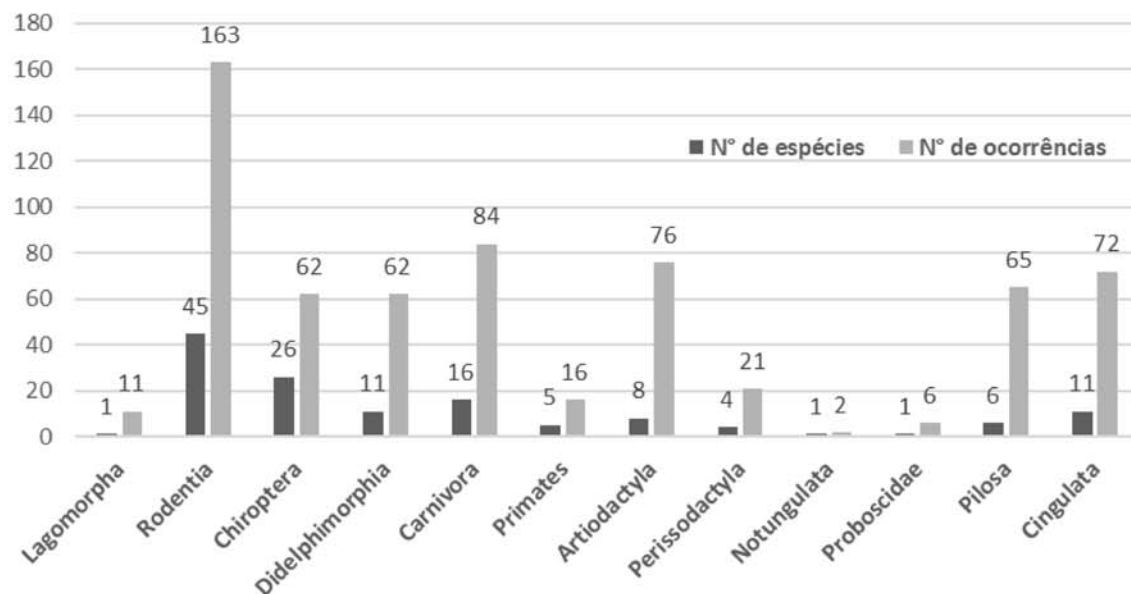
Ordem	Nº de espécies mantidas	Nº de espécies alteradas	% de alteração da nomenclatura por táxon
Lagomorpha	0	1	100%
Rodentia	9	40	82%
Chiroptera	5	21	81%
Didelphimorphia	1	24	96%
Carnivora	1	24	96%
Primates	0	5	100%
Artiodactyla	3	2	40%
Perissodactyla	0	9	100%
Notungulata	1	0	0%
Proboscidae	0	1	100%
Pilosa	1	6	85%
Cingulata	3	7	70%

### Atualização taxonômica

Os grupos taxonômicos serão apresentados da forma em que Winge os descreveu em seus trabalhos (WINGE, 1888, 1892, 1893, 1895, 1906, 1915). Também será indicada a sua atual classificação zoológica, assim como em quais cavidades seus restos foram coletados.

Após as revisões feitas dos táxons reportados por Winge para Lagoa Santa, para a região, hoje são admitidas cerca de 160 espécies de mamíferos (Figura 22; ver referências em: Tabela 14, Tabela 15, Tabela 16, Tabela 17, Tabela 18, Tabela 19, Tabela 20). Esse número ainda não é certo, pois há alguns espécimes que foram tidos como duvidosos quanto à sua identificação ex. LUND; PAULA COUTO, 1950; WINGE, 1888, 1915); Anexo II).

Com exceção ao trabalho feito por Lund, no qual ele retirou todo o sedimento de uma caverna, não há trabalhos que indiquem a quantidade de espécimes coletados por Lund (LUND; PAULA COUTO, 1950). Entretanto, se for considerado que ele coletou, no mínimo, um indivíduo em cada caverna, a partir das listas fornecidas por Winge, esse número chega a 640. Mesmo assim, este número é bem inferior aos doze mil fósseis já catalogados e aos milhares que ainda não foram incorporados à coleção do Museu da Dinamarca.



**Figura 22.** Quantidade de espécies de mamíferos e o número total de cavidades com suas ocorrências. Material coletado por Lund entre os anos de 1834 e 1844 (WINGE, 1888, 1895, 1906, 1915).

### Glíres

O clado Glíres (grandordem) é formado por seis grupos: Duplicidentata (Gomphos e Lagomorphamorpha), Simplicidentata [=Rodentiamorpha], Eurymylidae, Rodentiaformes, Alagomyidae e Rodentia. Os restos coletados por Lund na região de Lagoa Santa são dos grupos Lagomorpha e dos roedores (LUND; PAULA COUTO, 1950).

Após a atualização taxonômica das listas de (WINGE, 1888), são reconhecidas quarenta e oito espécies de roedores, coletadas por Lund (Cricetidae, Erethizontidae, Caviidae, Dinomyidae e Cuniculidae; Tabela 14), e uma pertencendo à ordem Lagomorpha (Leporidae; Tabela 13, Tabela 18; Anexo II).

**Tabela 13.** Atualização taxonômica dada por PAULA COUTO (1946), e a mais recente, da única espécie de Lagomorpha apontado por WINGE (1888) para a região de Lagoa Santa.

Lista de Winge (1887)	Paula Couto (1946)	Espécie revisada
<i>Lepus brasiliensis</i>	<i>Sylvilagus (Tapeti) brasiliensis</i>	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>

A atualização taxonômica de dois táxons de roedores – citados por WINGE, 1888) e (PAULA COUTO, 1946) – não foi encontrada (*Galea boliviensis* e *Oryzomys (Oligoryzomys) longicaudus*; Tabela 14). Para outras é recomendada uma revisão mais detalhada (Tabela 14; PATTON; PARDIÑAS; D'ELÍA, 2015), Patton et al. 2015, Patton et al. 2015)

**Tabela 14.** Atualização taxonômica dada por Paula Couto (1946), e a mais recente, dos roedores citados por (WINGE, 1888) para cavernas de Minas Gerais.

Lista de (WINGE, 1888)	Paula Couto (1946)	Espécie revisada
<i>Calomys anoblepas</i>	<i>Hesperomys anoblepas</i> (?)	<i>Juliomys anoblepas</i> ou <i>Juliomys sp</i>
<i>Calomys coronatus</i>	<i>Hesperomys coronatus</i> (?)	<i>Euryoryzomys rustauts</i>
<i>Calomys laticeps</i>	<i>Oryzomys (Oryzomys) laticeps</i>	<i>Euryoryzomys nitidus</i>
<i>Calomys longicaudus</i>	<i>Oryzomys (Oligoryzomys) longicaudus</i>	<i>Rodentia sp.</i>
<i>Calomys plebejus</i>	<i>Hesperomys plebejus</i> (?)	<i>Delomys sp.</i>
<i>Calomys rex</i>	<i>Hesperomys rex</i> (?)	<i>Sooretamys angouya</i>
<i>Carterodon sulcidens</i>	<i>Carterodon sulcidens</i>	<i>Carterodon sulcidens</i>
<i>Cavia boliviensis</i> <sup>2</sup>	<i>Galea boliviensis</i>	<i>Cavia sp.</i> <sup>2</sup>
<i>Cavia flavidens</i>	<i>Galea flavidens</i>	<i>Galea flavidens</i>
<i>Cavia porcellus</i>	<i>Cavia porcellus</i> (= <i>C. aperea</i> )	<i>Cavia apereoides</i>
<i>Cavia vates</i>	<i>Cavia vates</i>	<i>Cavia vates</i> Winge
<i>Coelogenys paca</i> forma laticeps	<i>Coelogenys paca laticeps</i>	<i>Cuniculus paca laticeps</i>
<i>Coelogenys paca</i> forma major	<i>Coelogenys paca major</i>	<i>Coelogenys rugiceps</i>
<i>Coelogenys paca</i> forma típica	<i>Cuniculus paca paca</i>	<i>Cuniculus paca</i>
<i>Dactylomys amblyonyx</i>	<i>Kannabateomys amblyonyx</i> <i>amblyonyx</i>	<i>Kannabateomys</i> <i>amblyonyx</i>
<i>Dasyprocta aguti</i>	<i>Dasyprocta aguti (aguti)</i>	<i>Dasyprocta aguti</i>
<i>Dicolpomys fossor</i>	<i>Dicolpomys fossor</i>	<i>Dicolpomys fossor</i>
<i>Echinomys cajennensis</i>	<i>Proechimys cayennensis</i> <i>cayennensis</i>	<i>Trinomys setosus</i> <i>elegans</i>
<i>Habrothrix angustidens</i>	<i>Akodon angustidens</i> (?)	<i>Akodon serrensis</i>
<i>Habrothrix clivigenis</i>	<i>Akodon clivigenis</i> (?)	<i>Akodon clivigenis</i>
<i>Habrothrix cursor</i>	<i>Akodon (Akodon) arviculoides</i> <i>cursor</i>	<i>Akodon cursor</i>
<i>Habrothrix lasiurus</i>	<i>Zygodontomys lasiurus</i>	<i>Necromys lasiurus</i>
<i>Habrothrix orycter</i>	<i>Akodon (Abrothrix) orycter</i>	<i>Thaptomys nigrita</i>
<i>Hesperomys expulsus</i>	<i>Hesperomys expulsus</i>	<i>Calomys expulsus</i>
<i>Hesperomys molitor</i>	<i>Hesperomys molitor</i>	<i>Lundomys molitor</i>
<i>Hesperomys simplex</i>	<i>Oryzomys simplex</i>	<i>Pseudoryzomys simplex</i>
<i>Hesperomys tener</i>	<i>Hesperomys tener</i>	<i>Calomys tener</i>
<i>Hydrochoerus capivara</i> forma <i>giganteus</i> *	<i>Neochaerus giganteus</i>	<i>Neochaerus sulcidens</i>
<i>Hydrochoerus capivara</i> forma típica	<i>Hydrochoerus hydrochaeris</i> <i>hydrochaeris</i>	<i>Hydrochoerus</i> <i>hydrochaeris</i>

<i>Lasiuromys villosus</i>	<i>Isothrix villosus villosus</i>	<i>Callistomys sp.</i>
<i>Loncheres armatus</i>	<i>Echimys armatus</i>	<i>Phyllomys (= Loncheres)</i>
<i>Mesomys mordax</i>	<i>Euryzygomatomys mordax (?)</i>	<i>Euryzygomatomys mordax</i>
<i>Mesomys spinosus</i>	<i>Euryzygomatomys spinosus spinosus (?)</i>	<i>Clyomys laticeps</i>
<i>Myopotamus castoroides</i>	<i>Myocastor coypus</i>	<i>Myocastor coypus</i>
<i>Nectomys antricola</i>	<i>Ceromys cunicularius</i>	<i>Thrichomys apereoides</i>
<i>Nectomys squamipes</i>	<i>Nectomys squamipes squamipes</i>	<i>Nectomys squamipes</i>
<i>Nelomys antricola</i>	Não menciona	<i>Thrichomys apereoides</i>
<i>Oxymycterus breviceps</i>	<i>Blarinomys breviceps</i>	<i>Blarinomys breviceps</i>
<i>Oxymycterus cosmodus</i>	<i>Oxymycterus cosmodus</i>	<i>Oxymycterus cosmodus</i>
<i>Oxymycterus rufus</i>	<i>Oxymycterus rufus</i>	<i>Oxymycterus rufus</i>
<i>Oxymycterus talpinus</i>	<i>Blarinomys talpinus</i>	<i>Brucepattersonius iheringi</i>
<i>Rhipidomys mastacalis</i>	<i>Rhipidomys mastacalis</i>	<i>Rhipidomys mastacalis</i>
<i>Scapteromys fronto</i>	<i>Scapteromys fronto</i>	<i>Gyldenstolpia fronto fronto</i>
<i>Scapteromys labiosus</i>	<i>Scapteromys labiosus</i>	<i>Bibimys labiosus</i>
<i>Scapteromys principalis</i>	<i>Scapteromys principalis</i>	<i>Kunsia tomentosus</i>
<i>Sciurus aestuans</i>	<i>Sciurus (Guerlinguetus) aestuans aestuans</i>	<i>Sciurus aestuans</i>
<i>Sigmodon vulpinus</i>	<i>Holochirus vulpinus</i>	<i>Holochilus brasiliensis (ou H. magnus)</i>
<i>Sphingurus insidiosus</i>	<i>Coendou (Sphingurus) insidiosus</i>	<i>Coendou insidiosus</i>
<i>Sphingurus magnus</i>	<i>Coendou (Sphingurus) magnus</i>	<i>Coendou magnus</i>
<i>Sphingurus prehensilis</i>	<i>Coendou (Coendou) prehensilis</i>	<i>Coendou prehensilis</i>

<sup>1</sup>(LUND; PAULA COUTO, 1950) e (WINGE, 1888) não relatam as cavernas onde restos de *N. sulcidens* foram coletados.

<sup>2</sup>*Cavia boliviensis* não registrada para a região, foi citada como *Cavia* sp.

<sup>3</sup>*Delomys plebejus nomen dubium* citado como *Delomys* sp.

(?) Apontado como identificação duvidosa, por Paula Couto (1946).

## Chiroptera

Atualmente, os Chiroptera são divididos em dois grandes grupos: Megachiroptera Microchiroptera. (Mikko's Phylogeny, 2020). WINGE (1892) identificou vinte e seis espécies de morcegos, que foram coletadas, em pelo menos, sete cavernas. A lista mais atualizada sobre parte desses táxons foi dada por (CZAPLEWSKI; CARTELLE, 1998). As espécies coletadas por Lund estão divididas em cinco famílias, sendo Phyllostomidae (12 espécies) e Vespertilionidae (6 espécies); (WINGE, 1892); Tabela 15, Tabela 18; Anexo II).

**Tabela 15.** Lista de morcegos reportados por Winge (1892) para a região de Lagoa Santa, sendo indicada a sua atualização taxonômica (de acordo com Gardner (2008)).

Lista de Winge (1892)	Paula Couto (1946)	Espécie revisada
<i>Artobius (=Artibeus) perspicillatus</i>	<i>Artibeus jamaicensis lituratus</i>	<i>Artibeus fimbriatus</i>
<i>Atalapha ega</i>	<i>Dasypterus ega</i>	<i>Atalapha ega</i>
<i>Atalapha noveboracensis</i>	<i>Lasiurus noveboracensis</i>	<i>Lasiurus noveboracensis</i>

Lista de Winge (1892)	Paula Couto (1946)	Espécie revisada
<i>Carollia brevicauda</i>	<i>Hemiderma perspicillata</i>	<i>Carollia brevicauda</i>
<i>Chiroderma villosum</i>	<i>Chiroderma doriae</i>	<i>Chiroderma villosum</i>
<i>Desmodus rufus</i>	<i>Desmodus rotundus</i>	<i>Desmodus rufus</i>
<i>Glossophaga soricina</i>	<i>Glossophaga soricina</i>	<i>Glossophaga soricina</i>
<i>Lonchoglossa caudifera</i>	<i>Lonchoglossa caudifera</i>	<i>Anoura caudifer</i>
<i>Lonchoglossa ecaudata</i>	<i>Lonchoglossa ecaudata</i>	<i>Anoura caudifer</i>
<i>Lophostoma bidens</i>	<i>Tonatia bidens</i>	<i>Tonatia bidens</i>
<i>Molossus abrasus</i>	<i>Molossus abrasus abrasus</i>	<i>Cynomops abrasus</i>
<i>Molossus bonariensis</i>	<i>Molossus bonariensis bonariensis</i>	<i>Eumops bonariensis</i>
<i>Molossus nasutus</i>	<i>Molossus nasutus</i>	<i>Promops nasutus</i>
<i>Molossus perotis</i>	<i>Molossus perotis perotis</i>	<i>Eumops perotis</i>
<i>Natalus stramineus</i>	<i>Natalus stramineus</i>	<i>Natalus stramineus</i>
<i>Phyllostoma hastatum</i>	<i>Phyllostomus hastatus hastatus</i>	<i>Phyllostomus hastatus</i>
<i>Saccopteryx canina</i>	<i>Peropteryx macrotis</i>	<i>Peropteryx macrotis</i>
<i>Schizostoma megalotis</i>	<i>Micronycteris megalotis</i>	<i>Micronycteris megalotis</i>
<i>Sturnira lilium</i>	<i>Sturnira lilium</i>	<i>Phyllostoma lilium</i>
<i>Tylostoma longifolium</i>	<i>Anthorhina longifolium</i>	<i>Mimon crenulatum longifolium</i>
<i>Vampyrops lineatus</i>	<i>Vampyrops lineatus</i>	<i>Platyrrhinus dorsalis</i>
<i>Vampyrus auritus</i>	<i>Chrotopterus auritus</i>	<i>Chrotopterus auritus</i>
<i>Vespertilio nigricans</i>	<i>Myotis nigricans</i>	<i>Myotis nigricans</i>
<i>Vesperugo hilarii</i>	<i>Eptesicus hilarii</i>	<i>Eptesicus brasiliensis</i>
<i>Vesperugo serotinus</i>	<i>Pepistrelus serotinus</i>	<i>Eptesicus fuscus</i>
<i>Vesperugo velatus</i>	<i>Histiotus velatus</i>	<i>Histiotus velatus</i>

### Marsupialia (Winge 1893)

Atualmente, o grupo identificado como Marsupialia, por WINGE (1893), trata-se do Didelphimorphia. Vinte e quatro espécies de marsupiais foram reportadas por WINGE (1893) para o material coletado por Lund. Seus restos foram coletados em, pelo menos, dezessete cavernas. As Lapas da Escrivânia n° 5 e n°3 foram que apresentaram a maior diversidade de marsupiais, sendo respectivamente 10 e 7 espécies em cada.

Após uma revisão taxonômica, feita por Teixeira (2016), sobre os marsupiais coletados por Lund na região de Lagoa Santa, o número de espécies saltou para trinta (Tabela 16). Todas elas são da família Didelphidae. (Tabela 18; Anexo II).

**Tabela 16.** Atualização taxonômica dada por (PAULA COUTO, 1946), e a mais recente, dos morcegos reportados por WINGE (1893) para cavernas de Minas Gerais (TEIXEIRA, 2016).

Lista de Winge (1893)	Paula Couto (1946)	Espécie revisada
<i>Chironectes variegatus</i>	não menciona	<i>Chironectes minimus</i>
<i>Didelphidae</i> sp.	não menciona	<i>Monodelphis domestica</i>
<i>Didelphidae</i> sp.	não menciona	<i>Didelphis</i> sp.
<i>Didelphys albiventris</i> <sup>1</sup>	não menciona	<i>Didelphis albiventris</i>
<i>Didelphys azara</i> <sup>1</sup>	não menciona	<i>Didelphis albiventris</i>

Lista de Winge (1893)	Paula Couto (1946)	Espécie revisada
<i>Didelphys cancrivora</i>	<i>Didelphys cancrivora</i>	<i>Didelphys aurita</i>
<i>Didelphys cinerea</i> <sup>1</sup>	não menciona	<i>Marmosa demerarae</i>
<i>Didelphys crassicaudata</i>	<i>Lutreolina crassicaudata</i>	<i>Lutreolina crassicaudata</i>
<i>Didelphys elegans</i> <sup>1</sup>	não menciona	<i>Thylamys velutinus</i>
<i>Didelphys grisea</i> <sup>1</sup>	não menciona	<i>Marmosops incanus</i>
<i>Didelphys marsupialis</i> var. <i>albiventris</i>	<i>Didelphys marsupialis albiventris</i>	<i>Didelphis marsupialis</i>
<i>Didelphys murina</i> <sup>1</sup>	não menciona	<i>Gracilinanus agilis</i>
<i>Didelphys nudicaudata</i> <sup>1</sup>	não menciona	<i>Metachirus nudicaudatus</i>
<i>Didelphys opossum</i>	<i>Metachirops opossum</i>	<i>Philander frenatus</i>
<i>Didelphys pusilla</i> <sup>1</sup>	não menciona	<i>Gracilinanus agilis</i>
<i>Didelphys</i> sp. <sup>1</sup>	não menciona	<i>Didelphys</i> sp.
<i>Grymaeomys cinereus</i>	<i>Grymaeomys cinerea</i>	<i>Marmosa demerarae</i>
<i>Grymaeomys griseus</i>	<i>Grymaeomys grisea</i>	<i>Marmosops incanus</i>
<i>Grymaeomys microtarsus</i>	<i>Marmosa microtarsus</i>	<i>Gracilinanus agilis</i>
<i>Grymaeomys microtarsus</i>	<i>Marmosa microtarsus</i>	<i>Gracilinanus microtarsus</i>
<i>Grymaeomys pusillus</i>	<i>Marmosa pusilla</i>	<i>Gracilinanus agilis</i>
<i>Grymaeomys pusillus</i>	<i>Marmosa pusilla</i>	<i>Thylamys velutinus</i>
<i>Grymaeomys velutinus</i>	<i>Marmosa velutina</i>	<i>Gracilinanus microtarsus</i>
<i>Grymaeomys velutinus</i>	<i>Marmosa velutina</i>	<i>Thylamys velutinus</i>
<i>Grymaeomys velutinus</i>	<i>Marmosa velutina</i>	<i>Gracilinanus agilis</i>
<i>Hemiurus brachyurus</i> <sup>1</sup>	não menciona	<i>Monodelphis domestica</i>
<i>Hemiurus domesticus</i>	<i>Monodelphis domestica</i>	<i>Monodelphis domestica</i>
<i>Hemiurus tristriatus</i>	<i>Monodelphis americana</i>	<i>Monodelphis americana</i>
<i>Philander laniger</i>	<i>Philander laniger</i>	<i>Caluromys lanatus</i>

<sup>1</sup>Atualizados por (TEIXEIRA, 2016), porém não citados no trabalho original de WINGE (1893).

Essa foi a revisão mais detalhada feita com parte do material coletado por Lund, desde os trabalhos de (LUND; PAULA COUTO, 1950; PAULA COUTO, 1946). Nesse estudo, foram analisados os fósseis enviados à Europa por Lund, que hoje estão depositados no Museu de História Natural de Copenhague e no Museu de História Natural de Londres (TEIXEIRA, 2016). Com essa revisão, constatou-se o primeiro registro fóssil das espécies. *Chironectes minimus*, *Metachirus nudicaudatus* e *Philander frenatus* são reportadas para a primeira vez para o registro fóssil (TEIXEIRA, 2016).

### Carnívora

Lund encontrou restos de diversas espécies de carnívoros nas grutas da região de Lagoa Santa. Esse grupo é representado por integrantes das famílias, Canidae, Felidae, Mephitidae, Mustelidae, Procyonidae, Ursidae, sendo a Felidae a mais representativa quanto ao número de espécies (WINGE, 1895; Tabela 18; Anexo II).

Vinte e cinco espécies de carnívoros foram reportadas por (WINGE, 1895). Após a revisão taxonômica, esse número foi atualizado para dezesseis. Seus restos foram coletados em, pelo menos, vinte e quatro cavernas.

Não foi encontrado nenhum trabalho que mencione sobre a espécie *Procyon ursinus* (Tabela 17). Restos dessa espécie foram descritos por WINGE, (1895) como de “tamanho mais avantajado”,

em relação aos tipos de guaxinins encontrados por Lund. (WINGE, 1895) também menciona variações na dentição, reforçando que tais restos realmente pertençam a uma espécie distinta de procionídeo (WINGE, 1895). Como não há desenhos desse fóssil, ou quaisquer outros registros, para se confirmar esse fato se faz necessária uma análise do fóssil coletado.

**Tabela 17.** Atualização taxonômica dada por PAULA COUTO (1946), e a mais recente, dos carnívoros citados por (WINGE, 1895) para cavernas de Minas Gerais.

Lista de Winge (1895a)	Paula Couto (1946)	Espécie revisada
<i>Felis tigrina</i>	<i>Felis (Noctifelis) tigrina</i> (=Margay tigrina)	<i>Leopardus tigrinus</i>
<i>Felis macroura</i>	<i>Felis (Noctifelis) wiedii wiedii</i>	<i>Leopardus wiedii</i>
<i>Felis eira</i>	<i>Felis (Herpailurus) Yagouroundi</i>	<i>Puma yagouarondi</i>
<i>Felis pardalis</i>	<i>Felis (Leopardus) pardalis brasiliensis</i>	<i>Leopardus pardalis</i>
<i>Felis concolor</i>	<i>Felis (Puma) concolor concolor</i>	<i>Puma concolor</i>
<i>Felis onca</i> Linnaeus	<i>Panthera (Jaguaris) onca</i>	<i>Panthera onca</i>
<i>Machaerodus neogaeus</i>	<i>Smilodon neogaeus</i>	<i>Smilodon populator</i>
<i>Canis azarae</i>	<i>Dusicyon (Cerdocyon) gymnocercus gymnocercus</i>	<i>Cerdocyon thous</i>
<i>Canis vetulus</i>	<i>Cusicyon (lycalopex) velutus</i>	<i>Lycalopex vetulus</i>
<i>Canis cancrivorus Desmarest</i>	<i>Dusicyon (Cerdocyon) thous</i>	<i>Cerdocyon thous</i>
<i>Canis jubatus Desmarest</i>	<i>Chrysocyon brachyurus</i>	<i>Chrysocyon brachyurus</i>
<i>Canis troglodytes</i>	<i>Protocyon troglodytes</i>	<i>Protocyon troglodytes</i>
<i>Icticyon pacivorus</i>	<i>Speothos pacivorus</i>	<i>Speothos pacivorus</i>
<i>Icticyon venaticus</i>	<i>Speothos venaticus</i>	<i>Speothos venaticus</i>
<i>Ursus brasiliensis</i>	<i>Arctotherium (Pseudarctotherium) wingei</i>	<i>Arctotherium brasiliense</i>
<i>Ursus bonariensis</i>	<i>Arctotherium (Arctotherium) bonaerense</i>	<i>Arctotherium brasiliense</i>
<i>Nasua nasica</i>	<i>Nasua nasua nasua</i>	<i>Nasua nasua</i>
<i>Procyon ursinus</i>	<i>Procyon ursinus</i>	<i>Procyon (Euprocyon) cancrivorus<sup>1</sup>(?)</i>
<i>Galictis barbara</i>	<i>Galera barbara</i>	<i>Eira barbara</i>
<i>Galictis intermedia</i>	<i>Grison intermedius</i>	<i>Galictis vittata brasiliensis</i>
<i>Galictis vittata</i>	<i>Grison vittatus brasiliensis</i>	<i>Galictis vittata</i>
<i>Thiosmus suffocans</i>	<i>Conepatus suffocans</i>	<i>Conepatus suffocans</i>
<i>Lutra platensis</i>	<i>Lutra platensis</i>	<i>Lontra longicaudis</i>
<i>Lutra brasiliensis</i>	<i>Pteronura brasiliensis</i>	<i>Pteronura brasiliensis</i>

<sup>1</sup>não há trabalhos que revisaram *Procyon ursinus*.

## Primates

Fósseis de primatas são raros, quando comparados a outros grupos de mamíferos (CARTELLE, 2012). Dentre as famílias que possuem várias espécies, e que são bem representadas na região de estudo de Lund (Paglia et al. 2012), os primatas foram o grupo com a menor diversidade, dentre o material catalogado por Winge (1895b). O número de ocorrências desses mamíferos também foi um dos menores representados.

Além dos restos humanos encontrados na Lapa do Sumidouro, outras cinco espécies foram identificadas em meio ao material coletado por Lund (Winge 1895b). Restos de primatas são reportados para, no mínimo, 11 cavernas (Tabela 18). Há espécies pertencentes às famílias, Atelidae, Cebidae e Pitheciidae (Tabela 18; Anexo II).

**Tabela 18.** Atualização taxonômica dada por PAULA COUTO (1946), e a mais recente, dos primatas citados por Winge (1895b) para cavernas de Minas Gerais.

Lista de Winge (1895b)	Paula Couto (1946)	Espécie revisada
<i>Callithrix personata</i>	<i>Callicebus personatus personatus</i>	<i>Callicebus personatus</i>
<i>Mycetes seniculus</i>	<i>Alouatta seniculus</i>	<i>Alouatta caraya</i>
<i>Hapale penicillata</i>	<i>Callithrix penicillata</i>	<i>Callithrix penicillata</i>
<i>Cebus fatuellus</i>	<i>Cebus fatuellus</i>	<i>Cebus apella</i>
<i>Eriodes protopithecus</i>	<i>Brachyteles protopithecus</i>	<i>Protopithecus brasiliensis</i>

### Ungulados

Atualmente, o grupo nomeado por WINGE (1906) como Ungulata está dividido nas seguintes ordens (famílias): Artiodactyla (Camelidae, Cervidae e Tayassuidae), Perissodactyla (Equidae e Tapiridae), Proboscidea (Gomphotheriidae) e Notoungulata (Toxodontidae). Cervidae é a que possui o maior número de espécies (4 espécies) (Anexo II; Tabela 18). Os artiodátilos e perissodátilos são os mais bem representados, tanto na diversidade de espécies, quanto no número de ocorrências WINGE, (1906). Quatorze espécies são assinaladas para, no mínimo, vinte e nove cavernas escavadas por Lund (Tabela 19).

**Tabela 19.** Atualização taxonômica dada por PAULA COUTO (1946), e a mais recente, dos ungulados citados por WINGE (1906) para cavernas de Minas Gerais.

Lista de Winge (1906)	Paula Couto (1946)	Espécie revisada
<i>Macrauchenia patagonica</i>	<i>Macrauchenia patagonica</i>	<i>Xenorhinotherium bahiense</i>
<i>Toxodon platensis</i>	<i>Toxodon platensis</i>	<i>Toxodon platensis</i>
<i>Auchenia major</i>	<i>Lama major</i>	<i>Palaeolama major</i>
<i>Subulo campestris</i>	<i>Blastocerus bezoarticus</i>	<i>Blastocerus bezoarticus</i>
<i>Subulo paludosus</i>	<i>Blastocerus dichotomus</i>	<i>Blastocerus dichotomus</i>
<i>Subulo simplicicornis</i>	<i>Mazama simplicicornis</i>	<i>Mazama gouazoubira</i>
<i>Subulo rufus</i>	<i>Mazama rufa</i>	<i>Mazama rufa</i>
<i>Dicotyles torquatus</i>	<i>Tayassu pecari</i>	<i>Tayassu tajacu</i>
<i>Dicotyles stenocephalus Lund</i>	<i>Platygonus stenocephalus</i>	<i>Catagonus stenocephalus (= Brasiliochoerus stenocephalus)</i>
<i>Dicotyles labiatus</i>	<i>Tayassu pecari</i>	<i>Tayassu pecari</i>
<i>Equus curvidens</i>	<i>Equus curvidens</i>	<i>Equus neogeus</i>
<i>Hippidium neogaeum</i>	<i>Hippidion neogaeum</i>	<i>Equus neogeus</i>
<i>Hippidium principale</i>	<i>Hippidion principale</i>	<i>Hippidium principale</i>
<i>Tapirus cristatellus</i>	<i>Tapirus cristatellus</i>	<i>Tapirus cristatellus</i>
<i>Tapirus americanus</i>	<i>Tapirus terrestris</i>	<i>Tapirus terrestris</i>
<i>Mastodon andium</i>	<i>Cuvieronius hyodon</i>	<i>Notiomastodon platensis</i>

### Edentata



Atualmente, as espécies do grupo Edentata, como indicado por (WINGE, 1915), são divididas nas ordens Pilosa (Mylodontidae, Myrmecophagidae, Nothrotheriidae) e Cingulata. (Dasypodidae, Glyptodontidae, Pampatheriidae, Panochthidae). Seus restos são reportados para 46 cavidades. (Tabela 18, Tabela 20; Anexo II).

Assim como a maioria dos demais grupos de mamíferos coletados por Lund, os Xenartra também sofreram atualizações taxonômicas. Ao longo do tempo, certamente as espécies que mais sofreram modificações, quanto à sua nomenclatura, foram as preguiças-terricolas *Valgipes bucklandi* e *Catonyx cuvieri* (ver revisão em CARTELLE et al. 2009). Com isso, seria importante um trabalho de revisão do material coletado por Lund, afim de verificar e confirmar as cavernas onde Lund recuperou seus restos.

Outras correções foram feitas devido ao atual conhecimento sobre a distribuição espacial de determinadas espécies reportadas para a região de Lagoa Santa por Lund (LUND; PAULA COUTO, 1950; WINGE, 1915). Sabe-se hoje que as preguiças-terricolas *Megatherium americanum*, *Mylodon robustus* não ocuparam a região intertropical brasileira. Hoje, sabe-se que os fósseis coletados por Lund desses táxons, são de *Eremotherium laurillardi* e *Glossotherium phoenexys*, respectivamente (LUND; PAULA COUTO 1950, CARTELLE et al. 2019).

**Tabela 20.** Xenartra coletados nas cavernas de Lagoa Santa, sendo indicada a atualização de cada táxon identificado por WINGE (1915).

Lista de Winge (1915)	Paula Couto (1946)	Espécie revisada
<i>Euphractus sexcinctus</i>	<i>Euphractus sexcinctus</i>	<i>Euphractus sexcinctus</i>
<i>Xenurus duodecimcinctus</i>	<i>Cabassous duodecimcinctus</i>	<i>Cabassous tatouay</i>
<i>Xenurus squamicaudis</i>	<i>Cabassous squamicaudis</i>	<i>Cabassous unincinctus squamicaudis</i> (?)
<i>Dasypus hybridus</i>	<i>Dasypus hybridus</i>	<i>Dasypus hybridus</i>
<i>Dasypus novemcinctus</i>	<i>Dasypus novemcinctus</i>	<i>Dasypus novemcinctus</i>
<i>Dasypus punctatus</i> Lund	<i>Dasypus punctatus</i> Lund	<i>Dasypus</i> (=Propraopus) <i>punctatus</i>
<i>Dasypus sulcatus</i> Lund	<i>Dasypus sulcatus</i> Lund	<i>Dasypus</i> (=Propraopus) <i>sulcatus</i>
<i>Chlamydotherium majus</i> <sup>1</sup>	<i>Chlamydotherium majus</i>	<i>Pampatherium humboldtii</i>
<i>Hoplophorus euphractus</i>	<i>Hoplophorus euphractus</i>	<i>Hoplophorus euphractus</i>
<i>Glyptodon clavipes</i>	<i>Glyptodon clavipes</i>	<i>Glyptodon clavipes</i>
<i>Tamandua tetradactyla</i>	<i>Tamandua tetradactyla</i>	<i>Tamandua tetradactyla</i>
<i>Myrmecophaga jubata</i>	<i>Myrmecophaga jubata</i>	<i>Myrmecophaga tridactyla</i>
<i>Coelodon maquinensis</i>	<i>Nothrotherium maquinense</i>	<i>Nothrotherium maquinense</i>
<i>Megatherium americanum</i> <sup>2</sup>	<i>Megatherium americanum</i>	<i>Eremotherium laurillardi</i>
<i>Mylodon robustus</i> <sup>2</sup>	<i>Glossotherium robustum</i>	<i>Glossotherium phoenexys</i>
<i>Catonyx giganteus</i>	<i>Platyonyx giganteus</i>	<i>Valgipes bucklandi</i>
<i>Scelidotherium magnum</i>	<i>Scelidotherium magnum</i>	<i>Catonyx cuvieri</i>

<sup>1</sup>também chamado de *Chamytherium majus* (erro tipográfico, Paula Couto 1956).

<sup>2</sup>não há registro de *Megatherium* e *Mylodon* para a região intertropical brasileira.

### Espécies, ou espécimes, que necessitam de uma revisão

A grande maioria das espécies coletadas por Lund teve sua taxonomia revisada. Várias delas sofreram alterações em sua nomenclatura, sendo que muitas foram invalidadas ou realocadas em outros grupos taxonômicos superiores, como por exemplo, diversas espécies de roedores e didelfídeos, perissodátilos e algumas preguiças-terricolas. Há estudos ainda, que revalidaram espécies descritas por Lund, que por algum motivo, foram alteradas do longo do tempo (PAULA COUTO 1946, BONVICINO ET AL. 2003, REIS E PESSÔA 2004, PARDIÑAS ET AL. 2008, PATTON ET AL. 2015, MAYER ET AL. 2016, CARTELLE ET AL. 2009, 2019). Porém, foram poucos os trabalhos que se basearam (ou utilizaram) diretamente os espécimes coletados por Lund (ex. MAYER 2016, TEIXEIRA 2016).

Em relação aos roedores, algumas espécies necessitam de uma revisão mais aprofundada (MAYER et al., 2016). Pode-se considerar que Winge (ex. WINGE 1888) se equivocou na identificação de determinadas espécies, apontados para o carste de Lagoa Santa. Hoje, é reconhecido que algumas espécies de mamíferos identificados por ele não possuem registros no Brasil (fósseis e atuais). Esse é o caso da *Galea boliviensis* que é restrita à Bolívia. Já outros roedores já foram apontados com a necessidade de uma revisão mais detalhada, como *Akodon clivigenis* (antigo *Habrothrix clivigenis*) e *Oxymycterus cosmodus* (PARDIÑAS E TETA 2013, PATTON ET AL. 2015).

Embora a descrição e a taxonomia de *Neochoerus sulcidens* estejam bem definidas, as dúvidas acerca desta espécie são sobre os locais de coletas efetuadas por Lund. WINGE (1888) cita a ocorrência de *Hydrochoerus capivara* forma *giganteus* (interpretada como *N. sulcidens*), dentre o material coletado por Lund, porém, não menciona as cavernas onde ele as encontrou. Assim, somente analisando os fósseis depositados no Museu de Copenhague, relacionando-os às anotações de Lund, poder-se-ia afirmar em quais cavernas eles foram encontrados.

Esse tipo de trabalho foi feito com restos da paca gigante *Cuniculus rugiceps*, identificada nos trabalhos de (WINGE, 1888) como *Coelogenys* forma *major*. Da mesma forma que ocorreu a capivara gigante, os locais de coleta dos restos de *Coelogenys* forma *major* não foram citados. Assim, a revisão detalhada do material de *Cuniculus*, dentre outros resultados, foram assinaladas as cavernas onde os espécimes dessa paca foram coletados (MAYER et al., 2016).

Um dos maiores problemas taxonômicos, relacionado às coletas e descrições de Lund, na região de Lagoa Santa é em relação aos scelidonteríneos encontrados na região intertropical brasileira. A preguiça-terricola *Catonyx cuvieri* recebeu diferentes nomes (*S. owenii*, *Scelidothierium magnum*, *Scelidodon cuvieri*; ver revisão em CARTELLE et al. (2009), Assim como *Valgipes bucklandi bucklandi* (*Scelidodon piauiense*, *Myrmecophaga gigantea*, *Megalonyx bucklandi*, *Megalonyx gracilis*, *Platyonyx bucklandi*, *Scelidothierium bucklandi*, *Valgipes deformis*, *Ocnopus laurillardii*, *Catonyx giganteus*, *Scelidothierium (Parascelidodon) giganteum*, *Scelidodon (Valgipes) cuvieri*, *Scelidodon (Catonyx) cuvieri*, *Ocnopus gracilis*). CARTELLE et al (2009) consideram apenas duas espécies válidas, *Valgipes bucklandi* e *Catonyx cuvieri*. Como essas espécies geraram dúvidas por um longo tempo, seria interessante reavaliar o material coletado nas grutas de Lagoa Santa, a fim de confirmar a distribuição dessas espécies por essas cavernas.

Uma forma agigantada do carnívoro *Procyon* também carece de uma revisão. Essa espécie é referida apenas nas listas de táxons coletados por Lund (REINHARDT 1884, MATTOS 1935,

1939, PAULA COUTO 1950). E, em relação ao único espécime encontrado, há apenas uma descrição, sem ilustrações para comparação (PAULA COUTO 1943, LUND E PAULA COUTO 1950). Desta forma, a única maneira de verificar se houve algum equívoco, quanto à sua descrição, é a partir do holótipo.

**Tabela 21.** Táxons que carecem de uma revisão, baseando-se no material descrito por (WINGE, 1892, 1895, 1906, 1915).

Ordem	Espécie	Comentário
Rodentia	<i>Hydrochoerus hydrochaeris</i> forma típica	Revisão para identificar as cavernas onde foram coletadas as espécies
Rodentia	<i>Nechoerus sulcidens</i>	
Rodentia	<i>Galea boliviensis</i>	Não há ocorrência para o Brasil de <i>Cavia boliviensis</i> .
Rodentia	<i>Isothrix villosus villosus</i>	
Rodentia	<i>Oxymycterus cosmodus</i>	Táxon não revisado PARDIÑAS; TETA (2013)
Rodentia	<i>Akodon clivigenis</i>	Carece de estudos mais detalhados PATTON et al. (2015)
Rodentia	<i>Akodon clivigenis</i> (?)	
Rodentia	<i>Akodon angustidens</i> (?)	
Rodentia	<i>Hesperomys anoblepas</i> (?)	
Rodentia	<i>Hesperomys rex</i> (?)	
Rodentia	<i>Hesperomys coronatus</i> (?)	
Rodentia	<i>Euryzgomatomys spinosus spinosus</i> (?)	
Rodentia	<i>Euryzgomatomys mordax</i> (?)	Dúvida em relação à identificação do material (PAULA COUTO, 1946)
Rodentia	<i>Callistomys sp.</i> (?)	
Rodentia	<i>Callistomys sp.</i>	
Chiroptera	<i>Promops nasutus</i> (?)	
Chiroptera	<i>Cynomops abrasus</i> (?)	
Chiroptera	<i>Mimon crenulatum longifolium</i> (?)	
Chiroptera	<i>Tonatia bidens</i> (?)	
Carnívora	<i>Procyon ursinus</i>	
Pilosa	<i>Scelidotherinae</i>	Revisão para identificar as cavernas onde foram coletadas as espécies

Para se ter um real panorama sobre a diversidade taxonômica das cavernas escavadas por Lund, é de suma importância que todo o material enviado para a Europa seja revisto. Certamente, trata-se de um trabalho longo e desafiador. Além dos 12 mil fósseis catalogados, estima-se que ainda tenha mais que dobro desse número em ossos não identificados (KL Hansen 2012, com. pessoal).

### Considerações finais

Parte dos resultados dos trabalhos desenvolvidos por P.W. Lund no Brasil foram divulgados em uma série de publicações, entre o final do século XIX e início do século XX. Nelas, foram listadas as cavernas escavadas por Lund, com indicação dos táxons ali coletados. Nas décadas de 1940 e 1950 revisões sobre os mamíferos coletados foram apresentadas e uma série de atualizações foram propostas.

Desde então, a revisão taxonômica desse material vem sendo apresentada e discutida de maneira isolada. Trabalhos foram feitos com alguns grupos (ex. Didelphimorpha, Scelidotherinae e algumas espécies de roedores), mas sempre apresentados independentes, e nem sempre citavam o material coletado por Lund. Neste sentido, este trabalho apresentou uma compilação sobre as revisões, até o momento propostas, sobre os táxons coletados por ele nas cavernas situadas no interflúvio dos rios Das Velhas e Paraopeba.

Das 72 cavernas de onde Lund retirou fósseis, foram registradas cerca de 160 espécies de mamíferos. Esse número ainda não é certo, pois há alguns espécimes duvidosos quanto à sua identificação (maioria roedores e morcegos). Acrescenta-se a isso o fato de que uma considerável parte do material, depositada na coleção do Museu de Copenhague, ainda não foi triada.

As famílias de mamíferos com o maior número de espécies são, Rodentia, Chiroptera, Carnívora e Cingulata. Já em relação à quantidade mínima de espécies, os grupos que apresentaram maior ocorrência foram os roedores, carnívoros, artiodátilos e cingulados. Das ordens com o maior número de espécies, os carnívoros, roedores, quirópteras e didelfídeos foram as que mais sofreram alterações quanto à taxonomia de suas espécies.

Embora que vários espécimes identificados por Winge tenham sido revisados (ex. Didelphimorphia e Cuniculidae), é necessário que a maior parte também passe por esse processo. Já o único resto encontrado do carnívoro *Procyon ursinus*, identificado como um procionídeo gigante, e extinto, também necessita de uma revisão, para corroborar, ou descartar, com a única descrição feita para o espécime.

Até o momento, está bem estabelecido que algumas espécies citadas para o carste de Lagoa Santa, nunca foram relatadas para a região (fósseis ou recentes). Devido a esse fato, essas espécies, como *Cavia boliviensis*, *Isothrix villosus villosus*, *Megatherium americanum* e *Myiodon robustus*, tiveram sua taxonomia alterada.

Apenas dessa forma, haverá como avaliar a diversidade de espécies coletadas por Lund na região de Lagoa Santa. Mesmo sem ter esses dados atualizados, a região de Lagoa Santa continua sendo uma das mais importantes (histórica e cientificamente) no cenário paleontológico do mundo.

### Anexo I

**Tabela 22.** Cavidades escavadas por Lund, cuja localização é conhecida. Todas localizadas em Minas Gerais (Cartelle et al. 1998, CECAV 2019, SBE 2020).

Cavidade	Município
Lapa do Baú	Pedro Leopoldo
Lapa da Cerca Grande	Matozinhos
Lapa do Gambá	Matozinhos
Lapa Nova de Maquiné	Cordisburgo
Lapa da Onça	Cordisburgo
Lapa da Pedra dos Índios n° 1	Pedro Leopoldo
Lapa da Pedra dos Índios n° 4	Pedro Leopoldo
Lapa de Periperi	Matozinhos
Lapa de Periperi n° 1	Matozinhos
Lapa de Periperi n° 2	Matozinhos
Lapa Vermelha	Pedro Leopoldo
Lapa Vermelha n° 2	Pedro Leopoldo
Lapa da Lagoa do Sumidouro	Lagoa Santa

## Anexo II

**Tabela 23.** Classificação taxonômica atualizada das espécies coletadas por Lund, com indicação das cavernas (WINGE, 1888, 1892, 1893, 1895, 1906, 1915).

Ordem	Família	Espécie	Cavidades (s)	Nº de cavidades
Lago- morphe	Leporidae	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>	Cerca Grande, Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 3, Escrivânia nº 5, Escrivânia nº 9, Lagoa do Sumidouro, Tatus, Marinho nº 2, Periperi, Quebra Chavelha	11
		<i>Cavia vates</i>	Escrivânia nº 5, Serra das Abelhas	2
		<i>Galea flavidens</i>	Capão Secco, Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 5, Ossinhos	5
	Caviidae	<i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>	Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 5, Escrivânia nº 6, Escrivânia nº 11, Baú, Coxos, Bento, Vermelha, Serra da Anta, Tatus, Lagoa do Sumidouro, Pedra dos Índios nº 1	12
		<i>Neochaerus sulcidens</i>	não cita a caverna	0
		<i>Cavia apereoides</i>	Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 3, Escrivânia nº 5, Lagoa do Sumidouro, Baú, Ossinhos, Tatus, Marinho nº 2, Pedra dos Índios nº 1, Periperi, Quebra Chavelha, Serra das Abelhas	13
		<i>Akodon clivigenis</i>	Capão Secco	1
		<i>Bibimys labiosus</i>	Escrivânia nº 5	1
		<i>Blarinomys breviceps</i>	Capão Secco	1
		<i>Calomys tener</i>	Escrivânia nº 5	1
		<i>Delomys sp. (plebejus nomen dubium)</i>	Serra das Abelhas	1
		<i>Euryoryzomys nitidus</i>	Escrivânia nº 5	1
		<i>Euryoryzomys rustauts</i>	Serra das Abelhas	1
Rode- ntia		<i>Euryzgomatomys mordax</i>	Escrivânia nº 5	1
		<i>Gyldenstolpia fronto fronto</i>	Escrivânia nº 5	1
		<i>Juliomys anoblepas</i>		1
	Cricetidae	<i>Kunsia tomentosus</i>	Escrivânia nº 5	1
		<i>Necomys lasiurus</i>	Escrivânia nº 5	1
		<i>Rhipidomys mastacalis</i> (?)	Serra das Abelhas	1
		<i>Thaptomys nigrita</i>	Serra das Abelhas	1
		<i>Brucepattersonius iheringi</i>	Escrivânia nº 5, Serra das Abelhas	2
		<i>Lundomys molitor</i>	Capão Secco, Escrivânia nº 5, Serra das Abelhas	3
		<i>Nectomys squamipes</i>	Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 3, Escrivânia nº 5	3
		<i>Oxymycterus cosmodus</i>	Escrivânia nº 5, Quebra Chavelha, Serra das Abelhas	3
		<i>Oxymycterus rufus</i>	Capão Secco, Escrivânia nº 5, Serra das Abelhas	3

Ordem	Família	Espécie	Cavidades (s)	Nº de cavidades
		<i>Calomys expulsus</i>	Capão Secco, Escrivânia nº 3, Escrivânia nº 5, Marinho nº 2, Serra das Abelhas	5
		<i>Holochilus brasiliensis</i> (ou <i>H. magnus</i> )	Capão Secco, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 5, Valle, Serra das Abelhas	5
		<i>Pseudoryzomys simplex</i>	Capão Secco, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 5, Lagoa do Sumidouro, Marinho nº 2, Serra das Abelhas	6
		<i>Sooretamys angouya</i>	Capão Secco, <i>En salpeter ved</i> Escrivânia, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 3, Escrivânia nº 5, Quebra Chavelha, Serra das Abelhas	7
		<i>Cuniculus paca</i>	Capão Secco, Cerca Grande, <i>En salpeter ved</i> Escrivânia, Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 5, Escrivânia nº 9, Gambá, Lagoa do Sumidouro, Baú, Tatus, Vermelha, Pedra dos Índios nº 1, Periperi	14
	Cuniculidae			
		<i>Coelogenys paca laticeps</i>	Cerca Grande	1 <sup>3</sup>
		<i>Cuniculus rugiceps</i>	Baú, Escrivânia nº 5, Escrivânia nº 11, Periperi e Gambá	5 <sup>3</sup>
		<i>Callistomys sp. (?)</i>	Capão Secco	1
		<i>Kannabateomys amblyonyx</i>	Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 5, Serra das Abelhas	3
		<i>Carterodon sulcidens</i>	Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 3, Escrivânia nº 5, José Barbosa, Lagoa do Sumidouro, Tatus, Serra das Abelhas	7
	Echimyidae	<i>Myocastor coypus</i>	Cerca Grande, Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 11, Baú, Tatus, Serra da Anta, Serra das Abelhas	7
		<i>Cuniculus rugiceps</i>	Cerca Grande, Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 3, Escrivânia nº 5, Escrivânia nº 11, Lagoa do Sumidouro, Marinho nº 2, Periperi, Quatro Bocças, Serra das Abelhas, Tatus, Periperi, Serra da Anta	9

Ordem	Família	Espécie	Cavidades (s)	Nº de cavidades
		<i>Trinomys setosus elegans</i>	Capão Secco, <i>En salpeter ved</i> Escrivânia, Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 3, Escrivânia nº 5, Tatus, Marinho nº 2, Periperi, Serra das Abelhas	10
	Erethizontidae	<i>Coendou insidiosus</i>	Escrivânia nº 5, Marinho nº 2	2
		<i>Coendou prehensilis</i>	Escrivânia nº 5, Lagoa do Sumidouro	2
		<i>Coendou magnus</i>	Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 5, Baú, Serra do Taquaral	4
	Octodontidae	<i>Dicolpomys fossor</i>	Escrivânia nº 5	1
	Rodentia indet.	<i>Rodentia indet.</i>	Capão Secco, Escrivânia nº 5, Serra das Abelhas	3
	Sciuridae	<i>Sciurus aestuans</i>	Baú, Tatus	2
		<i>Akodon cursor</i>	Capão Secco	1
	Sigmodontinae	<i>Akodon serrensis</i>	Capão Secco, Cerca Grande, <i>En salpeter ved</i> Escrivânia, Quebra Chavelha, Serra das Abelhas	5
	Emballonuridae	<i>Peropteryx macrotis</i>	"Cavernas diferentes (sobre o piso)"	1
		<i>Molossus hirtipes</i>	Escrivânia nº 5	1
	Molossidae	<i>Promops nasutus</i> (?)	Escrivânia nº 5	1
		<i>Cynomops abrasus</i> (?)	Escrivânia nº 5, "Cavernas diferentes (sobre o piso)"	2
		<i>Eumops bonariensis</i>	Escrivânia nº 5, "Cavernas diferentes (sobre o piso)"	2
		<i>Eumops perotis</i>	Escrivânia nº 5, "Cavernas diferentes (sobre o piso)"	2
		<i>Natalus stramineus</i>	Escrivânia nº 5, "Cavernas diferentes (sobre o piso)"	2
Chiroptera	Phyllostomidae	<i>Mimon crenulatum longifolium</i> (?)	Escrivânia nº 5	1
		<i>Platyrrhinus dorsalis</i>	"Cavernas diferentes (sobre o piso)"	1
		<i>Artibeus fimbriatus</i>	Escrivânia nº 5, "Cavernas diferentes"	2
		<i>Carollia brevicauda</i>	Escrivânia nº 5, "Cavernas diferentes (sobre o piso)"	2
		<i>Chiroderma villosum</i>	Escrivânia nº 5, "Cavernas diferentes"	2
		<i>Tonatia bidens</i> (?)	Escrivânia nº 5, "Cavernas diferentes"	2
		<i>Glossophaga soricina</i>	Lagoa do Sumidouro, "Cavernas diferentes (sobre o piso)"	2
		<i>Micronycteris megalotis</i>	Lagoa do Sumidouro, Quebra Chavelha, "Cavernas diferentes (sobre o piso)"	3



Ordem	Família	Espécie	Cavidades (s)	Nº de cavidades
		<i>Phyllostoma lilium</i>	Escrivânia nº 5, "Cavernas diferentes (sobre o piso)"	3
		<i>Anoura caudifer</i>	<i>En salpeter ved</i> Escrivânia, Escrivânia nº 5, "Cavernas diferentes (sobre o piso)"	4
		<i>Phyllostomus hastatus</i>	Escrivânia nº 5, "Cavernas diferentes", Lagoa do Sumidouro, "Cavernas diferentes (sobre o piso)"	4
		<i>Chrotopterus auritus</i>	Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 5, "Cavernas diferentes", Lagoa do Sumidouro, "Cavernas diferentes (sobre o piso)"	6
		<i>Phyllomys (=Loncheres) sp.</i>	Capão Secco, <i>En salpeter ved</i> Escrivânia, Escrivânia nº 5, Valle, Ossinhos, Marinho nº 2, Quatro Boccas, Serra das Abelhas	8
	Vespertilionidae	<i>Atalapha ega</i>	Escrivânia nº 5	1
		<i>Myotis nigricans</i>	"Cavernas diferentes (sobre o piso)"	1
		<i>Eptesicus brasiliensis</i>	Escrivânia nº 5, "Cavernas diferentes (sobre o piso)"	2
		<i>Lasiurus noveboracensis</i>	Escrivânia nº 5, "Cavernas diferentes (sobre o piso)"	2
		<i>Eptesicus fuscus</i>	Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 5, "Cavernas diferentes"	3
	Didelphimorphia	<i>Caluromys lanatus</i>	Escrivânia nº 5	1
		<i>Marmosa demerarae</i>	Escrivânia nº 5	1
		<i>Gracilinanus agilis ou Thylamys velutinus</i>	Escrivânia nº 5, "cavernas diferentes"	2
		<i>Gracilinanus agilis, Gracilinanus microtarsus ou Thylamys velutinus</i>	Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 3, Escrivânia nº 5, "cavernas diferentes", Lagoa do Sumidouro	5
		<i>Marmosops incanus</i>	Capão Secco, Escrivânia nº 3, Escrivânia nº 5, "cavernas diferentes", Serra das Abelhas	5
		<i>Didelphis marsupialis</i>	<i>En salpeter ved</i> Escrivânia, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 3, Escrivânia nº 5, "cavernas diferentes", Lagoa do Sumidouro	6
		<i>Didelphis aurita</i>	Capão Secco, Escrivânia nº 5, "cavernas diferentes", Roça do Lacinto, Carrancas(?) <sup>1</sup> , Baú(?) <sup>1</sup> , Lúcio(?) <sup>1</sup>	7

Ordem	Família	Espécie	Cavidades (s)	Nº de cavidades
		<i>Monodelphis domestica</i>	Capão Secco, <i>En salpeter ved</i> Escrivânia, Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 3, Escrivânia nº 5, “cavernas diferentes”, Lagoa do Sumidouro, Serra das Abelhas	13
		<i>Lutreolina crassicaudata</i>	Escrivânia nº 11, “cavernas diferentes”, Capão Secco(?) <sup>1</sup> , Cerca Grande(?) <sup>1</sup> , Escrivânia nº 1(?) <sup>1</sup> , Escrivânia nº 3(?) <sup>1</sup> , Escrivânia nº 5(?) <sup>1</sup> , Marinho nº 2(?) <sup>1</sup> , Periperi(?) <sup>1</sup> , Serra das Abelhas	10(8?) <sup>2</sup>
		<i>Philander frenatus</i>	<i>En salpeter ved</i> Escrivânia, Escrivânia nº 11(?) <sup>1</sup> , “cavernas diferentes”(?) <sup>1</sup>	3(?) <sup>2</sup>
		<i>Gracilinanus microtarsus</i> ou <i>Gracilinanus agilis</i>	Cerca Grande, Escrivânia nº 3, Escrivânia nº 5, Escrivânia nº 9, “cavernas diferentes”, Marinho nº 2, Quebra Chavelha, <i>En salpeter ved</i> Escrivânia(?) <sup>1</sup> , Lagoa do Sumidouro(?) <sup>1</sup>	9(?) <sup>2</sup>
Carnívora	Canidae	<i>Chrysocyon brachyurus</i>	Lagoa do Sumidouro, Escrivânia nº 5	2
		<i>Lycalopex vetulus</i>	Lagoa do Sumidouro, Escrivânia nº 5, Escrivânia nº 11	3
		<i>Cerdocyon thous</i>	Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 5, Escrivânia nº 5, Anna Felícia	4
		<i>Speothos venaticus</i>	Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 5, Baú, Vermelha, Marinho nº 2, Periperi, Tatus	7
		<i>Procyon troglodytes</i>	Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 5, Baú, Cavallo, s Porcos, Vermelha, Periperi, Tatus	9
	Felidae	<i>Leopardus tigrinus</i>	Escrivânia nº 3, Marinho nº 2, Serra das Abelhas, Escrivânia nº 5	4
		<i>Puma concolor</i>	Lagoa do Sumidouro, Vermelha, Serra da Anta, Coxos	4
		<i>Leopardus wiedii</i>	Baú, Periperi, Tatus, Escrivânia nº 5, Escrivânia nº 8	5
		<i>Leopardus pardalis</i>	Capão Secco, Lagoa do Sumidouro, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 5, Baú, Ossinhos, Vermelha	7
		<i>Panthera onca</i>	Lagoa do Sumidouro, Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 5, Baú, Serra da Anta, Tatus	7

Ordem	Família	Espécie	Cavidades (s)	Nº de cavidades
		<i>Smilodon populator</i>	Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 5, Onça, Baú, Periperi, "Cavernas diferentes", Vermelha	7
	Mephitidae	<i>Conepatus suffocans</i>	Capão Secco, "Cavernas diferentes", Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 5, Caixão, Tatus	6
	Mustelidae	<i>Lontra longicaudis</i>	Lagoa do Sumidouro, Escrivânia nº 11, Tatus	3
		<i>Galictis vittata brasiliensis</i>	"Cavernas diferentes" Escrivânia nº 5 Vermelha, Periperi	4
	Procyonidae	<i>Nasua nasua</i>	Capão Secco, <i>En salpeter ved</i> Escrivânia, "Cavernas diferentes", Escrivânia nº 5, Baú, Serra da Anta, Tatus	7
		<i>Procyon ursinus</i>	Babida	1
	Ursidae	<i>Arctotherium brasiliense</i>	Lagoa do Sumidouro, Escrivânia nº 5, Periperi, "Cavernas diferentes", Baú(?) <sup>1</sup>	5(1?) <sup>2</sup>
	Atelidae	<i>Protopithecus brasiliensis</i>	Escrivânia nº 5, Periperi, "Cavernas diferentes"(?) <sup>1</sup>	3
Primates	Atelidae	<i>Alouatta caraya</i>	Escrivânia nº 3, Escrivânia nº 5, Escrivânia nº 8, "Cavernas diferentes", Lagoa do Sumidouro, Onça, Baú, Serra das Abelhas	8
	Cebidae	<i>Cebus apella</i>	Serra da Anta	1
		<i>Callithrix penicillata</i>	Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 5, Serra da Anta	3
	Pitheciidae	<i>Callicebus personatus</i>	Serra das Abelhas	1
	Camelidae	<i>Palaeolama major</i>	"Cavernas diferentes", Lagoa do Sumidouro, Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 5, Escrivânia nº 7, Anna Felícia, Soares, Camelo, Vermelha, Taquaral nº 2, Taquaral nº 3	12
Artiodactyla		<i>Blastocerus bezoarticus</i>	"Cavernas diferentes", Escrivânia nº 11, Baú, Camelo	4
		<i>Blastocerus dichotomus</i>	Lagoa do Sumidouro, Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 5, Soares	5
	Cervidae	<i>Mazama rufa</i>	Cerca Grande, "Cavernas diferentes", Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 10, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 5, de Maquiné, Baú, Vermelha, Marinho, Taquaral nº 2, Tatus	12

Ordem	Família	Espécie	Cavidades (s)	Nº de cavidades
		<i>Mazama gouazoubira</i>	Capão Secco, "Cavernas diferentes", Lagoa do Sumidouro, Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 10, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 4, Escrivânia nº 5, Escrivânia nº 8, Onça, de Maquiné, Baú, Camelo, Vermelha, Marinho, Taquaral nº 2, Tatus	17
		<i>Tayassu tajacu</i>	Capão Secco, Cerca Grande, "Cavernas diferentes", Lagoa dos Pitos, Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 5, Baú, Vermelha, Marinho, Periperi, Tatus	12
	Tayassuidae	<i>Tayassu pecari</i>	Capão Secco, Cerca Grande, "Cavernas diferentes", Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 5, Baú, Vermelha	13
		<i>Catagonus stenocephalus</i> (= <i>Brasiliochoerus stenocephalus</i> )	Escrivânia nº 11	
		<i>Hippidion principale</i>	Come não bebe	1
	Equidae	<i>Equus neogeus</i>	Baú, Come não bebe, Coxos, Lagoa do Sumidouro, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 5, Soares, Cavallo	8
		<i>Tapirus terrestris</i>	"Cavernas diferentes", Lagoa do Sumidouro, Escrivânia nº 1, Baú, Vermelha	5
	Tapiridae	<i>Tapirus cristatellus</i>	Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 5, "Cavernas diferentes"(?) <sup>1</sup> , Lagoa do Sumidouro(?) <sup>1</sup> , s Pedra dos Índios n 1(?) <sup>1</sup> , Vermelha(?) <sup>1</sup>	7
Notoungulata	Toxodontidae	<i>Toxodon platensis</i>	"Cavernas diferentes", Escrivânia nº 5	2
Proboscidea	Gomphotheriidae	<i>Notiomastodon platensis</i>	Come não bebe, "Cavernas diferentes", Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 5, Escrivânia nº 6, Escrivânia nº 7	6
	Megatheriidae	<i>Eremotherium laurillardi</i>	Vermelha nº 1, Serra da Anta nº 1	2
Pilosa	Mylodontidae	<i>Valgipes bucklandi</i>	Coxos, Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 4, Escrivânia nº 5, "Cavernas diferentes", <i>Hule ved</i> Escrivânia, Lagoa do Sumidouro, Baú nº 1, Baú nº 3, Marinho nº 1, Marinho nº 2, Tatus, Vermelha nº 2, Periperi nº 1, Serra das Abelhas, Serra do Taquaral nº 3, Serra do Taquaral nº 4	17

Ordem	Família	Espécie	Cavidades (s)	Nº de cavidades
Cingulata		<i>Catonyx cuvieri</i>	Capão Secco, Cerca Grande, Correas, Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 2, Escrivânia nº 4, Escrivânia nº 5, "Cavernas diferentes", <i>Hule ved</i> Baú, <i>Hule ved</i> Sumidouro, Pedra dos Índios nº 1, Pedra dos Índios nº 4, Lagoa do Sumidouro, Vargem Formosa, Baú Hullet, Baú nº 1, Camelo, Marinho nº 1, Tatus, Grande de Genette, Vermelha nº 1, Oco de Pau, Periperi nº 1, Periperi nº 2, Rasguão do Azude, Serra da Anta nº 1, Serra da Anta nº 2, Serra do Taquaral nº 1, Serra do Taquaral nº 2, Serra do Taquaral nº 3	31
		<i>Glossotherium phoenexys</i>	Escrivânia nº 1, Baú nº 1, Escrivânia nº 5(?) <sup>1</sup> , "Cavernas diferentes" (?) <sup>1</sup> , Pedra dos Índios nº 1 (?) <sup>1</sup>	5(3?) <sup>2</sup>
	Myrmecophagidae	<i>Tamandua tetradactyla</i>	Baú nº 1	1
		<i>Myrmecophaga tridactyla</i>	Cerca Grande, Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 5, Tatus, Vermelha nº 1	6
	Nothrotheriidae	<i>Nothrotherium maquinense</i>	Escrivânia nº 5, Nova de Maquiné, Vermelha nº 1	3
	Dasypodidae	<i>Euphractus sexcinctus</i>	"Cavernas diferentes", Lagoa do Sumidouro, Baú Hullet	3
		<i>Cabassous unicinctus squamicaudis</i>	Escrivânia nº 5, Escrivânia nº 6, Escrivânia nº 9, Marinho nº 2	4
		<i>Cabassous tatouay</i>	"Cavernas diferentes", Baú Hullet, Baú nº 1, Tatus, Vermelha nº 1, Periperi nº 1	6
		<i>Dasypus novemcinctus</i>	Escrivânia nº 5, Escrivânia nº 9, "Cavernas diferentes", Lagoa do Sumidouro, Baú nº 1, Tatus, Periperi nº 1	7
		<i>Dasypus (=Proptraopus) sulcatus</i>	Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 5, Escrivânia nº 7, "Cavernas diferentes", Lagoa do Sumidouro, Baú nº 1, Baú nº 2, Tatus	8
		<i>Dasypus hybridus</i>	Capão Secco, Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 5, Escrivânia nº 9, "Cavernas diferentes", Lagoa do Sumidouro, Baú nº 1, Tatus	8
		<i>Dasypus aguti</i>	Cerca Grande, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 3, Escrivânia nº 5, Lagoa do Sumidouro, Baú, Tatus, Marinho nº 2, Periperi, Quebra Chavelha	9

Ordem	Família	Espécie	Cavidades (s)	Nº de cavidades
		<i>Dasypus (=Propraopus) punctatus</i>	Cerca Grande, Cerca Grande, Rancho, Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 11, Escrivânia nº 5, "Cavernas diferentes", Pedra dos Índios nº 1, Pedra dos Índios nº 4, Baú nº 1, Tatus, Periperi nº 1, Quebra Chavelha, Serra das Abelhas	13
	Glyptodontidae	<i>Glyptodon clavipes</i>	Escrivânia nº 5, Soares, Escrivânia nº 11, Baú nº 1	4
	Pampatheriidae	<i>Pampatherium humboldtii</i>	Escrivânia nº 1, Escrivânia nº 11, "Cavernas diferentes", Pedra dos Índios nº 1, Lagoa do Sumidouro, Baú nº 1, Vermelha nº 1, Periperi nº 1	8
	Panochthidae	<i>Hoplophorus euphractus</i>	Onça, Baú nº 1	2

<sup>1</sup>identificação taxonômica duvidosa (citada por Winge) para a caverna.

<sup>2</sup>entre parênteses o número total de identificações duvidosas.

<sup>3</sup>espécimes citados por MAYER et al. (2016)

## Anexo III

**Tabela 24.** Diversidade taxonômica das cavernas exploradas por Lund (WINGE, 1888, 1892, 1893, 1895, 1906, 1915).

Número de táxons	Cavernas (Lapas)
109	Escrivânia nº 5
46	Escrivânia nº 11
43	Lagoa do Sumidouro
37	"Cavernas diferentes"
35	Escrivânia nº 1
33	Serra das Abelhas
29	Capão Secco e Tatus
24	Baú
19	"cavernas diferentes"
18	Escrivânia nº 3
17	Periperi
15	Cerca Grande, Marinho nº 2 e Vermelha
12	Baú nº 1 e <i>En salpeter ved</i> Escrivânia
10	"cavernas diferentes"
9	Quebra Chavelha
8	Serra Anta
6	Escrivânia nº 9, Vermelha N 1 e Periperi n 1
5	Pedra dos Índios nº 1 e da Onça
4	Camelo, Coxos, Ossinhos e Soares
3	Baú Hullet, Come não bebe, Escrivânia nº 4, Escrivânia nº 6, Escrivânia nº 8, Marinho, Pedra dos Índios nº 1 e Quatro Boccas
2	Anna Felícia, Cavallo, Escrivânia nº 10, Escrivânia nº 7, Pedra dos Índios nº 4, Maquiné, Marinho nº 1, Serra Anta nº 1, Serra Taquaral nº 3, Valle e Vermelha N 2
1	Babida, Baú nº 2, Baú nº 3, Bento, Caixão, Carrancas, Cerca Grande, Rancho, Correias, Escrivânia nº 2, Escrivânia nº 7, Gambá, Grande de Genette, <i>Hule ved</i> Escrivânia, <i>Hule ved</i> Sumidouro, <i>Hule ved</i> Baú, José Barbosa, Lagoa dos Pitos, Lucio, Nova de Maquiné, Oco de Pau, Periperi n 2, Porcos, Rasguão Azude, Roça Lacinto, Serra Anta nº 2, Serra Taquaral, Serra Taquaral nº 1, Serra Taquaral nº 2, Serra Taquaral nº 4 e Vargem Formosa

## CONCLUSÕES

Em linhas gerais, o desenvolvimento desses trabalhos teve como propósito responder as seguintes questões:

**(A) Como os trabalhos técnicos desenvolvidos nas cavernas podem contribuir para o conhecimento sobre os fósseis ali preservados?**

Os trabalhos técnicos são uma importante fonte de informação. A partir deles, é possível realizar a inspeção de cavernas situadas em propriedades particulares que muitas vezes, estão inacessíveis a profissionais vinculados a instituições de pesquisa. Apenas esse fato, já contribui para o melhor entendimento acerca dos fósseis em cavernas no Brasil. Porém só é possível acessar as informações destes relatórios através da desburocratização do sistema atual. Uma vez acessados, os resultados desses laudos podem ser utilizados para elaboração de outros relatórios, auxiliando, por exemplo, na comparação dos dados. Porém, isso apenas será possível se for adotado um método padrão de coleta de dados pelos diferentes especialistas, durante as inspeções nas cavernas. Tais questões foram abordadas no artigo sobre a proposta para avaliação paleontológica de cavidades naturais para fins de estudos ambientais.

**(B) É possível aplicar métodos mais detalhados nos trabalhos técnicos sem alterar sua execução?**

O método proposto para a avaliação da potencialidade paleontológica foi testado em cavernas situadas no carste de Lagoa Santa, Montalvânia e Vazante. Todas avaliações foram executadas baseando-se na ficha de campo aqui proposta. Ela forneceu resultados mais completos quanto à avaliação das feições de interesse paleontológico com seu simples preenchimento. Sua utilização não prejudicou ou atrasou as inspeções das cavernas. A varredura mais detalhada também proposta, com uma intervenção superficial nos depósitos sedimentares também se mostrou bem satisfatória. Com ela, houve um aumento significativo das ocorrências. A intervenção superficial, assim como no preenchimento de fichas, não demandou um intervalo de trabalho muito maior. Já as escavações aumentaram esse intervalo.

### **As principais contribuições deste trabalho foram:**

- \* Constatação que o método descrito nos documentos norteadores para o levantamento do potencial paleontológico de cavernas é pouco eficaz no que diz respeito ao modo solicitado de caracterização de cavidades durante a fase de campo
- \* Proposta de um método, mais detalhado, a ser aplicado durante a avaliação da potencialidade paleontológica de cavidades naturais, para fins de estudos ambientais
- \* Resultados desse método aplicado em cavernas situadas no carste de Lagoa Santa e Montalvânia
- \* Apresentação de feições de interesse paleontológicas descritas, de maneira formal, para cavernas brasileiras.
- \* Atualização taxonômica dos vertebrados coletados na região de Lagoa Santa por P. Lund.

Para ter uma maior clareza quanto ao método mais efetivo para a execução do levantamento paleontológico, é imprescindível o diálogo entre os profissionais com experiência nesse tipo de trabalho, e a adoção do método aqui proposto. Também se faz necessária a participação ativa dos órgãos ambientais, das empresas envolvidas, assim como dos demais especialistas, que desenvolvem os estudos espeleológicos para que a aplicação deste método se torne uma realidade.



## REFERENCIAS

- ALCOVER, J. A.; SANS, A.; PALMER, M. The Extent of Extinctions of Mammals on Islands. **Journal of Biogeography**, v. 25, n. 5, p. 913–918, 1998.
- ANDRADE, L. C. DE; MANIESI, V.; ADAMY, A. Microestruturas ósseas e a fossilização em vertebrados pleistocênicos da Formação Rio Madeira, Sudoeste Amazônico, Brasil. **Geologia USP. Série Científica**, v. 17, n. 4, p. 125, 2017.
- ANDREWS, P. Experiments in Taphonomy. **Journal of Archaeological Science**, v. 22, n. 2, p. 147–153, mar. 1995.
- ANGLO AMERICAN; SEE, S. E. E E. **1º Workshop de Quiropterofauna Cavernícola**. Blogspot. Disponível em: <<https://see.ufop.br/blog/anglo-e-see-realizaram-o-1%C2%BA-workshop-de-quiropetrofauna-cavern%C3%ADcola-em-ouro-preto>>.
- ARAÚJO-JÚNIOR, H. I. et al. Unveiling the taphonomy of elusive natural tank deposits: A study case in the Pleistocene of northeastern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 378, p. 52–74, 2013.
- AULER, A. S. et al. U-series dating and taphonomy of Quaternary vertebrates from Brazilian caves. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 240, n. 3–4, p. 508–522, 2006.
- AULER, A. S.; PILÓ, L. B. Caves and Mining in Brazil: The Dilemma of Cave Preservation Within a Mining Context. In: ANDREO, B. et al. (Eds.). **Hydrogeological and Environmental Investigations in Karst Systems**. Environmental Earth Sciences. Berlin, Heidelberg: Springer, 2015. p. 487–496.
- AULER, A. S.; ZOGBI, L. DE A. **Espeleologia: noções básicas**. 2. ed. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2011.
- BARRETO, C. N. G. B. et al. Abismo Ponta de Flecha: um projeto arqueológico, paleontológico e geológico no médio Ribeira de Iguape, São Paulo. **Revista de Pré-História**, v. 3, p. 195–215, 1982.
- BERGQVIST, L. P.; ABUHID, V. S.; LESSA, G. M. DEL G. Mamíferos. In: CARVALHO, I. DE S. (Ed.). **Paleontologia - paleovertebrados e paleobotânica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. v. 3p. 163–214.
- BITTENCOURT, J. S.; VASCONCELOS, A. G.; BUCHMANN, F. S. DE C. Registro Paleontológico em Caverna Desenvolvida em Formações Ferríferas na Serra do Gandarela (MG). In: RUCHKYS, Ú. DE A. et al. (Eds.). **Patrimônio Espeleológico em Rochas Ferruginosas**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2015. p. 192–209.
- BRASIL. 4.146. Dispõe sobre a proteção de depósitos fossilíferos. . 4 mar. 1942, p. 253.
- BRASIL, C. (1988). **Constituição da Republica Federativa do Brasil**. Brasília-DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.
- BUCHMANN, F. S. et al. Evidência de vida gregária em paleotocas atribuídas a Mylodontidae (preguiças-gigantes). **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 19, n. 2, p. 259–270, 25 ago. 2016.

BUCHMANN, R. et al. Mamíferos fósseis do Quaternário da Gruta Tacho de Ouro, Tocantins, Norte do Brasil: diversidade, tafonomia e aspectos paleoicnológicos e paleoambientais. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 20, n. 2, p. 203–218, 28 ago. 2017.

CAMPELLO, M. S.; HADDAD, E. A.; COSTA, F. L. B. **Perímetros de proteção e área de influência de cavidades naturais situadas na região da Faz. Escrivânia, Prudente de Morais, Minas Gerais**. Anais do III Simpósio Mineiro do Carste. **Anais...** In: III SIMPÓSIO MINEIRO DO CARSTE. Belo Horizonte, MG: IGC/UFMG, 2017. Disponível em: <[https://www.cnek.org/IMG/pdf/III\\_SMC-livro\\_com\\_capa.pdf](https://www.cnek.org/IMG/pdf/III_SMC-livro_com_capa.pdf)>

CARTELLE, C. Cave Paleontology in the Lagoa Santa Karst. In: Switzerland: [s.n.]. p. 209–225.

CARTELLE, C.; DE IULIIS, G.; FERREIRA, R. Systematic Revision of Tropical Brazilian Scelidotheriine Sloths (*Xenarthra*, *Mylodontoidea*). **Journal of Vertebrate Paleontology**, v. 29, p. 555–566, 12 jun. 2009.

CARTELLE, C.; DE IULIIS, G.; PUJOS, F. A new species of *Megalonychidae* (Mammalia, *Xenarthra*) from the Quaternary of Poço Azul (Bahia, Brazil). **Comptes Rendus Palevol**, v. 7, n. 6, p. 335–346, 2008.

CARTELLE, C. G. **Tempo Passado - Mamíferos do Pleistoceno em Minas Gerais**. Belo Horizonte: Palco, 1994.

CARTELLE, C. G. et al. **Levantamento Paleontológico: APA Carste de Lagoa Santa – MG**. Belo Horizonte, MG: IBAMA/CPRM, 1998.

CARTELLE, C. G. Peter W. Lund, a naturalist of several sciences. **Lundiana**, v. 3, p. 83–85, 2002.

CARTELLE, C. G. **Das grutas à luz, mamíferos pleistocênicos de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Bicho do Mato, 2012.

CARTELLE, C. G. et al. Anatomy, possible sexual dimorphism, and phylogenetic affinities of a new mylodontine sloth from the late Pleistocene of intertropical Brazil. **Journal of Systematic Palaeontology**, v. 17, n. 23, p. 1957–1988, 2 dez. 2019.

CARTELLE, C. G.; BRANDT, W.; PILÓ, L. B. **A Gruta do Tunel de Santana (BA) Morfogenese e Paleontologia**. Anais do XI Congresso Brasileiro de Paleontologia. **Anais...** In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA. Curitiba: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 1988

CARTELLE, C. G.; HIROOKA. Primeiro registro pleistocênico de *Pteronura brasiliensis* (Gmelin, 1788) (Carnívora, Mustelidae). p. 595–598, 2005.

CASSAB, R. C. T. Objetivos e Princípios. In: CARVALHO, I. DE S. (Ed.). **Paleontologia: Conceitos e métodos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. v. 1p. 3–11.

CASTRO, M. et al. The armadillo *Propraopus sulcatus* (Mammalia: *Xenarthra*) from the late Quaternary of northern Brazil and a revised synonymy with *Propraopus grandis*. **Quaternary International**, v. 317, p. 80–87, 1 dez. 2013.

CASTRO, M.; LANGER, M. C. New postcranial remains of *Smilodon populator* Lund, 1842 from southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 11, n. 3, p. 199–206, 2008.

CECAV, C. N. DE P. E C. DE C. **Oficina sobre Área de Influência de Cavidades Naturais Subterrâneas**. Disponível em: <[https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/projetos-e-atividades/PAN/PAN\\_Cavernas\\_do\\_SF\\_relatorio\\_final\\_oficina\\_area\\_influencia\\_091013.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/projetos-e-atividades/PAN/PAN_Cavernas_do_SF_relatorio_final_oficina_area_influencia_091013.pdf)>. Acesso em: 30 jul. 2020.

CECAV, C. N. DE P. E C. DE C. **1º Seminário sobre a Área de Influência e Ações de Conservação da Gruta do Éden e 1º Seminário sobre a Área de Influência e Ações de Conservação da Gruta do Éden**. Blogspot. Disponível em: <<https://see.ufop.br/blog/semin%C3%A1rio-sobre-%C3%A1rea-de-influ%C3%A2ncia-e-a%C3%A7%C3%B5es-de-conserva%C3%A7%C3%A3o-da-gruta-do-%C3%A9den>>.

CECAV, C. N. DE P. E C. DE C. **Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental**. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/cecav/publicacoes/24-curso-de-espeleologia-e-licenciamento-ambiental.html>>.

CFBIO, C. F. DE B. **Legislação do Biólogo**. Disponível em: <<http://crbio06.gov.br/ohs/data/docs/4/Legislacao-do-Biologo.pdf>>.

CFBIO, C. F. DE B. Resolução nº 540. Dispõe sobre a inclusão de novas especialidades reconhecidas pelo Conselho Federal de Biologia para efeito de Registro de Qualificação de Especialista no Sistema CFBio/CRBios. . 2019 b.

CHAHUD, A. **Caracterização Tafonômica da Fauna de Vertebrados Fósseis (Pleistoceno-Holoceno) do Abismo Ponta de Flecha, Iporanga, SP**. São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2001.

COLLINSON, C. W. **Guide for beginning fossil hunters**. Champaign: Illinois State Geological Survey, 1959.

CONFEA. 1.010. Dispõe sobre a regulamentação da atribuição de títulos profissionais, atividades, competências e caracterização do âmbito de atuação dos profissionais inseridos no Sistema Confea/Crea, para efeito de fiscalização do exercício profissional. . 22 ago. 2005 a.

CONFEA, C. F. DE E., Arquitetura e Agronomia. **Normativos CONFEA**. Disponível em: <<http://normativos.confea.org.br/downloads/anexo/1010-05.pdf>>.

COSTA, F. L. B.; CARVALHO, L. G. D. **Levantamento bioespeleológico em cavidades situadas na área da Fazenda Paraúna, município de Santana do Riacho, MG**. Anais do 31º Congresso Brasileiro de Espeleologia. **Anais...** In: 31º CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA. Ponta Grossa, PR: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2011

CZAPLEWSKI, N. J.; CARTELLE, C. Pleistocene bats from cave deposits in Bahia, Brazil. **Journal of Mammalogy**, v. 79, n. 3, p. 784–803, 1998.

DIAS, M. S. **Ficha de caracterização de cavidades**. Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Espeleologia. **Anais...** In: XXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA. Januária, MG: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2003

DNPM, D. N. DE P. M. Portaria Nº 155. Aprova a Consolidação Normativa do DNPM e revoga os atos normativos consolidados. . 17 maio 2016, Sec. 1, p. 34.

EPA, E. P. **1º Seminário e Mostra de Bioespeleologia do Carste do Alto São Francisco**. Blogspot. Disponível em: <<https://see.ufop.br/blog/1%C2%BA-semin%C3%A1rio-e-mostra-de-bioespeleologia-do-carste-do-alto-s%C3%A3o-francisco-%E2%80%93-1%C2%BA-sebiocasf>>.

- ESPELEONORDESTE, S. N. DE E. **Relatório final de realização do evento - II espeleonordeste**. São Cristóvão: Espeleonordeste, 2015. Disponível em: <[http://www.espeleonordeste.org/arquivos/ii\\_ene\\_relatorio\\_final.pdf](http://www.espeleonordeste.org/arquivos/ii_ene_relatorio_final.pdf)>.
- ESPELEONORDESTE, S. N. DE E. **Projeto básico do IV Encontro Nordestino de Espeleologia**Espeleonordeste, , 2018. Disponível em: <<http://www.espeleonordeste.org/eventos>>
- ESPELEONORDESTE, S. N. DE E. **Plano executivo do I Simpósio Brasileiro Virtual de Espelologia**Espeleonordeste, , 2020. Disponível em: <[http://www.espeleonordeste.org/arquivos/i\\_sbvespeleo\\_2020\\_plano\\_executivo.pdf](http://www.espeleonordeste.org/arquivos/i_sbvespeleo_2020_plano_executivo.pdf)>
- FAURE, M.; GUÉRIN, C.; PARENTI, F. Découverte d'une mégafaune holocène à la Toca do Serrote do Artur (aire archéologique de São Raimundo Nonato, Piauí, Brésil). **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, v. 329, n. 6, p. 443–448, 1999.
- FERNANDES, I. et al. Descrição mineralógica e diagenética de fósseis coletados em cavernas calcárias. In: **Anais do IV Simpósio Mineiro do Carste**. Belo Horizonte: Instituto de Geociências da UFMG, 2019. p. 55.
- FERNANDES, I. **Processos de fossilização em cavernas carbonáticas: uma descrição mineralógica de fósseis de mamíferos procedentes de Minas Gerais e Bahia**. Trabalho de Conclusão de Curso—Ouro Preto, MG: Universidade Federal de Ouro Preto, 2019.
- FERREIRA, R. et al. Fauna subterrânea do estado do Rio Grande do Norte: caracterização e impactos. **Revista Brasileira de Espeleologia**, v. 1, p. 25–51, 2010.
- FERREIRA, R. L. **Diagnóstico bioespeleológico e avaliação paleontológica preliminar de dez cavidades no município de Pains (MG)**. Belo Horizonte, MG: [s.n.].
- FERREIRA, R. L. **Levantamento Paleontológico - Plano de Manejo Espeleológico Lapa Nova de Vazante, MG**. Belo Horizonte, MG: [s.n.].
- FORD, DEREK. C.; WILLIAMS, P. W. **Karst Geomorphology and Hydrology**. England: John Wiley & Sons, 1989.
- GARDNER, A. L. (ED.). **Mammals of South America: Marsupials, Xenarthrans, Shrews, and Bats**. Chicago and London: The University of Chicago Press, 2008. v. 1
- GHILARDI, A. M.; FERNANDES, M. A.; BICHUETTE, M. E. Megafauna from the Late Pleistocene-Holocene deposits of the Upper Ribeira karst area, southeast Brazil. **Quaternary International**, v. 245, n. 2, p. 369–378, dez. 2011.
- GILLIESON, D. S. **Caves: Processes, Development and Management**. Great Britain: Wiley-Blackwell, 1996.
- GORCEIX, C.-H. Lund e suas obras no Brasil. **Annaes da Escola de Minas de Ouro Preto**, v. 3, p. 3–45, 1884.
- GUÉRIN, C. et al. The Pleistocene fauna of Piauí (northeastern Brazil): palaeoecological and biochronological implications. **Fundamentos**, v. 1, p. 56–103, 1996.
- HOFMANN, R. M. **Gargalos do Licenciamento Ambiental Federal no Brasil**Câmara dos Deputados, , 2015. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/estudos-e>>

notas-tecnicas/publicacoes-da-consultoria-legislativa/areas-da-conle/tema14/2015\_1868\_licenciamentoambiental\_rose-hofmann>. Acesso em: 30 jul. 2020

HOLTEN, B.; STERLL, M. **Peter Lund e as grutas com ossos em Lagoa Santa**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011.

HOLZ, M.; BARBERENA, M. C. A importância da tafonomia para o estudo de vertebrados fósseis. **Acta Geológica Leopoldensia**, n. 29, p. 77–92, 1998.

HUBBE, A. et al. Chronological distribution of brazilian glyptodon sp. remains: a direct 14C date for a specimen from iporanga, São Paulo, Brazil. **Radiocarbon**, v. 53, p. 13–19, 2011a.

HUBBE, A. et al. Identification and importance of critical depositional gaps in pitfall cave environments: The fossiliferous deposit of Cuvieri Cave, eastern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 312, n. 1, p. 66–78, 1 dez. 2011b.

HUBBE, A. **Laudo Paleontológico referente à visita técnica a Pedreira Aliança, Janaúba, MG**. [s.l.] Carste Ciência e Meio Ambiente, 2015.

HUBBE, A.; AULER, A. A large Cervidae Holocene accumulation in Eastern Brazil: an example of extreme taphonomical control in a cave environment. **International Journal of Speleology**, v. 41, n. 2, p. 297–305, jul. 2012.

HUBBE, A. C. R. **Projeto Corpo Leste – Pedro Leopoldo**. Belo Horizonte, MG: [s.n.].

HUBBE, A. C. R. **Laudo Paleontológico - Plano de manejo da Lapa Nova, Lapa Nova 2 e Gruta da Gameleira - Vazante - MG**. Belo Horizonte, MG: [s.n.].

HUBBE, A. C. R. **Relatório paleontológico das cavernas Gruta do Barreiro e SJJ-01, Minas Gerais**. Belo Horizonte, MG: [s.n.].

HUBBE, A.; MAYER, E. L.; HADDAD-MARTIM, P. M. **O papel modulador da morfologia de ambientes cársticos na proporção de mamíferos carnívoros e necrófagos versus herbívoros e onívoros representados em conjuntos faunísticos decorrentes da queda de animais em abismos**. 2010

I SMC, I. S. M. DO C. **I Simpósio Mineiro do Carste**. Blogspot. Disponível em: <<http://www.blog.gpme.org.br/?p=1965#post/null>>.

II SMC, I. S. M. DO C. S. M. DO C. **II Simpósio Mineiro do Carste**. Blogspot. Disponível em: <<http://simposiomineirodocarste.blogspot.com.br/>>.

III SMC, I. S. M. DO C. **III Simpósio Mineiro do Carste**. Blogspot. Disponível em: <[https://www.cnek.org/IMG/pdf/IIISimposio-Flyer\\_2\\_.pdf](https://www.cnek.org/IMG/pdf/IIISimposio-Flyer_2_.pdf)>.

INSTITUTO MINERE. **Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental**. Disponível em: <<https://institutominere.com.br/curso-espeleologia-no-licenciamento-ambiental>>. Acesso em: 30 jul. 2020.

IV SMC, I. S. M. DO C. **IV Simpósio Mineiro do Carste**. Blogspot. Disponível em: <<http://simposiomineirodocarste.blogspot.com/>>.

JAFFÉ, R. et al. Reconciling Mining with the Conservation of Cave Biodiversity: A Quantitative Baseline to Help Establish Conservation Priorities. **PLOS ONE**, v. 11, n. 12, p. e0168348, 20 dez. 2016.

JAFFÉ, R. et al. Conserving relics from ancient underground worlds: assessing the influence of cave and landscape features on obligate iron cave dwellers from the Eastern Amazon. **PeerJ**, v. 6, p. e4531, 2018.

JENNINGS, J. N. **Karst**. Cambridge, Massachusetts and London, England: The M.I.T. Press, 1971. v. 7

KINOSHITA, A. et al. ESR dating of Smilodon populator from Toca de Cima dos Pilão, Piauí, Brazil. **Applied Radiation and Isotopes**, v. 120, p. 66–70, fev. 2017.

KOS, A. M. Stratigraphy, sedimentary development and palaeoenvironmental context of a naturally accumulated pitfall cave deposit from southeastern Australia. **Australian Journal of Earth Sciences**, v. 48, n. 95, p. 621–632, 2001.

KOS, A. M. Pre-burial taphonomic characterisation of a vertebrate assemblage from a pitfall cave fossil deposit in southeastern Australia. **Journal of Archaeological Science**, v. 30, n. 6, p. 769–779, jun. 2003a.

KOS, A. M. Characterisation of post-depositional taphonomic processes in the accumulation of mammals in a pitfall cave deposit from southeastern Australia. **Journal of Archaeological Science**, v. 30, n. 6, p. 781–796, jun. 2003b.

KRAEMER, B. M. **Caracterização do potencial paleontológico em depósitos cársticos nas áreas da CODEMIG, entre os municípios de Pains e Arcos (MG)**. Belo Horizonte, MG: [s.n.].

KRAEMER, B. M. **Caracterização do Potencial Paleontológico de 17 cavidades inseridas na área de influência da Mineração Ferro Puro**. Belo Horizonte, MG: [s.n.].

KRAEMER, B. M. **Diagnóstico paleontológico de 22 cavidades presentes na área de Influência Direta (AID) da poligonal do Sobradinho, Pains/MG**. Belo Horizonte, MG: [s.n.].

KRAEMER, B. M. et al. **Novos registros de mamíferos quaternários para a região de Januária, extremo norte de Minas Gerais, Brasil**. Memórias do VI Congresso Latinoamericano de Paleontología de Vertebrados. **Anais...** In: VI CONGRESO LATINOAMERICANO DE PALEONTOLOGÍA DE VERTEBRADOS. Villa de Leyva: Congreso Latinoamericano de Paleontología de Vertebrados, 2018

LAUREANO, F. V. **O registro sedimentar clástico associado aos sistemas de cavernas Lapa Doce e Torrinha, município de Iraquara, Chapada Diamantina, BA**. Dissertação de Mestrado—São Paulo: Universidade de São Paulo, 1998.

LAUREANO, F. V.; KARMANN, I. Sedimentos clásticos em sistemas de cavernas e suas contribuições em estudos geomorfológicos: uma revisão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, p. 23–33, 2013.

LEITE, Y. L. R.; COSTA, L. P. Peter Wihelm Lund e a fauna de mamíferos do vale do Rio das Velhas. **O Carste**, v. 14, n. 1, p. 32–40, 2002.

LINO, C. F. **Cavernas: o fascinante Brasil subterrâneo**. 2. ed. São Paulo: Gaia, 2009.

LINO, C. F.; ALLIEVI, J. **Cavernas brasileiras**. São Paulo: Melhoramentos, 1980.

- LUND, P. W. Cavernas existentes no calcário do interior do Brasil, contendo algumas delas ossadas fósseis. In: **Memórias sobre a Paleontologia Brasileira**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional do Livro, 1836. p. 68–106.
- LUND, P. W. Primeira memória sobre a fauna das cavernas. In: **Memórias sobre a Paleontologia Brasileira**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional do Livro, 1837. p. 107–130.
- LUND, P. W. Nota sobre os dasípos. In: **Memórias sobre a Paleontologia Brasileira**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional do Livro, 1843. p. 499–504.
- LUND, P. W.; PAULA COUTO, C. **Memórias sobre a Paleontologia Brasileira**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional do Livro, 1950. v. 1
- MACEDO, H. A. M. Expedições arqueológicas em Carnaúba dos Dantas, Rio Grande do Norte, Brasil: resultados das prospecções realizadas entre 1996 e 1997. **Cadernos do CEOM**, v. 17, p. 81–116, 2014.
- MATTOS, A. Collectanea Peter W. Lund. n. Biblioteca Mieneira de Cultura, p. 268, 193DC.
- MATTOS, A. **O sábio Dr. Lund e a Pré-História Americana**. Belo Horizonte, MG: Imprensa Oficial Minas Gerais, 1930.
- MATTOS, A. **Peter Wilhelm Lund no Brasil**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1939.
- MAYER, E. Pequenos mamíferos do Sumidouro do Sansão, Serra da Capivara, Piauí: resultados preliminares. **ANAIS do 32º Congresso Brasileiro de Espeleologia**, n. 32, p. 439–446, 2013.
- MAYER, E. L. et al. Taxonomic, Biogeographic, and Taphonomic Reassessment of a Large Extinct Species of *Paca* from the Quaternary of Brazil. **Acta Palaeontologica Polonica**, v. 61, n. 4, p. 743–758, jun. 2016.
- MAYER, E. L. et al. The dominance of an extant gregarious taxon in an attritional accumulation: Taphonomy and palaeoecological implications. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 505, p. 73–85, 15 set. 2018.
- MAYER, E. L. et al. Diagenetic changes on bone histology of Quaternary mammals from a tropical cave deposit in southeastern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 537, p. 109372, 1 jan. 2020.
- MAYER, E. L.; HUBBE, A.; HADDAD-MARTIM, P. M. **Variações na suscetibilidade da megafauna ao aprisionamento em abismos no interior de cavernas associadas à dolinas**. 2012
- MAYER, E. L.; HUBBE, A.; NEVES, W. A. **Processos de Acumulação Óssea de Mamíferos do Pleistoceno Terminal na Gruta Cuvieri, Lagoa Santa, MG**. 2009
- MENDES, J. C. **Introdução à Paleontologia Geral**. 2. ed. São Paulo: T. A. Queiroz Ed. da USP, 1982.
- MENIN, D.; VIANA, D. **Técnicas verticais para espeleologia - manual de referência**. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2008.

MINAS GERAIS. **Termo de referência para elaboração de estudos de impacto ambiental para atividades minerárias em áreas cársticas no estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, MG: FEAM/IBAMA, 2005.

MMA, M. DO M. A. Instrução Normativa nº 2, de 30 de agosto de 2017. . 30 ago. 2017, Sec. 1, p. 161.

MORATO, L. D. **Caracterização do potencial paleontológico em depósitos cársticos nas áreas da EIMCAL, entre os municípios de Matozinhos e Prudente de Morais (MG)**. Belo Horizonte, MG: [s.n.].

MORATO, L. D.; BAPTISTA, M. C.; FARIA, L. E. **A ocorrência de *Nothrotherium* (Mammalia: Edentata) em Pains (MG): um fóssil perdido pela burocracia?** Paleontologia em Destaque nº 44. **Anais...** In: ENCONTRO REGIONAL, PALEO2003 (UBERABA). Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 2003

MOREAU, J.-D. et al. Middle Jurassic Tracks of Sauropod Dinosaurs in a Deep Karst Cave in France. **Journal of Vertebrate Paleontology**, v. 39, n. 6, p. e1728286, 2 nov. 2019.

MOREIRA, L. E.; MELO, S. M. G. Mamíferos fósseis em Goiás e Distrito Federal. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 43, p. 553–555, 1971.

MOSELEY, M. Are all caves ecotones? **Cave and Karst Science**, v. 36, p. 53–58, 2010.

NOBRE, P. H.; CARVALHO, I. DE S. Fósseis: coleta e métodos de estudo. In: CARVALHO, I. DE S. (Ed.). **Paleontologia, conceitos e métodos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. p. 397–411.

OLIVEIRA, L. D. D.; SANTOS, M. DE F. C. F. Uma provável ocorrência de *Holmesina paulacoutoi* (Cartelle e Bohórquez, 1985) nos tanques fossilíferos de Lájéa Formosa, São Rafael, RN. v. 7, p. 164–166, 1990.

PARDIÑAS, U. F. J. et al. A new genus for *Habrothrix angustidens* and *Akodon serrensis* (Rodentia, Cricetidae): again paleontology meets neontology in the legacy of Lund. **Mastozoología Neotropical**, v. 23, n. 1, p. 93–115, jun. 2016.

PARDIÑAS, U. F. J.; D'ELÍA, G.; TETA, P. V. Una introducción a los mayores Sigmodontinos vivientes: revisión de *Kunsia Hershkovitz*, 1966 y descripción de un nuevo género (Rodentia: Cricetidae). **Archivos do Museu Nacional**, v. 66, n. 3–4, p. 509–594, dez. 2009.

PARDIÑAS, U. F. J.; TETA, P. On the taxonomic status of the Brazilian mouse *Calomys anoblepas* Winge, 1887 (Mammalia, Rodentia, Cricetidae). **Zootaxa**, v. 2788, n. 1, p. 38–44, 11 mar. 2011.

PARENTI, F. Estratigrafia do Caldeirão do Rodriguez, São Raimundo Nonato, Piauí. **CLIO - Série Arqueológica**, v. 11, p. 119–135, 1996.

PATTON, J. L.; PARDIÑAS, U. F. J.; D'ELÍA, G. **Mammals of South America**. Chicago and London: The University of Chicago Press, 2015. v. 2

PAULA COUTO, C. Atuaização da nomenclatura genérica e específica usada por Herluf Winge em “Museo Lundii”. **Estudos Brasileiros de Geologia**, v. 1, n. 3, p. 59–80, 1946.

PAULA COUTO, C. Uma espécie do Gênero *Tetrastylus* Ameghino, 1886, em Lagoa Santa. **Boletim do Museu Nacional**. v. 15, p. 1–16, 1951.



- PAULA COUTO, C. **Noções de Paleontologia e métodos paleontológicos**. Rio de Janeiro: Museu Nacional, 1958a.
- PAULA COUTO, C. Notas à margem de uma expedição científica a Minas Gerais. **Kriterion**, v. 11, n. 45–46, p. 401–423, 1958b.
- PAULA COUTO, C. Paleontologia da região de Lagoa Santa, Minas Gerais, Brasil. **Boletim do Museu de História Natural**, v. 1, p. 1–21, 1970.
- PAULA COUTO, C. **Tratado de Paleomastozoologia**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1979.
- PELLEGRINI, T. G. et al. **Preditores da riqueza de espécies de besouros Carabidae em cavernas: destrinchando os efeitos de macroclima no presente e passado, solo e área**. Anais do 35º Congresso Brasileiro de Espeleologia. **Anais...** In: 35º CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA. Bonito, MG: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2019
- PILLATI, F.; BORTOLI, C. Presença de Haplamastodon, um mastodonte quaternário do Estado do Paraná. *Acta Geológica Leopoldensia*. p. 3–13, 1978.
- PROTHERO, D. R. **Bringing Fossils to Life: An Introduction to Paleobiology**. Edição: 3 ed. New York: Columbia University Press, 2013.
- PURCINO, H. C. G. **Correlação das assinaturas tafonômicas entre microvertebrados preservados em depósito recente e em paleopiso da Caverna ES-08, Prudente de Morais, MG**. Trabalho de Conclusão de Curso—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.
- RABELO, L. M.; FERREIRA, R. L. **Direcionadores epígeos e hipógeos da diversidade de comunidades subterrâneas neotropicais**. Anais do 35º Congresso Brasileiro de Espeleologia. **Anais...** In: 35º CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 2019. Bonito, MS: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2019
- RAMALHO, A. J. et al. Blind Testing: DNA Barcoding Sheds Light Upon the Identity of Plant Fragments as a Subsidy for Cave Conservation. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1052, 2018.
- REDESPELEO, R. B. **1º Workshop Manejo de Cavernas e Sistemas Cársticos - Uso Público**. Disponível em: <<https://digital.lib.usf.edu/content/SF/S0/05/16/83/00001/K26-01234-14.pdf>>.
- REED, E. In Situ Taphonomic Investigation of Pleistocene Large Mammal Bone Deposits from The Ossuaries, Victoria Fossil Cave, Naracoorte, South Australia. **Helictite**, v. 39, p. 5–15, 1 jan. 2006.
- RIBEIRO, L. V. **Valoração das cavidades naturais subterrâneas: espeleologia/paleontologia/bioespeleologia/arqueologia**. Pains: [s.n.].
- RIO GRANDE DO SUL. 11.837. Declara integrantes do patrimônio cultural do Estado os sítios paleontológicos localizados em municípios do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. . 4 nov. 2002.
- ROMA, J. Projeto de Lei. “Dispõe sobre a regulamentação da profissão de paleontólogo e dá outras providências. . 2019.

- RUBBIOLI, E.; MOURA, V. **Mapeamento de cavernas: guia prático**. 2. ed. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2008.
- SALLES, L. O. et al. Quaternary mammals from Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul, Brazil. **Boletim do Museu Nacional**, n. 521, p. 1–12, 2006.
- SANTOS, T. **Primeiras abordagens ecológicas de anfíbios e répteis em cavernas do Brasil**. Master's Thesis—Belo Horizonte, MG: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2017.
- SANTOS, T. et al. **Cavernas não são habitats ocasionais para anfíbios e répteis**. Anais do IV Simpósio Mineiro do Carste. **Anais...** In: IV SIMPÓSIO MINEIRO DO CARSTE. Belo Horizonte, MG: IGC/UFGM, 2019
- SANTUCCI, V. L.; KENWORTHY, J.; KERBO, R. An inventory of paleontological resources associated with National Park Service Caves. p. 62, 2001.
- SBAE, S. B. DE E. **Projeto executivo do III Encontro Nordestino de Espeleologia** Sociedade Baiana de Espeleologia, , 2016.
- SBP, S. B. DE P. **Legislação Brasileira**. Disponível em: <[http://www.cnek.org/IMG/pdf/SPELEO-TRACT\\_no\\_8\\_-\\_complet.pdf](http://www.cnek.org/IMG/pdf/SPELEO-TRACT_no_8_-_complet.pdf)>. Acesso em: 20 jul. 2020.
- SCHERER, C. S.; MORAES, S. S.; OLIVEIRA, T. V. (EDS.). **Projeto FIOCRP Salvamento Paleontológico - Uma ponte entre a universidade e a sociedade**. 1. ed. Salvador: Edufba, 2016. v. 1
- SEDDOR, F. A.; BORN, P. A. Novas ocorrências de mamíferos pleistocênicos no Estado do Paraná. **Congresso Brasileiro de Paleontologia**, n. XVI, p. 103–104, 1999.
- SEE, S. E. E E. **Simpósio de Espeleologia e Legislação Ambiental**. Blogspot. Disponível em: <<https://see.ufop.br/blog/simposio-de-espeleologia-e-legisla%C3%A7%C3%A3o-ambiental>>. Acesso em: 30 jul. 2020.
- SILVA, J. L. L. **Tafonomia em mamíferos pleistocênicos : caso da planície colúvio - Aluvionar de Maravilha - AL**. masterThesis—Recife, PE: Universidade Federal de Pernambuco, 2001.
- SIMMS, M. J. Emplacement and preservation of vertebrates in caves and fissures. **Zoological Journal of the Linnean Society**, v. 112, p. 261–283, 1994.
- SOUZA CUNHA, F. L. **Sobre o Hippiidion da Lapa Mortuária de Confins, Lagoa Santa, Minas Gerais: estudos geo-paleontológicos baseados na Lapa mortuária e na coleção “Padberg-Drenkpol” do Museu Nacional**. Tese de concurso de livre docência da cadeira de Geologia e Paleontologia—Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1960.
- SOUZA, R. A. C. et al. **Distribuição multitemporal de um gênero de grilos cavernícolas para o Brasil: mudanças climáticas e impactos em ecossistemas subterrâneos**. Anais do 35º Congresso Brasileiro de Espeleologia. **Anais...** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 2019. Bonito, MS: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2019
- STRATFORD, D. J. Cave excavation - some methodological and intepretive considerations. **British Cave Research Association**, v. 38, p. 111–116, 2011.

TEIXEIRA, P. V. N. DE O. P. **Os marsupiais (Didelphimorphia, Mammalia) do Intertropical Brasileiro**. Dissertação de Mestrado—Rio de Janeiro: Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, 2016.

TEIXEIRA, R. **Grutas da Região Cárstica de Lagoa Santa: Lapinha**. Belo Horizonte, MG: Júpiter, 1980.

TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. **Biologia Subterrânea: Introdução**. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2006.

VALLOUREC; TERRA BRASILIS. **Área de influência de cavernas**. Disponível em: <[http://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/images/abook/pdf/2018/VALLOUREC-TERRA%20BRASILIS\\_Ciclo%20de%20Palestras.pdf](http://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/images/abook/pdf/2018/VALLOUREC-TERRA%20BRASILIS_Ciclo%20de%20Palestras.pdf)>.

VASCONCELOS, A. G. **Levantamento do Potencial Paleontológico de cavidades inseridas nos Maciços calcários de Escrivânia, Limeira e Ingleses – Prudente de Moraes – Sandra Mineração Ltda**. Belo Horizonte, MG: MC Consultoria Ambiental, 2012. . Acesso em: 20 jul. 2020.

VASCONCELOS, A. G. et al. **Novos registros de mamíferos fósseis em cavidade do maciço Limeira: depósito modificado por ação antrópica**. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Paleontologia. **Anais...** In: XXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA. Gramado, RS: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 2013

VASCONCELOS, A. G. **Levantamento do Potencial Paleontológico em área da CPX Baiana**. Belo Horizonte, MG: [s.n.]. . Acesso em: 20 jul. 2020.

VASCONCELOS, A. G. **Levantamento de Potencial Paleontológico de cavidades naturais - Montalvânia, MG**. Belo Horizonte, MG: [s.n.].

VASCONCELOS, A. G. **Levantamento do potencial paleontológico das cavidades inseridas nas regiões dos municípios de Vazante, Lagamar, Paracatu e Unaí - MG (Votorantim)**. Belo Horizonte: [s.n.].

VASCONCELOS, A. G. **Laudo Paleontológico da cavidade CMN0022, Conceição do Mato Dentro, MG**. Belo Horizonte, MG: [s.n.].

VASCONCELOS, A. G. **Laudo Paleontológico de cavidade no Parque Estadual da Mata Seca**. Belo Horizonte, MG: [s.n.].

VASCONCELOS, A. G. et al. **Análises taxonômicas e tafonômicas preliminares de novos fósseis de mamíferos quaternários provenientes de Janaúba, MG**. Ribeirão Preto: 2017

VASCONCELOS, A. G. et al. **Comparação entre métodos para o levantamento do potencial paleontológico em cavernas para o estudos ambientais**. Memórias do VI Congresso Latinoamericano de Paleontología de Vertebrados. **Anais...** In: VI CONGRESO LATINOAMERICANO DE PALEONTOLOGÍA DE VERTEBRADOS. Villa de Leyva: Congreso Latinoamericano de Paleontología de Vertebrados, 2018

VASCONCELOS, A. G. **Laudo Paleontológico da cavidade B167 (Brennand, Sete Lagoas, MG)**. Belo Horizonte, MG: [s.n.]. . Acesso em: 24 jul. 2020.

VASCONCELOS, A. G. **Laudo Paleontológico da cavidade Toca Arriaga (CSUL)**. Belo Horizonte, MG: [s.n.]. . Acesso em: 24 jul. 2020.

- VASCONCELOS, A. G. **Diagnóstico Paleontológico - Licença de Instalação do Complexo Eólico Rio do Vento Expansão**. Belo Horizonte, MG: [s.n.]. . Acesso em: 24 jul. 2020.
- VASCONCELOS, A. G. et al. Stromatolites in Caves in Southeastern Brazil and their Importance to Geoconservation. **Geoheritage**, v. 12, n. 2, p. 48, jun. 2020.
- VASCONCELOS, A. G.; BITTENCOURT, J. S. Desenterrando a vida do passado. Potencial paleontológico em cavernas. In: SOUZA, T. A. R.; AULER, A. S. (Eds.). . **O carste de Vazante-Paracatu-Unai: revelando importâncias, recomendando refúgios**. Belo Horizonte: Carste Ciência e Meio Ambiente, 2018. p. 215–297.
- VASCONCELOS, A. G.; BITTENCOURT, J. S.; AULER, A. S. Mammal tooth traces in a ferruginous cave in southeastern Brazil and their relevance to cave legal protection. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, n. suppl 2, p. e20180861, 2019.
- VASCONCELOS, A. G.; CAMPELLO, M. S. **Comparação entre o potencial paleontológico de cavidades naturais inseridas nas regiões cársticas de Lagoa Santa (MG) e Lajedinho (BA)**. Anais do 48° Congresso Brasileiro de Geologia. **Anais...** In: 48° CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 2016Disponível em:  
<[http://sbg.sitepessoal.com/anais48cbg/st16/ID5900\\_110759\\_52\\_Vasconcelos\\_e\\_Campello.pdf](http://sbg.sitepessoal.com/anais48cbg/st16/ID5900_110759_52_Vasconcelos_e_Campello.pdf)>  
>
- VASCONCELOS, A. G.; COSTA, F. L. B.; KRAEMER, B. M. **Padronização dos métodos de identificação inicial de cavidades naturais**. Anais do II Simpósio Mineiro do Carste. **Anais...** In: II SIMPÓSIO MINEIRO DO CARSTE. Belo Horizonte, MG: IGC/UFMG, 2013
- VASCONCELOS, A. G.; HUBBE, A.; MEYER, K. **Método para avaliação e classificação do potencial paleontológico de cavidades naturais para fins minerários**. 2o simpósio mineiro do carste. **Anais...**2013
- VASCONCELOS, A. G.; KRAEMER, B. M.; MEYER, K. E. B. Tafonomia em cavernas brasileiras: histórico e método de coleta de fósseis preservados em solo carbonatado. **Terrae Didactica**, v. 14, n. 1, p. 49–68, 5 jun. 2018.
- VASCONCELOS, A. G.; MEYER, K. E. B.; CAMPELLO, M. S. Mamíferos quaternários da Cavidade ES-08, município de Prudente de Morais, Minas Gerais: análises tafonômica e taxonômica. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 18, n. 1, p. 171–190, 2015.
- VIANA, M. S. S. et al. Mamíferos fósseis Quaternário da região noroeste do Ceará. **Revista de Geologia**, n. 23, p. 171–181, 2010.
- WINGE, H. Jordfundne og nulevende Gnavere (Rodentia) fra Lagoa Santa, Minas Geraes, Brasilien: Med Udsigt over Gnavernes indbyrdes Slægtskab. **E. Museo Lunddii**, v. 3, n. 1, p. 1–178, 1888.
- WINGE, H. Jordfundne og nulevende ordfundne og nulevende flagermus (Chiroptera) fra Lagoa Santa, Minas Geraes, Brasilien: med udsigt over flagermusenes indbyrdes slægtskab. **E. Museo Lunddii**, v. 3, p. 3–149, 1892.
- WINGE, H. Jordfundne og nulevende Pungdyr (Marsupialia) fra Lagoa Santa, Minas Geraes, Brasilien: med udsigt over Pungdyrenes slægtskab. **E. Museo Lunddii**, v. 2, n. 2, p. 1–133, 1893.

WINGE, H. Jordfundne og nulevende Rovdyr (Carnivora) fra Lagoa Santa, Minas Geraes, Brasilien: Med Udsigt over Rovdyreues indbyrdes Slægtskab. **E. Museo Lunddii**, v. 3, n. 2, p. 1–149, 1895.

WINGE, H. Jordfundne og nulevende Hovdyr (Ungulata) fra Lagoa Santa, Minas Geraes, Brasilien: Med Udsigt over Hovdyrenes indbyrdes Slægtskab. **E. Museo Lunddii**, v. 3, n. 1, p. 1–239, 1906.

WINGE, H. Jordfundne og nulevende Gumlere (Edentata) fra Lagoa Santa, Minas Geraes, Brasilien: Med Udsigt over Hovdyrenes indbyrdes Slægtskab. **E. Museo Lunddii**, v. 3, n. 2, p. 1–321, 1915.

ZOGBI, L. DE A. et al. **Paraíso Cave: A remarkable limestone cave system in the Brazilian Amazonia**. Proceedings 17th International Congress of Speleology. **Anais...** In: 17TH INTERNATIONAL CONGRESS OF SPELEOLOGY. Sydney: Australian Speleological Federation, 2017