



POSICIONAMENTO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE  
ESPELEOLOGIA DIANTE DA MINUTA DE ALTERAÇÃO  
DOS DECRETOS FEDERAIS Nº 99.556/1990 E  
6.640/2008 PROPOSTA PELO MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA

Campinas, 14 de abril de 2020



# Sociedade Brasileira de Espeleologia

Organização da Sociedade Civil de Interesse Público - OSCIP

Fundada em 1º de novembro de 1969

CNPJ 52.168.481/0001-42

[www.cavernas.org.br](http://www.cavernas.org.br)

## DIRETORIA

Allan S. Calux (Presidente)  
Elvis Barbosa (Vice-Presidente)  
Gisele Sessegolo (1º Secretária)  
Rafael Fonseca (2º Secretário)  
Paulo Arenas (Tesoureiro)

## COMISSÃO ESPECIAL DE PROTEÇÃO DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO

### COORDENAÇÃO GERAL

Dr. Allan S. Calux

### EQUIPE TÉCNICA

Dr. Luis B. Piló (coordenador)  
Dr. Rodrigo Lopes Ferreira (coordenador)  
Esp. Bernardo Menegale Bianchetti  
Edvard Magalhães  
Dra. Fernanda Elisa Costa Resende  
Dra. Gisele Sessegolo  
Dr. Henrique Simões Pontes  
MSc. Ives Arnone  
Jorge Rosário  
Dra. Mariana Barbosa Timo

### EQUIPE JURÍDICA

Pavel Carrijo Rodrigues  
Dr. Luciano Emerich Faria  
Esp. Marcelo Taylor

### EQUIPE DE COMUNICAÇÃO

Clayton F. Lino  
Leda A. Zogbi  
Dr. Luciana Alt  
Dr. Vitor Moura

## CONSULTORES EXTERNOS

Dr. Enrico Bernard  
Dr. Marconi Silva Sousa  
MSc. Robson de Almeida Zampaulo

## **POSICIONAMENTO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA - SBE DIANTE DA MINUTA DE ALTERAÇÃO DOS DECRETOS Nº 99.556/1990 e N. 6.640/2008 PROPOSTA PELO MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA - MME**

A Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE) vem, através deste documento, apresentar seu posicionamento em relação a minuta de alteração dos Decretos Federais nº 99.556/1990 e nº 6.640/2008, que dispõe sobre a proteção das cavernas existentes no território nacional, proposta pelo Ministério das Minas e Energia (MME).

É importante frisar, inicialmente, que a elaboração da minuta foi realizada de forma unilateral pelo MME, não havendo a fundamental participação de instituições notadamente ligadas ao tema, como o Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas - (CECAV/ICMBio), ou envolvidas com a conservação das cavernas brasileiras, como a SBE, organização da sociedade civil de interesse público, que atua há mais de 50 anos na defesa das cavernas e dos ambientes cársticos brasileiros. Com mais de 1.800 associados, a entidade congrega 30 dos principais grupos de espeleologia nacionais. Representa ainda o Brasil na União Internacional de Espeleologia (UIS), onde ocupa uma das cadeiras da Diretoria, ao lado de países como Alemanha, Austrália, Estados Unidos, França e Japão.

Embora a minuta proposta altere questões muito específicas do marco regulatório vigente, ela atinge pontos fundamentais, a saber: a possibilidade de impactos irreversíveis em cavernas de máxima relevância (Art.3º da Minuta); e a fragilização dos órgãos ambientais licenciadores (Art.2º da Minuta). Além disso, o documento exhibe fragilidades conceituais e procedimentais que, fatalmente, trarão insegurança técnica e jurídica aos processos de licenciamento ambiental em todas as esferas, acarretando em, além de prejuízos ambientais, prejuízos econômicos e sociais.

A SBE vê com imensa preocupação a minuta apresentada, sobretudo em função da possibilidade de impactos irreversíveis em cavernas de relevância máxima, diante de atividades ou empreendimentos de “utilidade pública”. A supressão dessas cavernas poderá resultar na perda irreparável de componentes naturais e culturais relevantes do ambiente subterrâneo, um fato sem precedentes na história do país.

Impactos em cavernas de máxima relevância poderão levar à extinção de centenas de espécies endêmicas, a grande maioria ainda não descrita ou sequer descoberta. No caso da quiropterofauna, um eventual desequilíbrio provocado pela supressão das



chamadas *bat caves*, que não raro abrigam centenas de milhares de morcegos, pode cessar permanentemente serviços ecossistêmicos fundamentais, como o controle de pragas agrícolas, por exemplo. Sistemas hidrogeológicos em vastas regiões do país poderão ser comprometidos, ressaltando que várias cidades brasileiras são abastecidas com águas armazenadas em sistemas cársticos. Processos espeleogenéticos e espeleotemas únicos, desenvolvidos por atividade microbiana, que nunca foram observados no Brasil, poderão ser degradados. Estarão também sob risco preciosos arquivos paleoclimáticos registrados nos espeleotemas das cavernas brasileiras. A liberação de impactos em cavernas de máxima relevância poderá ainda trazer perdas de grande magnitude para a arqueologia e, conseqüentemente, para a história do homem na América (ver Caderno Técnico).

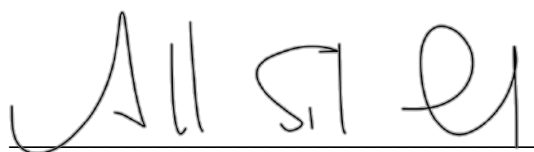
Um outro aspecto que não pode ser ignorado é o de que atualmente, no Brasil, inúmeras cavernas de máxima relevância são exploradas turisticamente, possibilitando o uso público deste inestimável patrimônio ambiental e cultural, por centenas de milhares de visitantes, brasileiros e estrangeiros, anualmente. Muitas destas cavernas encontram-se dentro de unidades de conservação de proteção integral, mas diversas outras encontram-se fora destas áreas protegidas. É extremamente preocupante que principalmente estas cavernas, com um menor nível de proteção efetiva, possam ser afetadas por impactos negativos, pois o seu uso turístico constitui importante gerador de emprego e renda em diversas regiões do país onde outras atividades econômicas não se desenvolvem adequadamente. Estes impactos afetariam a vida de milhares de brasileiros.

Ressalta-se que as cavernas de máxima relevância estão resguardadas pelo Artigo 216 da Constituição Federal, que define os bens de natureza material e imaterial que constituem o Patrimônio Cultural Brasileiro, dentre os quais os sítios de valor histórico, paisagístico, arqueológico, paleontológico, ecológico e científico.

A participação e o posicionamento da SBE, em um imprescindível grupo de trabalho, certamente contribuirão para o efetivo aprimoramento dos mecanismos técnicos e jurídicos do rito do licenciamento ambiental e da legislação de proteção às cavernas, pois a minuta elaborada pelo MME não atente aos valores da sociedade e as diretrizes mundiais de sustentabilidade. Uma discussão entre as instituições públicas competentes e as sociedades organizadas na busca de um aprimoramento da legislação, neste momento, é oportuna e necessária. No entanto, estes ajustes devem ser pautados pelo conhecimento técnico e científico disponível, e, acima de tudo, devem acontecer sem que o patrimônio espeleológico brasileiro seja ameaçado.

Embasam essa manifestação as cartas de apoio de renomadas organizações espeleológicas internacionais a seguir, o Caderno Técnico e seus Anexos, sendo signatários desse documento a Diretoria, a Comissão Especial de Proteção do Patrimônio Espeleológico da SBE e os Consultores Externos consultados.

Campinas, 14 de abril de 2020

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Allan S. Calux', written over a horizontal line.

Allan S. Calux  
Presidente da Sociedade Brasileira de Espeleologia

11 April 2020

Rose Miriam Hoffman  
Secretária de Apoio ao Licenciamento Ambiental e Desapropriações  
Programa de Parceria de Investimentos  
[rose.hofmann@presidencia.gov.br](mailto:rose.hofmann@presidencia.gov.br)

Maria Cecilene Aragão Martins  
Chefe da Assessoria Especial de Meio Ambiente  
[cecilene.martins@mme.gov.br](mailto:cecilene.martins@mme.gov.br)

Alexandre Vidigal de Oliveira  
Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral  
[sgm.gab@mme.gov.br](mailto:sgm.gab@mme.gov.br)

Eduardo Fortunato Bim  
Presidente do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
[presidencia@ibama.gov.br](mailto:presidencia@ibama.gov.br)

Jônatas Souza de Trindade  
Diretor de Licenciamento Ambiental  
[dilic.sede@ibama.gov.br](mailto:dilic.sede@ibama.gov.br)

Homero de Giorge Cerqueira  
Presidente do Instituto Chico Mendes de Biodiversidade  
[presidencia@icmbio.gov.br](mailto:presidencia@icmbio.gov.br)

Marcos Aurélio Venâncio  
Diretor de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade  
Instituto Chico Mendes de Biodiversidade  
[marcos.venancio@icmbio.gov.br](mailto:marcos.venancio@icmbio.gov.br)

Jocy Brandão Cruz  
Coordenador do Centro de Pesquisa e Conservação de Cavernas  
Instituto Chico Mendes de Biodiversidade  
[jocy.cruz@icmbio.gov.br](mailto:jocy.cruz@icmbio.gov.br)

Re: Brazil cave protection legislation

Dear Leaders of Brazil's Natural and Environmental Resources;

I am the Executive Director of the US National Cave and Karst Research Institute (NCKRI). The institute was created by the US Congress to conduct, support, facilitate, and promote cave and karst research, education, management, archiving of data,

and collaborations to support those activities nationally and internationally. I am also the President of the International Union of Speleology (UIS), a nonprofit organization comprised of 55 countries that support and work toward the same goals worldwide.

For many years I have used Brazil's Decree 6640/2008 as one of the world's best examples of legislation to protect caves and the karst areas in which they occur. Although caves are hidden underground, they are incredibly valuable resources for a country's economic and environmental health. This is why the US created NCKRI and why the UIS exists worldwide and next year will celebrate the International Year of Caves and Karst with governments and organizations around the world.

Sadly, as the international community is preparing to celebrate the many values of caves, I have learned of new legislative activity in Brazil that will remove or decrease the protections offered by Decree 6640/2008. I am writing to urge you to prevent any weakening of Decree 6640/2008.

The social and economic benefits from Brazil's caves are too many to describe fully in this letter. To highlight a few, caves:

- provide valuable water resources to many communities;
- contain many of Brazil's most important archaeological sites to preserve and understand the country's cultural heritage;
- hold the most diverse and valuable records of past climates to help scientists predict modern climate change;
- grow unique ecosystems that are producing new medicines for people; and
- build local economies through tourism in show caves and karst landscapes.

The benefits also extend beyond Brazil's karst areas. For example, bats are one of the most important factors in the restoration of tropical forests.

Supporting Decree 6640/2008 protects Brazil from the loss of these and other benefits, but also from serious damages. Karst aquifers are the most vulnerable to pollution and sinkhole collapse causes billions of dollars in destruction to homes, businesses, and roads around the world each year. Both result in the loss of lives.

I urge you in the strongest terms to maintain Decree 6640/2008. If you have questions or other needs in regard to caves and the karst areas in which they occur, please do not hesitate to contact me.

Respectfully,

A handwritten signature in black ink, appearing to read "G. Veni". The signature is fluid and cursive, with a large initial "G" and a stylized "Veni".

George Veni, PhD  
Executive Director, US National Cave and Karst Research Institute  
President, International Union of Speleology

NATIONAL  
SPELEOLOGICAL  
SOCIETY, INC.



6001 Pulaski Pike

Huntsville, AL 35810-1122

DEDICATED TO THE EXPLORATION, STUDY, AND CONSERVATION OF CAVES

Homero de Giorge Cerqueira  
Presidente do Instituto Chico Mendes de Biodiversidade  
(President of Chico Mendes Biodiversity Institute)  
presidencia@icmbio.gov.br

10 April 2020

Dear Presidente:

On behalf of the National Speleological Society (NSS) of the United States of America, we express our full support of the Brazilian Speleology Society Commission that is evaluating the proposed changes in Brazil's cave protection legislation. Brazil currently recognizes and protects its unique natural and cultural heritage and is the world leader with the best spelean-protection legislation and policies. We sincerely encourage and support maintenance of Brazil's current speleological legislation.

With thousands of members and 250 Grottos (chapters), the National Speleological Society is the largest organization in the world working every day to further the exploration, study, protection, and conservation of caves and karst. Members of the NSS work hand-in-hand with federal agencies of the United States of America under cooperative agreements and Memorandums Of Understanding. The NSS supports balanced approaches to cave access and resource protection with actions that are backed by scientific data and conservation protocols. Many cavers and scientists from the United States travel to Brazil to admire its cave and karst resources.

Brazil is currently the world leader in protection of its caves and karst through legislative process. Failure to protect caves and karst by reducing legislation and regulations would cause extensive loss of Brazil's natural and cultural heritage.

The continued protection of Brazil's most relevant caves and karst areas is essential to ensure the preservation of fragile biological life in underground ecosystems, cultural information that is naturally archived in cave environments, underground waterways and springs that are important for natural systems and human consumption, as well as many other impressive spelean-heritage resources for all Brazilians. Please maintain Brazil's legislation that assures continuing protection policies for the resources of Brazil's heritage that are harbored only in your speleological environments.

Respectfully submitted,

**Val Hildreth-Werker & Jim C. Werker**  
NSS Conservation Division Joint Chiefs  
+1 575-740-0186  
caves.org/conservation/  
jimwerker@zianet.com  
valhildreth@icloud.com

**Geary Schindel**  
NSS President [president@caves.org](mailto:president@caves.org)

**Katherine L. Crispin, PhD**  
NSS Administrative Vice President  
caves.org [avp@caves.org](mailto:avp@caves.org)





Rose Miriam Hoffman  
Secretária de Apoio ao Licenciamento Ambiental e Desapropriações  
Programa de Parceria de Investimentos

Maria Cecilene Aragão Martins  
Chefe da Assessoria Especial de Meio Ambiente

Alexandre Vidigal de Oliveira  
Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Eduardo Fortunato Bim  
Presidente do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

Jônatas Souza de Trindade  
Diretor de Licenciamento Ambiental

Homero de Gorge Cerqueira  
Presidente do Instituto Chico Mendes de Biodiversidade

Marcos Aurélio Venâncio  
Diretor de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade  
Instituto Chico Mendes de Biodiversidade

Jocy Brandão Cruz Coordenador do  
Centro de Pesquisa e Conservação de Cavernas  
Instituto Chico Mendes de Biodiversidade

April 20, 2020

Dear Leaders of Brazil's Natural and Environmental Resources,

Karst is an important part of the world's natural heritage and caves are its most characteristic feature. Good knowledge about caves is the only way to understand the formation and development of karst. Karst caves contain large quantities of water which is used for our water supply; they are also treasures of exceptional biodiversity. Owing to their huge variety, they attract millions of tourists. However, karst is also a very fragile landscape, sensitive to many human impacts and as such often requires special protection rules.

In Slovenia, the Classical Karst region (Appendix: Karst Research Institute ZRC SAZU) became protected by the Underground Cave Protection Act 17 years ago. The act is based on the national Cadaster of Caves, and is very thorough and strict; nevertheless, it offers the broader community the chance to understand the issue of caves and how to protect them.

Brazil has considerable biodiversity, geodiversity and a famous cultural heritage associated with karst and caves. Besides that, it is currently recognized as the country with the best spelean environment protection

legislation and policies. Because of that, changes to the current legislation may result in an irreversible loss of relevant natural and cultural components of the underground environment, which would be unprecedented in the country's history.

The approval of changes to the legislation could lead to the extinction of hundreds of endemic species; the vast majority of which have not yet been described or even discovered. In the case of chiropter fauna, an eventual imbalance caused by the suppression of the so-called bat caves could permanently cease vital ecosystem services. Hydrogeological systems in vast regions of the country could be compromised. Speleogenetic processes and unique speleothems developed by microbial activity may become degraded. The paleoclimatic archives recorded in the speleothems of Brazilian caves would also be at great risk. Archeological and paleontological remains could be lost.

Please accept our polite recommendation to protect the caves and preserve the development of our life in wonderful natural heritage sites. Maintaining the current legislation will ensure the preservation of the relevant speleological heritage in Brazilian territory.

Best regards on behalf of Slovenian karstologists and speleologists,

Prof. dr. Tadej Slabe

Head of Karst Research Institute of the Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts

Prof. dr. Martin Knez

Head of UNESCO Chair on Karst Education



# MAGYAR KARSZT- ÉS BARLANGKUTATÓ TÁRSULAT



a Nemzetközi Barlangtani Unió tagja



1025 Budapest  
Pusztaszeri út 35.  
+36-70-8811-477  
E-mail:  
[mkbtiroda@gmail.com](mailto:mkbtiroda@gmail.com)  
[www.barlang.hu](http://www.barlang.hu)  
Adószám: 19815802-1-41

UNGARISCHE GESELLSCHAFT FÜR KARST- UND HÖHLENFORSCHUNG  
HUNGARIAN SPELEOLOGICAL SOCIETY — SOCIÉTÉ HONGROISE DE SPÉLÉOLOGIE  
ВЕНГЕРСКОЕ ОБЩЕСТВО ПО ИССЛЕДОВАНИЮ КАРСТОВЫХ ЯВЛЕНИЙ И ПЕЩЕР

Budapest/Hungary, 15 April, 2020

To :

**Rose Miriam Hoffman** - Secretária de Apoio ao Licenciamento Ambiental e Desapropriações|Programa de Parceria de Investimentos (Head of Secretary of Support for Environmental Licensing and Expropriations of Investment Partnership Program) - [rose.hofmann@presidencia.gov.br](mailto:rose.hofmann@presidencia.gov.br)

**Maria Cecilene Aragão Martins** - Chefe da Assessoria Especial de Meio Ambiente|MME (Head of Special Environmental Advisory of the Mining and Energy Ministry) - [cecilene.martins@mme.gov.br](mailto:cecilene.martins@mme.gov.br)

**Alexandre Vidigal de Oliveira** - Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral|MME (Head of Secretary of Geology, Mining and Mineral Transformation the Mining and Energy Ministry) - [sgm.gab@mme.gov.br](mailto:sgm.gab@mme.gov.br)

**Eduardo Fortunato Bim** - Presidente do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (President of the Brazilian Institute of Environment and Renewable Natural Resources) - [presidencia@ibama.gov.br](mailto:presidencia@ibama.gov.br)

**Jônatas Souza de Trindade** - Diretor de Licenciamento Ambiental|IBAMA (Director of Environmental Licensing of Brazilian Institute of Environment and Renewable Natural Resources) - [dilic.sede@ibama.gov.br](mailto:dilic.sede@ibama.gov.br)

**Homero de Gorge Cerqueira** - Presidente do Instituto Chico Mendes de Biodiversidade (President of Chico Mendes Biodiversity Institute) - [presidencia@icmbio.gov.br](mailto:presidencia@icmbio.gov.br)

**Marcos Aurélio Venâncio** -Diretor de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade|Instituto Chico Mendes de Biodiversidade (Director of Biodiversity Research, Assessment and Monitoring of Chico Mendes Biodiversity Institute) - [marcos.venancio@icmbio.gov.br](mailto:marcos.venancio@icmbio.gov.br)

**Jocy Brandão Cruz** - Coordenador do Centro de Pesquisa e Conservação de Cavernas|Instituto Chico Mendes de Biodiversidade (Coordinator of the Cave Research and Conservation Center of Chico Mendes Biodiversity Institute) - [jocy.cruz@icmbio.gov.br](mailto:jocy.cruz@icmbio.gov.br)

Dear Addressees,

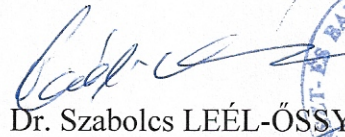
On behalf of the Hungarian Speleological Society, as the national organization of Hungarian speleologists we highly evaluate the job of Brazilian Speleological Society, especially in the field of cave protection. Brazil is one of the nations that has recognized the importance of caves and karsts and accordingly protected them legally.



Caves and karst are priceless resources. They are home to the planet's many most diverse, important and rare ecosystems, supporting ecological diversity above and below the ground. The world's most significant cultural and archeological sites often are found in caves.

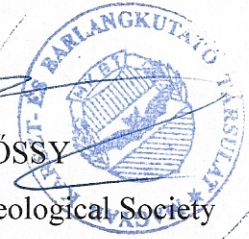
Caves and karst are extremely vulnerable and therefore require the highest degree of protection. We do this in Hungary and we hope that Brazil will continue to do everything in its power to protect the caves and the karst.

Yours sincerely,



Dr. Szabolcs LEÉL-ÖSSY

president of Hungarian Speleological Society



# **CADERNO TÉCNICO**

## **SUPRESSÃO DE CAVERNAS DE MÁXIMA RELEVÂNCIA E OS RISCOS DE PERDA DE BIODIVERSIDADE, GEODIVERSIDADE E DE PATRIMÔNIO HISTÓRICO E CULTURAL**

O presente Caderno Técnico visa valorar alguns temas do ambiente subterrâneo de grande significância, além das perdas potenciais e irreparáveis que podem advir da permissão legal de impactos ambientais negativos e irreversíveis em componentes físicos e biológicos de cavernas de máxima relevância.

### **BIOESPELEOLOGIA**

Recentemente, um manifesto trouxe um alerta global à sociedade sobre a necessidade de ações emergenciais para a conservação de ecossistemas subterrâneos em todo o mundo (Mammola *et al* 2019). Tal documento foi endossado por um grupo de 24 especialistas em biologia subterrânea, representantes de universidades, ONG's, empresas públicas e privadas (incluindo a União Internacional para Conservação da Natureza - IUCN) de 14 países (Áustria, Austrália, Alemanha, Brasil, Croácia Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, Eslovênia, França, Finlândia, Itália, Romênia e Portugal). O objetivo principal do artigo foi o de discutir algumas tendências alarmantes relacionadas à conservação dos ecossistemas subterrâneos, que representam, por sua vez, alguns dos ambientes mais exclusivos, isolados e pouco estudados do planeta. Os autores do referido trabalho destacaram que os ecossistemas subterrâneos compreendem uma das mais importantes fronteiras da exploração moderna, principalmente pelo fato de que a maioria dos lugares acessíveis na Terra já foi mapeada ou explorada direta ou indiretamente, excetuando-se os ambientes marinhos profundos e as cavernas (Mammola *et al* 2019).

Esta carência de conhecimento se deve ao fato que os ambientes subterrâneos não se restringem às cavernas com amplas aberturas em superfície. A maioria dos vazios subterrâneos não possuem entradas acessíveis aos seres humanos. Além disto, existe uma ampla rede de fissuras e espaços, inacessível ao homem, mas que também representam o habitat para muitas das espécies presentes nestes ecossistemas. Águas subterrâneas, por sua vez, compreendem 95% da água doce não congelada do planeta e hospedam organismos especializados, além de numerosas espécies que são importantes para manter a qualidade destas águas. Toda a relevância destes ambientes já pode ser notada sem mesmo lançar mão da vida microbiana. Uma grande quantidade de fungos e bactérias com amplo potencial biotecnológico está oculta nesses ecossistemas (Magnabosco *et al.* 2018).

Para tomar decisões sólidas visando a conservação de ecossistemas subterrâneos, existe a urgente necessidade de acelerar a pesquisa científica, destinada a explorar a biodiversidade subterrânea juntamente com os fatores abióticos e bióticos que conduzem



seus padrões de distribuição no espaço e no tempo. As poucas estimativas disponíveis (por ex. Zagamajster *et al.* 2018) sugerem que a maioria das espécies subterrâneas obrigatórias em todo o mundo ainda não foi descrita. O primeiro argumento, enfatizando a importância de proteger estes ecossistemas, surge quando consideramos as fascinantes mudanças evolutivas que muitos animais sofreram para se adaptar à vida subterrânea. Espécies troglóbias são produto de raros eventos da evolução, e seus habitats representam fontes de descobertas científicas inesperadas. O estudo dessas espécies notáveis nos permite extrapolar fora dos limites de nossa própria imaginação, explorando adaptações biológicas únicas (Soares & Niemiller 2013, Yoshizawa *et al.* 2014, 2018a,b), aprendendo sobre processos ecológicos e evolutivos fundamentais (Juan *et al.* 2010, Mammola 2018) e até mesmo obtendo informações que auxiliem na saúde humana (Riddle *et al.* 2018, Yoshizawa *et al.* 2018b). Além disso, os sistemas subterrâneos desempenham um papel crítico na regulação e provisão de serviços ecossistêmicos (Mammola *et al.* 2019).

A perda e a degradação de habitats subterrâneos estão ocorrendo em muitas regiões do mundo. Em vários casos, a perturbação destes habitats é direta, embora frequentemente localizada espacialmente. Como exemplo, podem ser citadas as atividades de mineração, as atividades de construção e desenvolvimento de infraestruturas (como a perfuração de túneis e a construção de estradas nas áreas cársticas) e o desenvolvimento hidrelétrico, dentre outros. Todas estas atividades intensificam o desmatamento, a urbanização e impulsionam atividades industriais que direta ou indiretamente atuam sobre estas áreas. A degradação resultante destas atividades pode reduzir populações de espécies subterrâneas ou resultar na extinção de espécies endêmicas (Mammola *et al.* 2019 – ver exemplos à frente).

A minuta recentemente encaminhada pelo MME referente à sugestão de alteração no decreto 6.640, a qual propõe permissão de supressão de cavidades de máxima relevância, demanda de uma análise técnica profunda. Muita embora a referida minuta sugira que a nova forma de avaliação elevará o grau de proteção das cavernas, inexistem dados científicos que suportem esta afirmativa. De forma contrária ao exposto na minuta, a supressão de cavernas de máxima relevância abrirá a possibilidade de uma perda bioespelológica sem precedentes na história do país. Nesta perspectiva, este documento objetiva expor, com base em dados empíricos e projeções, as perdas potenciais e irreparáveis que podem advir da permissão de supressão de cavernas de máxima relevância.

Os conceitos biológicos mencionados dentre os critérios que classificam uma caverna em grau máximo de relevância são de amplo conhecimento. Assim, não se intenciona aqui destacar a óbvia necessidade de se preservar espécies raras, endêmicas ou relictas. Esta concepção, amplamente difundida e aceita na comunidade científica internacional, não demanda explanações. O objetivo deste documento é apresentar números ou situações que demonstram a obrigatoriedade de preservação das cavernas de máxima relevância.

Para tal, três abordagens serão aqui utilizadas, a saber: i) o crescimento no número de espécies troglóbias descritas ao longo do tempo no Brasil; ii) o número potencial de espécies troglóbias existente no território nacional e iii) exemplos específicos referentes à

existência de singularidades faunísticas (incluindo evidências da existência de identidade biogeográfica subterrânea) sujeitas a perdas irreparáveis.

Os estudos relacionados à fauna cavernícola no Brasil têm passado por profundas transformações desde sua origem. Descrições de novas espécies cavernícolas ocorriam de forma esporádica no passado, tendo em vista que esta ciência ainda não era bem estabelecida no país. Entretanto, a partir de 2008, com a publicação do decreto 6.640, não somente intensificaram-se os estudos em cavidades naturais subterrâneas, mas também passaram a acontecer políticas públicas de incentivo ao desenvolvimento desta ciência com a finalidade de formação de profissionais e produção de conhecimento que pudesse auxiliar nos processos de licenciamento. Assim, muitas cavernas têm sido inventariadas e inúmeras espécies descobertas. Surgiu, então, a necessidade em dar celeridade às descrições de espécies, estimulada especialmente por meio de editais públicos. Ao analisarmos o gráfico de número de novas espécies descritas ao longo do tempo no país (Anexo I A), percebe-se uma ascendente, que especialmente após a publicação do decreto 6.640, tornou-se exponencial. Tal fato revela a enorme quantidade de espécies que vêm sendo descobertas e descritas a cada ano. No entanto, muitas espécies ainda aguardam por descrições em coleções biológicas. Ao considerarmos o número de espécies descritas, cujos trabalhos encontram-se aceitos ou submetidos (33 espécies – [biologiasubterranea.com.br](http://biologiasubterranea.com.br)), a projeção do aumento das descrições torna-se ainda mais evidente (Anexo I B). É notório, desta forma, que a fauna troglóbia brasileira ainda é amplamente desconhecida. Caso fosse bem conhecida, seria esperado que os gráficos abaixo tendessem a uma assíntota, o que claramente não é observado.

A segunda abordagem considera o número potencial de espécies troglóbias existentes no território nacional, cujos cálculos das estimativas são explicados no Anexo II. É importante destacar que metodologia proposta para se alcançar tais estimativas é inédita, tendo sido elaborada especificamente para este documento. Considerando os cálculos explicitados no anexo II, o número potencial de espécies troglóbias existentes em território nacional foi projetado como correspondente a 2.722 espécies para cavernas carbonáticas, 322 espécies para cavernas ferríferas e 295 espécies para cavernas siliciclásticas, o que resulta em um total de 3.339 espécies. É importante destacar que estas projeções foram baseadas no número de cavernas cadastradas no país que sabidamente é bastante inferior ao número real. Optou-se pelo uso das cavernas já cadastradas em função do fato de que projeções sobre o número total de cavernas no país, embora existam, são ainda muito grosseiras, o que poderia levar a estimativas muito infladas do número potencial de espécies. Somando-se este total potencial ao já conhecido em literatura e dados provenientes de coleções biológicas, é plausível assumir que o país contenha, minimamente, cerca de 4000 espécies troglóbias ainda não descritas. Neste ponto retorna-se ao ponto focal deste documento: a permissão de supressão de cavernas de máxima relevância poderá levar à perda irremediável de centenas de espécies troglóbias, a grande maioria ainda não descrita ou sequer descoberta. Salienta-se aqui que o número de inventários requeridos em processos de licenciamento ambiental (2 amostragens) estão muito aquém do necessário para ser ter

um bom conhecimento acerca da fauna de uma dada cavidade, o que agrava sobremaneira este quadro.

É importante mencionar que projeções de números potenciais de espécies são extremamente úteis para o estabelecimento de diretrizes de pesquisa e conservação. A exemplo disso, Mora e colaboradores (2011) projetaram a existência de cerca de 8,7 milhões de espécies no planeta, das quais 6,5 milhões são terrestres. Infelizmente, espécies subterrâneas aparentemente não foram consideradas nas projeções dos referidos autores, o que indica o elevado nível de desconhecimento sobre o número potencial de espécies cavernícolas existentes no mundo.

As projeções aqui apresentadas consideraram somente três grupos de rochas. Desta forma, cavernas associadas a outras litologias, como em rochas granitoides, por exemplo, não foram utilizadas, por falta de estudos sistemáticos locais, o que impediu a inclusão nestas análises. No entanto, assume-se que a inclusão de outras cavernas certamente aumentaria o número potencial de espécies troglóbias. Assim, o número aqui obtido (3.339 espécies) dever ser considerado uma estimativa “moderada”, cautelosa.

Por fim, ainda dentro desta linha de argumentação, é fundamental enfatizar que muitas destas espécies tendem a se enquadrar, minimamente, em algum dos critérios atualmente considerados na classificação de uma caverna como de máxima relevância (são raras, endêmicas ou, em menor frequência, relictas), pois esta é a tendência que tem sido mostrada pelas espécies já descritas no país (66% das espécies troglóbias brasileiras descritas enquadram-se em algum destes critérios). Desta forma, o número projetado de espécies troglóbias para o Brasil, em grande parte, estará diretamente associado a habitats que, a priori, deverão ser enquadrados em máxima relevância. Este é o motivo pelo qual cavidades de máxima relevância definitivamente não podem ter sua conservação ameaçada: elas potencialmente abrigam uma porcentagem significativa das espécies troglóbias brasileiras.

Como exemplo de risco de perdas individuais de espécies, serão aqui citados, três exemplos. O primeiro, compreende a “cigarrinha” troglóbia *Ferrixicius davidi* (Hoch & Ferreira, 2012), restrita a uma única caverna dentre as centenas conhecidas para a região do quadrilátero ferrífero. É um dos Auchenorrhyncha mais especializados do mundo ao modo de vida subterrâneo, sendo que a caverna à qual se associa (Gruta MP8) está completamente circundada por alterações advindas de atividades de mineração. Uma eventual destruição desta caverna culminará com a consequente extinção da espécie, sem quaisquer possibilidades de compensação.

Outros dois exemplos podem ser ainda citados para o país, associados a outros tipos de impactos. O primeiro deles é o do anfípode (um pequeno crustáceo aquático) *Hyaella imbya*, o primeiro crustáceo hipotelminorréico descrito para a América do Sul (Rodrigues *et al.* 2012). O habitat hipotelminorréico é considerado o habitat subterrâneo mais superficial. Caracteriza-se pela presença de pontos úmidos persistentes alimentados por água subterrânea em depressões de áreas de declive moderado. Não há luz nesses habitats (como em cavernas) e suas propriedades físicas e químicas são únicas, como abundância de matéria orgânica, área de drenagem inferior a 10.000 m<sup>2</sup>, alta condutividade e menor variação anual de temperatura quando comparada às águas superficiais (Culver *et al.* 2006). *Hyaella*



*imbya* foi descrita para o estado do Rio Grande do Sul, a partir de espécimes coletados em 2002. Visitas posteriores à área (em 2012) revelaram que o habitat hipotelminorréico não mais existia, talvez em razão de uma barragem instalada nas proximidades, que pode ter alterado o regime de circulação hídrica local (Rodrigues *et al.* 2012). Segundo os autores da descrição, não se pode desconsiderar a hipótese de que esta espécie tenha sido extinta antes mesmo de ter sido descrita. O terceiro exemplo compreende a potencial extinção de uma espécie troglóbia de “tatuzinho-de jardim” pertencente ao gênero *Spelunconiscus*, no município de Matozinhos (Ferreira *et al.* 2020). Um inventário faunístico realizado em 2002 revelou a presença desta espécie em uma caverna localizada nas imediações do depósito de lixo municipal do município de Matozinhos. À ocasião, foi elaborado um relatório técnico, que indicava o forte potencial de contaminação do aquífero no interior da caverna, o que teria consequências irreversíveis para a fauna (especialmente para o isópode troglóbico que habitava o pequeno riacho na caverna). Este relatório também indicou a necessidade de monitorar essa população em função desse potencial impacto. Infelizmente nenhuma atitude foi tomada pelos órgãos ambientais. Em 2005, durante uma nova visita à mesma caverna, foi observada a presença de um denso biofilme cobrindo todo o fundo de drenagem, bem como fragmentos enegrecidos aparentemente provenientes da contaminação pelo depósito de lixo. Nenhum espécime de *Spelunconiscus* foi encontrado. É importante destacar que em 2002 foram avistadas dezenas de indivíduos ao longo do trecho acessível da drenagem. Até o presente momento, não há mais informações sobre indivíduos dessa espécie, e é possível que a mesma (endêmica e provavelmente nova para a ciência), tenha sido extinta antes mesmo de ser descrita (Ferreira *et al.* 2020).

Tais exemplos demonstram claramente os riscos reais de perda de espécies em decorrência de diferentes impactos sobre cavernas. Destaca-se que extinções como estas podem vir a ocorrer no futuro com muitas das espécies desconhecidas no país, caso cavidades de máxima relevância passem a ser alvo de impactos irreversíveis.

O terceiro argumento aqui considerado consiste em reflexões sobre perdas irreparáveis de comunidades biológicas (não somente de espécies isoladas) caso seja autorizada a supressão de cavernas de máxima relevância. Como exemplo, pode-se citar a Gruta do Éden, localizada no município de Pains (Minas Gerais). Tal caverna é absolutamente singular dentro de uma região de extrema importância no país, considerada a maior concentração de cavernas conhecidas para a América do Sul. A gruta do Éden possui uma grande quantidade de espécies troglóbias (14 espécies) além de apresentar uma comunidade de composição completamente diferenciada quando comparada a outras cavernas (mais de 2000) existentes da mesma província (Ferreira, 2019). Esta caverna foi alvo de impactos provenientes de mineração no passado (parte de algumas galerias superiores foi destruída por esta atividade) e sua eventual supressão representaria uma perda irreparável, pois não existe nenhuma outra caverna no mundo que poderia compensar seus atributos. Como esta caverna, existem centenas de outras, cujos atributos são insubstituíveis.

Por fim, ainda dentro desta linha de argumentação, um trabalho em fase de finalização traz dados que claramente suportam a existência de identidade biogeográfica em comunidades subterrâneas terrestres (Rabelo & Ferreira, in prep. – Anexo III). A partir de

modelos considerando características climáticas, da paisagem e similaridade faunística entre comunidades de 249 cavernas localizadas no estado de Minas Gerais (avaliando a distribuição de 3469 espécies de artrópodes), foi possível delimitar 23 regiões com identidades biogeográficas distintas. Os fatores determinantes da identidade biogeográfica das comunidades cavernícolas, considerando todas as espécies, demonstram que essas comunidades respondem às barreiras geográficas já conhecidas para as espécies dos ecossistemas epígeos. No entanto, ao considerar apenas as espécies troglóbias com maior confiabilidade de distribuição, obteve-se que, diferente da tendência das comunidades como um todo, a distribuição das espécies troglóbias responde a características do clima e potencial conectividade subsuperficial. A combinação de fatores que determinaram cada unidade biogeográfica obtida foi variável, demonstrando que a importância dos atributos da paisagem e do clima são distintos para cada unidade.

Na prática, esta nova concepção de como as comunidades subterrâneas se estruturam no espaço tem implicações diretas para a conservação destes ecossistemas. Na atualidade, aceita-se a compensação de uma dada caverna considerada de alta relevância por outras, com atributos semelhantes. O que muitas vezes ocorre, na prática, é que cavernas de uma dada área, ao serem destruídas, são compensadas por cavernas existentes em outras regiões, mantendo-se a litologia e, eventualmente, o mesmo grupo geológico das cavernas suprimidas. No entanto, os modelos gerados por Rabelo & Ferreira (in prep.) indicam a existência de identidades diferenciadas mesmo dentro de uma mesma unidade geológica. Como exemplo, na figura mostrada no anexo III (A), percebe-se a existência de 10 regiões de identidades distintas dentro da formação Bambuí, somente no estado de Minas Gerais. A supressão de uma dada caverna em uma destas unidades jamais deveria ser compensada com cavernas de outra unidade (mesmo dentro da mesma formação geológica), pois a fauna é significativamente distinta. Somando-se a este cenário a possibilidade de supressão de cavernas de máxima relevância (que em geral congregam boa parte das espécies troglóbias de uma dada área) as perdas seriam incalculáveis.

Considerando todos os argumentos anteriormente citados, torna-se nítida a impossibilidade de supressão de cavernas de máxima relevância. Os danos reais e potenciais decorrentes destas supressões consistiriam em perdas irreparáveis para a biodiversidade subterrânea não somente brasileira, mas mundial, dadas as singularidades da fauna subterrânea neotropical, especialmente representada pela fauna brasileira, país que congrega boa parte das áreas com ocorrências de cavernas no continente sul-americano.

## **GEOLOGIA DAS CAVERNAS**

Os estudos geológicos nas cavernas brasileiras têm revelado dados surpreendentes nas últimas duas décadas, alçando destaque para a geoespeleologia no cenário nacional e internacional (Laureano *et al.* 2016; Araújo e Piló, 2017; Haddad-Martim, *et al.* 2017; Calux *et al.* 2019; Auler e Pessoa, 2020). A legislação vem sendo aperfeiçoada no sentido de garantir a conservação e a proteção dos componentes físicos de expressiva relevância

das cavernas, abrangendo aspectos hidrogeológicos, espeleogenéticos, morfológicos e sedimentares.

De acordo com a UNESCO, as águas subterrâneas que circulam pelas cavernas cársticas representam a mais significativa e segura fonte de água potável do planeta (Aureli, 2010). Estima-se que os aquíferos cársticos abasteçam cerca de 25% da água potável do mundo (Ford e Williams, 2007). Esse percentual certamente aumentará no futuro próximo, devido à poluição de fontes de águas superficiais (Forti, 2015). Várias cidades brasileiras são abastecidas com águas cársticas, incluindo Sete Lagoas, Confins, Matozinhos, em Minas Gerais, Irecê, na Bahia, e parte da região metropolitana de Curitiba, no Paraná, dentre outras. É fundamental o aprofundamento no gerenciamento da qualidade e quantidade das águas subterrâneas, que é a pedra fundamental do gerenciamento eficaz. Políticas de proteção/gerenciamento das águas cársticas devem ser incentivadas e difundidas, principalmente pelos órgãos competentes. A possibilidade de impactos em cavernas de máxima relevância poderá comprometer importantes sistemas hidrogeológicos em várias regiões do país.

Com relação à espeleogênese, Parker *et al.* (2013, 2017) investigaram a surpreendente participação de comunidades microbianas na gênese das cavernas de minério de ferro. Foi identificada intensa atividade microbiana com atribuições na redução e na oxidação do ferro. Esse tipo de espeleogênese é rara, sendo as cavernas feríferas merecedoras de conservação de amostras significativas. Ainda neste campo, diversos estudos tem destacado sobre a existência de feições espeleogenéticas raras, a exemplo dos trabalhos de Bento *et al.* (2011), Rosada, Meyer e Lucon (2013), Scherer *et al.* (2017), Auler *et al.* (2017) e Pontes (2020). Em alguns casos, feições geológicas de gênese associada à processos de intemperismo químico (a exemplo de dutos e cúpulas de dissolução) tornam-se de maior valor quando associadas à rochas não carbonáticas, constituídas por materiais de menor solubilidade, como quartzitos, minérios de ferro, quartzarenitos.

Destaca-se ainda, na região de Carajás (PA), a presença das *bat caves*. A decomposição do guano por microrganismos, ao que tudo indica, gera soluções aquosas extremamente ácidas, propiciando formas de corrosão e, conseqüentemente, de ampliação das cavernas, processos nunca antes observados no Brasil (Scherer *et al.* 2017; Piló *et al.* 2018). Essas *bat caves* são raras e ecologicamente ímpares.

Paleotocas também têm sido identificadas na região do Quadrilátero Ferrífero (MG) e Carajás (MG), testemunhando processos de bioerosão na formação de cavernas ferruginosas, ressaltando marcas de garras nas paredes e tetos. Essas cavidades, de forma surpreendente, foram geradas e utilizadas por megamamíferos (particularmente tatus e preguicas-gigante) extintos, que habitavam as paisagens brasileiras durante o Quaternário (Carmo *et al.* 2011; Ruchkys *et al.* 2014;). Paleotocas em rochas ferruginosas são raras no Brasil, sendo atualmente classificadas como de máxima relevância.

Estudos efetuados por Ribeiro (2015), após cinco anos do início da aplicação da legislação vigente, indicaram que 4% das cavernas de minério de ferro e canga já tinha supressão autorizada pelos órgãos ambientais, configurando um cenário de certa preocupação quanto à conservação. A possibilidade de supressão dessas cavernas, como proposto pela Minuta de Decreto do MME, poderá comprometer interações físicas, químicas e biológicas únicas e ainda pouco conhecidas. As perdas serão imensuráveis e ocorrerão imediatamente após uma eventual liberação de impactos nessas cavernas.

No Brasil, estudos em cavernas de minério de ferro no Quadrilátero Ferrífero (MG) e, principalmente, em Carajás (PA), estão revelando uma grande diversidade morfológica e mineralógica de espeleotemas, principalmente de fosfatos e sulfatos (Maurity e Kotschoubey, 1995; Piló *et al.* 2015; Albuquerque *et al.* 2017; Figueira, 2018), além de minerais raros com a Francoanellita e a Newberyita (Scherer *et al.*, 2017). Nas *bat caves* foram registrados estalactites, estalagmites e coraloídes de minerais de fosfatos originados da decomposição do guano, revelando processo biogênicos surpreendentes (Scherer *et al.* 2017; Piló *et al.* 2018). Essas cavernas não apresentam similaridades com outras cavernas do mundo, ou seja, não podem ser compensadas por atributos similares, como prevê a Minuta do MME, pois são únicas.

Cavernas hipogênicas também estão sendo reveladas no Brasil. Os exemplos mais conhecidos compreendem a grande caverna labiríntica da Toca da Boa Vista, na Bahia, com mais de 100 km de desenvolvimento, e as cavernas da região de Vazante, em Minas Gerais (Auler e Smart, 2003; Auler e Souza, 2017). Nessas cavernas, com poucas ocorrências no mundo, o agente ativo na dissolução é gerado na subsuperfície, principalmente pelo ácido carbônico ou sulfúrico (Klimchouk, 2016; Balsamo *et al.* 2020).

## **CONSERVAÇÃO DA GEODIVERSIDADE**

Em relação à geodiversidade das cavidades subterrâneas, o patrimônio espeleológico brasileiro apresenta uma posição de destaque. O fato do deste patrimônio nacional se desenvolver em diferentes tipos de rochas (de constituição carbonática, ferrífera, quartzítica, siliciclástica sedimentar, granítica, basáltica, gnáissica, migmatítica etc) é fator que influencia diretamente a variedade dos elementos abióticos presentes nestes ambientes. Conforme apontam Massuqueto *et al.* (2019), as singularidades de cada cavidade natural subterrânea, desenvolvidas em diferentes litotipos, mostram que estas constituem ambientes únicos e particulares. Assim, além de cada caverna ser considerada única por si só, devido à variedade de rochas passíveis para o desenvolvimento de cavidades no Brasil, esta unicidade torna-se acentuada.

O trabalho de Massuqueto *et al.* (*op. cit.*) evidenciam uma lista de 30 feições da geodiversidade passíveis de serem identificadas nas cavidades naturais subterrâneas



brasileiras, incluindo espeleotemas, espeleogens, depósitos clásticos e estruturas geológicas. Este valor é uma aproximação constatada pelos autores a partir de consulta com a comunidade científica especializada no tema. Contudo, é provável que a diversidade de feições geológicas das cavernas brasileiras seja maior do que foi apresentado no referido trabalho.

É importante salientar que cavernas em todo o mundo tem registrado ocorrência de depósitos minerais secundários, espeleotemas, constituídos por novos minerais. Mais de 300 minerais secundários foram identificados e descritos em ambientes subterrâneos, conforme destacam Hill e Forti (1997), Onac e Forti (2011) e Sauro *et al.* (2014). No Brasil, esta realidade não é diferente, a diversidade de composição mineralógica de espeleotemas tem adquirido um status de destaque, com casos de identificação de novos minerais e de ocorrências raras (Simmons, 1963 e 1964; Forti, Galli e Rossi, 2000; Scherer, 2017; Pontes, 2020). A ocorrência de cavernas em diferentes tipos de rochas, com distintas constituições minerais, é um dos fatores que acentua o potencial para descobertas de novos minerais em cavidades subterrâneas brasileiras.

Além disso, estudos realizados em cavernas no Brasil apontam para a ação biológica na gênese de espeleotemas, a partir da identificação de bioassinaturas e substâncias poliméricas extracelulares (biofilmes) associadas a estes depósitos, com evidências de organomineralização (mineralização biologicamente induzida) (Piló e Auler, 2005; Auler *et al.*, 2011; Neves *et al.*, 2017; Pontes, 2020). Estes espeleotemas formados pela influência microbiológica, chamados de microbialitos, podem apresentar abundante diversidade e quantidade de materiais biológicos, eventualmente fósseis, capazes de preservar registros paleoecológicos e paleoambientais de enorme valor científico. Paralelamente, a diversidade microbiológica presente nestes espeleotemas evidenciam a riqueza de micro-organismos em cavernas e o potencial para estudos diversos, outro fator que deve ser avaliado na classificação da relevância das cavernas.

O Decreto nº 6.640/2008 garante a classificação como de máxima relevância das cavernas que apresentem espeleotemas únicos, não apenas em sua forma e tamanho, mas também em relação à sua composição mineral e gênese. Assim, a legislação em vigor busca garantir, na medida do possível, a efetiva proteção da diversidade dos depósitos minerais secundários, sobretudo os casos raros.

Além dos espeleotemas, as cavernas apresentam inúmeras feições geológicas formadas a partir do processo de intemperismo e erosão, tais como os dutos, alvéolos, canais de teto e parede, scallops, cúpulas, domos, pendentes, entre outros. Tais formas constituem importantes registros espeleogenéticos, são marcas impressas nas rochas que auxiliam na interpretação e entendimento dos processos de formação e evolução de ambientes e sistemas subterrâneos e formas de relevo superficiais. Com base na legislação espeleológica em vigor, as cavidades subterrâneas com gênese única ou rara

ou morfologia única também são classificadas como de máxima relevância, conferindo proteção aos quesitos relacionados às feições geológicas espeleogenéticas.

Os depósitos clásticos, sedimentos detríticos de cavernas provenientes do abatimento de tetos e galerias e injeções de sedimentos fluviais através de sumidouros ou pela retro inundação de rios adjacentes (Laureano e Karmann, 2013), e estruturas geológicas (aspectos estratigráficos, contatos, icnofósseis e fósseis, estruturas tectônicas) também integram a geodiversidade subterrânea e constituem feições que agregam valor à relevância espeleológica. Muitas estruturas geológicas são facilmente identificadas em cavidades, constituindo excelentes exposições, que em alguns casos, são raras de serem encontradas em afloramentos em superfície. Assim, cavidades naturais subterrâneas também podem integrar o patrimônio geológico (Brilha, 2005), constituindo sítios de elevado interesse geológico.

Qualquer alteração na legislação espeleológica, que venha a permitir a supressão total de cavernas de máxima relevância no território nacional, pode proporcionar a perda de materiais geológicos de alta raridade e até mesmo, em algumas situações, considerados únicos. Colocar em risco a geodiversidade de cavidades naturais subterrâneas possibilita a perda de materiais pouco conhecidos, como também situações em que ainda não foram catalogadas e estudadas cientificamente.

### **AS CAVERNAS E OS CLIMAS DO PASSADO**

As cavernas guardam registros paleoambientais de grande importância, principalmente aqueles obtidos por meio dos espeleotemas. Datações que cobrem um período de poucos milhares de anos até 600 mil anos têm colocado as estalagmites das cavernas brasileiras como verdadeiros arquivos paleoclimáticos, diante dos registros das razões isotópicas de oxigênio e carbono. Vários artigos vêm sendo publicados nas revistas mais conceituadas do mundo, dentre as quais Nature, PNAS, GSA, dentre outras.

Preciosas revelações paleoclimáticas estão sendo feitas em diversas regiões do Brasil, incluindo o registro do início do clima semiárido no Nordeste do país e alternância sazonal de períodos mais úmidos e menos úmidos no leste da Amazônia, nos últimos 20 mil anos, além de outras descobertas (Auler *et al.* 2004; Cruz Junior *et al.* 2009; Wang *et al.*, 2017; Stríkis *et al.* 2018; Utida *et al.* 2019).

A liberação de impactos irreversíveis em cavernas de máxima relevância colocará em risco novas descobertas sobre o comportamento do clima do passado. Esses estudos estão colaborando decisivamente para o refinamento de modelos de simulação climática, que certamente fornecerão previsões mais confiáveis das mudanças climática futuras.

## ARQUEOLOGIA E PALEONTOLOGIA NAS CAVERNAS BRASILEIRAS

A liberação de impactos irreversíveis nas cavernas de máxima relevância poderá trazer perdas de grande magnitude para a arqueologia brasileira. A relação entre arqueologia e as cavernas é evidente, tendo em vista que este meio é favorável à conservação de vestígios arqueológicos. São inúmeras as entradas de cavernas que registram usos diferenciados como abrigo, moradia, palco de rituais, cemitério e suporte para a arte rupestre, destacando-se as regiões de Lagoa Santa, em Minas Gerais, São Raimundo Nonato, no Piauí, Médio São Francisco, Monte Alegre e Serra dos Carajás, no Pará, dentre outras áreas (Kipnis *et al.* 2005; Araújo *et al.* 2012; Baeta e Prous, 2016; Strauss *et al.* 2016).

Salienta-se, ainda, que a contemporaneidade do homem pré-histórico com a megamastofauna foi aventada nas cavernas de Lagoa Santa (MG), inicialmente, por Peter Lund, em 1844. Importantes datações mais recentes revelaram que as idades dos mais antigos vestígios humanos e as datações obtidas para a megafauna da região confirmam a coexistência do homem com, pelo menos, duas espécies da megamastofauna (Neves e Piló, 2003; Hubbe *et al.*, 2009, 2013; Araújo *et al.*, 2012, Raczka *et al.* 2017).

De ampla divulgação na mídia, podemos destacar ainda o crânio icônico de “Luzia” (atingido pelo incêndio do Museu Nacional em 2018), de inestimável valor científico e cultural, por se tratar do mais antigo fóssil humano já encontrado no Brasil e nas Américas (Prous e Fogaça, 1999; Neves *et al.*, 2007). Crânios antigos recentemente exumados em caverna da região de Lagoa Santa (MG) estão reescrevendo a história dos primeiros habitantes das Américas com a ajuda do DNA, trazendo dados novos sobre populações ancestrais, expansão dos grupos pelas américas e desaparecimento de linhagens antigas (Moreno-Mayar *et al.*, 2018; Posth *et al.*, 2018). Os artefatos e os esqueletos que estão sendo descobertos nas cavernas brasileiras são peças-chave da história do homem na América. Perdas arqueológicas poderão ser irremediáveis.

Desde o trabalho pioneiro do naturalista dinamarquês Peter Wilhelm Lund na região de Lagoa Santa (MG), na primeira metade do século XIX, as cavernas têm fornecido importantes registros fossilíferos, os quais tem formado a base das pesquisas sobre a paleontologia de vertebrados do Pleistoceno brasileiro. Cavernas com depósitos fossilíferos ocorrem em diversas regiões brasileiras, dentre as quais Lagoa Santa (MG), São Raimundo Nonato (PI), sertão e região central da Bahia, região do Alto Ribeira (SP), e na região de Bonito (MS). Nesses sítios jazem ossadas de animais como preguica-gigante, mastodonte, gliptodonte, tigre dente-de-sabre, tatu-gigante e paleolhama. Esses documentos paleobiológicos revelam-se fundamentais para o conhecimento taxonômico, anatômico e paleoecológico dos mamíferos do Brasil (Cartelle, 2012; Auler *et al.* 2006; Hubbe *et al.* 2013).

## ASPECTOS DIMENSIONAIS DAS CAVERNAS

A norma vigente, a saber, a Instrução Normativa MMA 02/2017, estabelece que uma caverna com dimensões notáveis é aquela que apresenta desenvolvimento horizontal, área ou volume, superior à oito vezes a mediana de pelo menos um desses atributos, em escala local ou regional.

A minuta elaborada pelo MME estabelece que cavernas de máxima relevância poderão ser suprimidas desde que uma outra caverna, portadora do mesmo atributo que a classificou como tal, seja integralmente conservada. Embora este critério seja aparentemente parcimonioso, um rápido exercício mental nos permite concluir que seus efeitos, na verdade, podem ser deletérios. Tomemos por exemplo o caso da *Toca da Boa Vista*, a maior caverna do Brasil. Ela possui mais de 100 quilômetros de desenvolvimento, e, com a regra definida na IN MMA 02/2017 (a das oito medianas), cavernas muito menores, provavelmente com poucas centenas de metros de desenvolvimento, poderiam ser oferecidas para compensação desta que é senão a mais, uma das mais importantes cavernas brasileiras.

Vamos partir para um exemplo mais concreto. Consideremos o Estado de Minas Gerais como uma Unidade Espeleológica. Em uma amostra de 1400 cavernas carbonáticas cadastradas em todo o território mineiro (CNC, 2019), as “linhas de corte” para o enquadramento de uma caverna como de máxima relevância por dimensão notável, considerando apenas o seu desenvolvimento horizontal, seria de apenas 328 metros. Ou seja, cavernas como a *Lapa Sem Fim*, com mais de uma dezena de quilômetros de desenvolvimento, ou a *Olhos D’água*, com mais de nove quilômetros, poderiam ser compensadas com cavernas infinitamente menores e menos importantes.

Seguindo a mesma lógica, no caso das cavernas ferríferas, em uma amostra com mais de 2000 cavernas cadastradas na região da Província Espeleológica da Serra dos Carajás, as linhas de corte seriam: 135,7 metros de desenvolvimento, 339 m<sup>2</sup> de área e 432 m<sup>3</sup> de volume. Neste caso, uma caverna como a *Labirinto de Máfica* (também conhecida como *S11-007*), a maior cavidade em rochas ferruginosas do mundo, com mais de 1500 metros de desenvolvimento, quase 4000 m<sup>2</sup> de área e mais de 3000 m<sup>3</sup> de volume, poderia ser suprimida em troca de outra menos notável.

Cabe destacar ainda que, além do aspecto puramente geométrico, o tamanho de uma caverna é importante devido a relação entre biodiversidade e dimensão. De fato, inúmeros são os trabalhos atestam a relação diretamente proporcional destes dois atributos, dos quais destacamos Souza-Silva *et al.* (2011), que demonstraram que não só existe correlação entre o tamanho das cavernas e riqueza total de espécies, mas também que a mesma deve ser entendida dentro de cada grupo litológico devido a distinta estruturação das comunidades em cada litotipo; Simões *et al.* (2015), que demonstraram correlação entre o desenvolvimento linear e a riqueza total de espécies em um conjunto

de cavernas carbonáticas distribuídas em uma extensa área do cerrado mineiro; e Jaffe *et al.* (2016) que, utilizando uma amostra de 844 cavernas ferríferas localizadas na Província Espeleológica da Serra de Carajás, demonstraram que as maiores cavernas constituem importantes reservatórios de biodiversidade, devendo ser alvo de conservação.

### **USO TURÍSTICO DE CAVERNAS DE MÁXIMA RELEVÂNCIA**

Atualmente, no Brasil, inúmeras cavernas de máxima relevância são exploradas turisticamente, possibilitando o uso público deste inestimável patrimônio ambiental e cultural, por centenas de milhares de visitantes, anualmente. Muitas destas cavernas encontram-se dentro de unidades de conservação de proteção integral, em sua maioria de âmbito federal e estadual, mas diversas cavernas turísticas de máxima relevância encontram-se fora destas áreas protegidas. É extremamente preocupante que principalmente estas cavernas, com um menor nível de proteção efetiva, possam ser afetadas por impactos negativos devido a uma eventual alteração na legislação atual. Isto poderá impactar negativamente esta importante atividade econômica e educativa, afetando a vida de milhares de brasileiros.

Alguns exemplos de cavernas de máxima relevância com uso turístico estabelecido, ou ainda incipiente, que estão fora de unidades de conservação integral, e que podem sofrer severamente com a mudança da legislação: Toca da Boa Vista, Toca da Barriguda (respectivamente primeira e segunda mais extensa do Brasil) e Lapa do Convento, em Campo Formoso/BA; Gruta do Padre, em Santana/BA; Gruta Buraco do Inferno da Lago do Cemitério e Gruta do Catão, em São Desidério/BA; Gruta da Mangabeira, em Ituaçu/BA; Gruta de Brejões, em Morro do Chapéu/BA; Gruta da Lapinha, em Ibiquera/BA; Gruta do Santuário do Bom Jesus, em Bom Jesus da Lapa/BA; Lapa Doce, Torrinhã Gruta Manoel Ioiô, Gruta Pratinha e Gruta Azul, em Iraquara/BA; Gruta do Salitre, em Diamantina/MG; Gruta de Nossa Senhora da Lapa, em Antônio Pereira/Ouro Preto/MG; Lapa Velha e Lapa Nova, em Vazante/MG; Gruta do Sapezal, em Paracatu/MG; Abismo Anhumas, em Bonito/MS e muitas outras.



## REFERÊNCIAS

- Albuquerque, A.R.L.; Gonçalves, D.F.; Paz, S.P.A.; Angélica, R.S. 2017. Contribuição do guano de morcegos na formação de espeleotemas fosfáticos em cavernas ferríferas de Carajás. In: Congresso Brasileiro de Espeleologia, 31º, Ponta Grossa-PR. *Anais...* Sociedade Brasileira de Espeleologia, julho de 2017. p. 301-311.
- Araújo, A. G. M.; Neves, W. A.; Kipnis, R. 2012. Lagoa Santa revisited: an overview of the chronology, subsistence, and material culture of paleoindian sites. In: Eastern Central Brazil. *Latin American Antiquity*, 23:533-550.
- Araújo, A. G. M.; Piló, L. B. 2017. Towards the Development of a Tropical Geoarchaeology: Lagoa Santa as an Emblematic Case Study. In: P. Da-Glória, Walter Neves, Mark Hubbe. (Org.). *Archaeological and Paleontological Research in Lagoa Santa*. 1ed. Switzerland: Springer International Publishing, V. 1, p. 373-391.
- Auler, A. S. et al. 2006. U-series dating and taphonomy of Quaternary vertebrates from Brazilian caves. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. Journal* 240:508-522.
- Auler, A. S. et al., 2011. Espeleologia N4/N5/PESE/PESL: Diagnóstico Geoespeleológico, Biológico e Análise de Relevância. Belo Horizonte, CARSTE-VALE, p. 47-119.
- Auler, A. S.; Klimchouk, A.; Bezerra, F. H. R.; Cazarin, C. L.; Ennes-Silva, R.; Balsamo, F.; 2017. Origin and Evolution of Toca da Boa Vista and Toca da Barriguda Cave System in North-eastern Brazil. In: Klimchouk A., N. Palmer A., De Waele J., S. Auler A., Audra P. (eds) *Hypogene Karst Regions and Caves of the World. Cave and Karst Systems of the World*. Springer, Cham. pp 827-840
- Auler, A. S.; Smart. P. L. 2003. The influence of bedrock-derived acidity in the development of surface and underground karst: evidence from the Precambrian carbonates of semi-arid northeastern Brazil. *Earth Surface Processes and Landforms* (Online), V. 28, p. 157-168.
- Auler, A. S.; Wang, X.; Edwards, R. L.; Cheng, H.; Cristalli, P. S. ; Smart, P.L. ; Richards, D. A. 2004. Quaternary ecological and geomorphic changes associated with rainfall events in presently semi-arid northeastern Brazil. *Journal of Quaternary Science*, v. 19, p. 693-701.
- Auler, A. S.; Souza, T. A. R. 2017. Hypogene Speleogenesis in the Vazante Group, Minas Gerais, Brazil. In: Alexander Klimchouk; Arthur N. Palmer; Jo De Waele, Augusto S. Auler; Philippe Audra. (Org.). *Cave and Karst Systems of the World*. 1 ed: Springer International Publishing, p. 841-852.
- Auler, A. S.; Pessoa, P. F. P. 2020. *Lagoa Santa Karst: Brazil's Iconic Karst Region*. 1. ed. Springer. V. 1. 330p.
- Aureli, A. 2010. The UNESCO IHP's Shared Aquifer Resources Management Global Project. *AQUAmundi*, 1, 1-6.
- Baeta, A. M.; Prous, A. 2016. História dos Estudos sobre os Registros Rupestres Pré-históricos no Carste de Lagoa Santa. In: Da Glória, P.; Neves, W. A.; Hubbe, M. (Org.). *Lagoa Santa- Histórico das Pesquisas Arqueológicas e Paleontológicas*. 1 ed. São Paulo: AnnaBlume, V. 1, p. 347-374.

Balsamo, F.; Bezzera, F.H.R.; Klimchouk, A.B.; Cazarin, C.L.; Auler, A.S.; Nogueira, F.C.; Pontes, C. 2020. Influence of fracture stratigraphy on hypogene cave development and fluid flow anisotropy in layered carbonates, NE Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, V. 114, p. 104207.

Bento, D. M. (2011). Diversidade de invertebrados em cavernas calcárias do oeste potiguar: subsídios para a determinação de áreas prioritárias para conservação. 162 p. (Mestrado em Ciências Biológicas) Universidade Federal do Rio Grande do Norte).

Bento, D. M.; Cruz, J. B.; Ferreira, R. L.; Veríssimo, C. U.; Neto, P. X., 2011. Mapeamento, caracterização ambiental e relevância do patrimônio espeleológico de Felipe Guerra/RN. In.: Anais do 31º Congresso Brasileiro de Espeleologia Ponta Grossa-PR, 21-24 de julho de 2011 – Sociedade Brasileira de Espeleologia. Disponível em: [http://cavernas.org.br/anais31cbe/31cbe\\_485-499.pdf](http://cavernas.org.br/anais31cbe/31cbe_485-499.pdf). Acesso em: 03 de abril de 2020.

Brilha J. 2005. Patrimônio Geológico e Geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica. Lisboa: Palimage.

Cadastro Nacional de Cavernas - CNC. Banco de Dados da Sociedade Brasileira de Espeleologia. Disponível em <[www.cavernas.org.br](http://www.cavernas.org.br)>. Consultado em 10 abril 2020.

Calux, A.; Cassimiro, R.; Salgado, A. 2019. Caves in iron formations in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, southeastern Brazil: lithological, morphological and hydrological settings and speleogenesis. *Zeitschrift für Geomorphologie*, v. 62, p. 125-144.

Carmo, F. F.; Buchmann, F. S. C.; Frannk, H. T.; Jacobi, C. M. 2011. Primeiros registros de paleotocas desenvolvidas em formações ferríferas, Minas Gerais, Brasil. In: Congresso Brasileiro de Espeleologia, 31º, Ponta Grossa-PR. *Anais...* Sociedade Brasileira de Espeleologia, julho de 2011. p. 531-540.

Cartelle, C. Das grutas à luz. 2012. Os mamíferos pleistocênicos de Minas Gerais. Belo Horizonte: Bicho do Mato Editora, 236 p.

Cruz Junior, F. W. Vuille, M.; Burns, S.J.; Wang, X.; Change, H.; Werner, M.; R. Lawrence Edwards; Karmann, I; Auler, A.S.; Nguyen, H. 2009. Orbitally driven east-west anti-phasing of South American precipitation. *Nature Geoscience*, v. 2, p. 210-214.

Culver DC, Pipan T, Gottstein S (2006) Hypothelminorheic - a unique freshwater habitat. *Subterranean Biology* 4: 1–7.

Ferreira, R. L (2010). Biologia subterrânea: conceitos gerais e aplicação na interpretação e análise de estudos de impacto ambiental. In Cruz, J. B., & Piló, L. B. Espeleologia e Licenciamento Ambiental. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade.

Ferreira, R. L., de Oliveira, M. P. A., & Souza-Silva, M. (2020). Biospeleology of the Lagoa Santa Karst. In Lagoa Santa Karst: Brazil's Iconic Karst Region (pp. 187-208). Springer, Cham.

Figueira, R.L. 2018. *Sulfatos e fosfatos em cavernas da Amazônia Oriental, Brasil*. Universidade de Brasília. Instituto de Geociências. Dissertação de Mestrado N. 480. 57p.

Ford; D.; Williams, P. 2007. *Karst hydrogeology and geomorphology*. London: Unwin Hyman.

Forti, P. 2015. The scientific and socio-economic importance of karst and caves and their vulnerability. *Brief for GSDR*.

- Forti, P.; Galli, E.; Rossi, A. 2000. New rare cave minerals from the Perolas-Santana karst system (São Paulo State, Brazil). *International Journal of Speleology*, 29: 127-150.
- Haddad-Martim, P.M. Hubbe, A.; Giannini, P.C.F.; Auler, A.S.; Piló, L.B.; Hubbe, M.; Mayer, E.; Wang, X.; Cheng, H.; Edwards, L.; Neves, W. 2017. Quaternary depositional facies in cave entrances and their relation to landscape evolution: The example of Cuvieri Cave, eastern Brazil. 2017. *Catena*, 157, 372–387.
- Hill, C. A.; Forti, P. 1997. *Cave Minerals of the World*. National Speleological Society, Huntsville.
- Hoch, H., & Ferreira, R. L. (2012). *Ferricixius davidi* gen. n., sp. n.—the first cavernicolous planthopper from Brazil (Hemiptera, Fulgoromorpha, Cixiidae). *Deutsche Entomologische Zeitschrift*, 59(2), 201-206.
- Hubbe, A.; Hubbe, M.; Neves, W.A., 2009. New Late-Pleistocene dates for the extinct megafauna of Lagoa Santa, Brazil. *Current Research in the Pleistocene* 26, 154–156.
- Hubbe, A.; Hubbe, M.; Neves, W.A. 2013. The Brazilian megamastofauna of the Pleistocene/Holocene transition and its relationship with the early human settlement of the continent. *Earth-Science Reviews* 118, 1–10.
- Iniesta, L. F. (2016). Prioridades de conservação para cavernas ao Sul de Minas Gerais. 87 190 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil.
- Jaffé R, Prous X, Zampaulo R, Giannini TC, Imperatriz-Fonseca VL, Maurity C, *et al.* (2016). Reconciling mining with the conservation of cave biodiversity: a quantitative baseline to help establish conservation priorities. *PloS one*, 11(12).
- Juan C, Guzik MT, Jaume D, Cooper SJ. 2010. Evolution in caves: Darwin’s “wrecks of ancient life” in the molecular era. *Molecular Ecology* 19: 3865–3880.
- Kipnis, R.; Caldarelli, S. B.; Oliveira, W. C. 02005. Contribuição para a cronologia da colonização amazônica e suas implicações teóricas. *Revista de Arqueologia*, 18: 81-93.
- Klimchouk *et al.* 2016. Hypogenic origin, geologic controls and functional organization of a giant cave system in Precambrian carbonates, Brazil. *Geomorphology*, V. 253, p. 385-405.
- Laureano, F. V.; Karmann, I. 2013. Sedimentos clásticos em sistemas de cavernas e suas contribuições em estudos geomorfológicos: uma revisão. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 14(1): 23-33p.
- Laureano, F.V.; Karmann, I.; Granger, D.E.; Auler, A.S.; Almeida, R. P.; Cruz, F.W.; Stricks. N.M.; Novello, V.F. 2016. Two million years of river and cave aggradation in NE Brazil: Implications for speleogenesis and landscape evolution. *Geomorphology* 273: 63–77.
- Magnabosco C, Lin LH, Dong H, Bomberg M, Ghiorse W, Stan-Lotter H, Pedersen K, Kieft TL, van Heerden E and Onstott TC. 2018. The biomass and biodiversity of the continental subsurface. *Nature Geoscience* 11: 707.
- Mammola S. 2018. Finding answers in the dark: Caves as models in ecology fifty years after Poulson and White. *Ecography* 41: 1–21.

- Mammola, S., Cardoso, P., Culver, D. C., Deharveng, L., Ferreira, R. L., Fišer, C., ... & Isaia, M. (2019). Scientists' warning on the conservation of subterranean ecosystems. *BioScience*, 69(8), 641-650.
- Massuqueto, L. L.; Pontes, H. S.; Fernandes, L. A. 2019. Feições da geodiversidade subterrânea brasileira em diferentes contextos litológicos e a legislação vigente. In: Zampaulo, R. A. (org.) Congresso Brasileiro de Espeleologia, 35, 2019. Bonito. Anais... Campinas: SBE, 2019. p.368-374. Disponível em: [http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe\\_368-374.pdf](http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe_368-374.pdf). Acesso em: 03 de abril de 2020.
- Maurity, C. W., Kotschoubey, B. 1995. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 – Serra dos Carajás-PA. Degradação, pseudocarstificação, espeleotemas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciência da Terra*, 7:331-362.
- Mora, C., Tittensor, D. P., Adl, S., Simpson, A. G., & Worm, B. (2011). How many species are there on Earth and in the ocean? *PLoS biology*, 9(8).
- Moreno-Mayar *et al.* 2018. Early human dispersals within the Americas. *Science* 10.1126, science. aav2621.
- Neves, S. C.; *et al.* Estudo preliminar sobre as interações geomicrobiológicas em cavidades quartzíticas na Serra do Espinhaço Meridional. In: Rasteiro, M. A.; Teixeira-Silva, C. M.; Lacerda, S. G. (orgs.) Congresso Brasileiro de Espeleologia, 34, 2017. Ouro Preto. Anais... Campinas: SBE, 2017. p.367-373. Disponível em: [http://www.cavernas.org.br/anais34cbe/34cbe\\_367-373.pdf](http://www.cavernas.org.br/anais34cbe/34cbe_367-373.pdf). Acesso em: 06 de abril de 2020.
- Neves, W.A., Piló, L.B., 2003. Solving Lund's dilemma: new AMS dates confirm that humans and megafauna coexisted at Lagoa Santa. *Current Research in the Pleistocene* 20, 57–62.
- Neves, W.A.; Hubbe, M.; Piló, L.B. 2007. Early Holocene human skeletal remains from Sumidouro Cave, Lagoa Santa, Brazil: History of discoveries, geological and chronological context, and comparative cranial morphology. *Journal of Human Evolution*, 52, 16–30.
- Onac, B. P.; Forti, P. 2011. Minerogenetic mechanisms occurring in the cave environment: an overview. *Int. J. Speleol.*, 40: 79–98.
- Parker, C. W.; Auler, A. S.; Senko, J.; Sasowsky, I. D.; Pilo, L.B.; Smith, M.; Johnston, M.; Barton, H. 2013. Microbial iron cycling and biospeleogenesis: cave development in the Carajas Formation, Brazil. *ICS Proceedings*, Prague, p. 442-446.
- Parker, C. W.; Auler, A.S.; Barton, M.D.; Sasowsky, I. D.; Semko, J.M.; Barton, H.A. 2017. Fe (III) Reducing Microorganisms from Iron Ore Caves Demonstrate Fermentative Fe (III) Reduction and Promote Cave Formation. *Geomicrobiology Journal*, V. 35, p. 311-322.
- Piló, L. B.; Auler, A.S., 2005 - Cavernas em minério de ferro e Canga de Capão Xavier, Quadrilátero Ferrífero, MG. *O carste*, Belo Horizonte, 17(3): 228p.
- Piló, L.B.; Auler, A.S.; Martins, F. 2015. Carajás National Forest: Iron Ore Plateaus and Caves in Southeastern Amazon. In: Vieira *et al.* (eds.). *Landscapes and Landforms of Brazil*. Springer. p. 273-283.
- Piló, L.B.; Ribeiro, A.; Cruz, J. ; Mendonça, D. 2018. Espeleologia na Floresta Nacional Carajás? Cenários para Conservação e Mineração. In: Martins, F. F.; Kamino, L. H. Y;

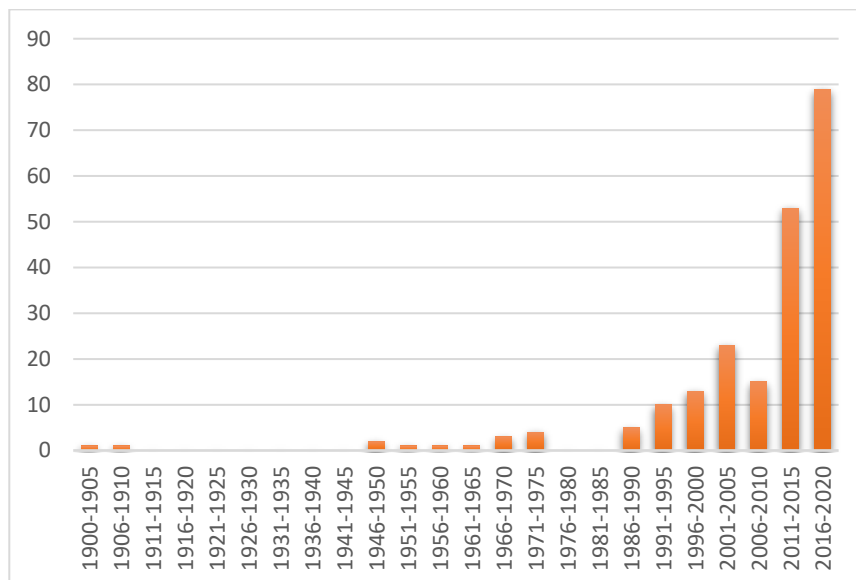
- Ribeiro, K. T. (Org.). *Projeto Cenários - Conservação de Campos Ferruginosos diante da Mineração em Carajás*. Tubarão – SC., V. I, p. 1-467.
- Pontes, H. S. 2020. Patrimônio geológico cárstico em rochas areníticas e políticas públicas de geoconservação, com base em estudo de caso do município de Ponta Grossa (PR). Tese de Doutorado – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-graduação em Geologia, Curitiba. 259 p.
- Posth *et al.*, 2018. Reconstructing the Deep Population History of Central and South America, *Cell* 175: 1–13.
- Prous, A., & Fogaça, E. 1999. Archaeology of the Pleistocene-Holocene boundary in Brazil. *Quaternary International* 53/54, 21–41.
- Rabelo, LM (2016). Ecologia e conservação de cavernas no eixo Centro-norte de Minas Gerais. 130 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil
- Raczka, M.F.; Mark B. Bush, M.B.; De Oliveira, P.E. 2017. The collapse of megafaunal populations in southeastern Brazil. *Quaternary Research* 89, 1–16.
- Ribeiro, A. 2015. Ameaças à conservação do Patrimônio Espeleológico em litologias ferríferas. *Revista Brasileira de Espeleologia*. V.1, n.5. p.24-38.
- Riddle MR, *et al.* 2018. Insulin resistance in cavefish as an adaptation to a nutrient-limited environment. *Nature* 555: 647–651.
- Rodrigues, S., Bueno, A., & Ferreira, R. (2012). The first hypothelminorheic Crustacea (Amphipoda, Dogielinotidae, Hyalella) from South America. *ZooKeys*, 236, 65.
- Rosada, T. R.; Meyer, B. O.; Lucon, T. N. 2013. Valoração da Gruta da Igrejinha, Ouro Preto – MG. Espeleo-tema, vol. 24:1, p. 5-17. Disponível em: [http://www.cavernas.org.br/espeleotema/espeleo-tema\\_v24\\_n1\\_005-017.pdf](http://www.cavernas.org.br/espeleotema/espeleo-tema_v24_n1_005-017.pdf).
- Ruchkys, U.A.; Bittencourt, J.S.; Buchmann, F. 2014. A paleotoca da Serra do Gandarela e seu potencial como geossítio do Geoparque Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Caderno de Geografia*, v.24, n.42, 2014.
- Sauro, F.; Tisato, N.; De Waele, J.; Bernasconi, S. M.; Bontognali, T. R. R.; Galli, E. 2014. Source and genesis of sulphate and phosphate-sulphate minerals in a quartz-sandstone cave environment. *Sedimentology*, 61(5): 1433–1451. <https://doi.org/10.1111/sed.12103>
- Scherer, R. S. 2017. Ocorrência de espeleotemas fosfáticos e feições morfológicas raras em cavernas ferríferas da Serra de Carajás, no Pará. Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais do Instituto Tecnológico Vale (ITV). 112p.
- Scherer, R.; Piló, L. B.; Souza-Filho, P. W. M.; Barata, A. S.; Scherer, B. 2017. Ocorrência de espeleotemas e feições morfológicas raras em cavernas ferríferas da serra dos Carajas, no Pará. In: Congresso Brasileiro de Espeleologia, 34, 2017, Ouro Preto. *Anais...* Ouro Preto: SBE, 2017. p. 409-416.
- Simões, M. H.; Souza-Silva, M.; Ferreira, R.L. 2015. Cave physical attributes influencing the structure of terrestrial invertebrate communities in Neotropics. *Subterranean Biology*, 16, 103.



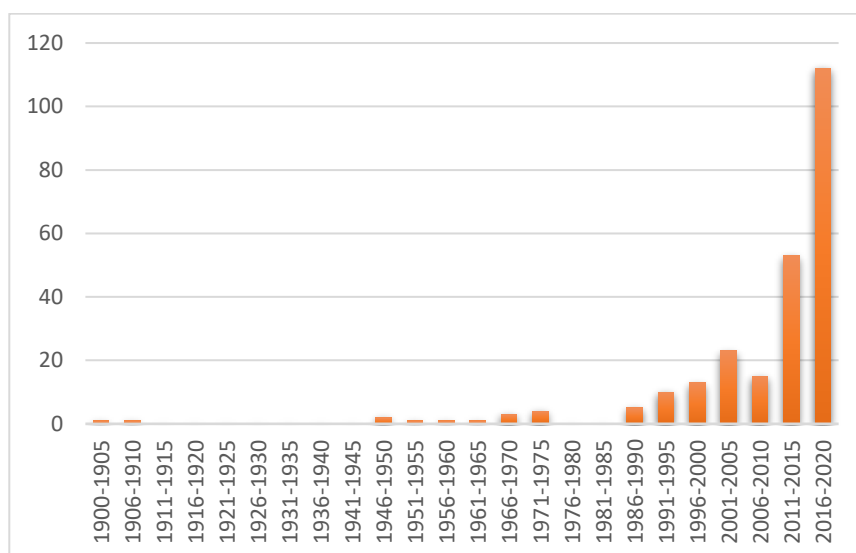
- Simmons, G. C.; 1963. Canga caves in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *The National Speleological Society Bulletin* 25: 66-72.
- Simmons, G. C. 1964. Leucophosphite, a new occurrence in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *The American Mineralogist* 49: 377-386.
- Soares D, Niemiller ML. 2013. Sensory adaptations of fishes to subterranean environments. *BioScience* 63: 274–283.
- Souza, M. F. R. 2012. Diversidade de invertebrados subterrâneos da região de Cordisburgo, Minas Gerais: subsídios para definição de cavernas prioritárias para conservação e para o manejo biológico de cavidades turísticas. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil.
- Souza-Silva, M; Martins, R. P.; Ferreira, R. L. 2011. Cave lithology determining the structure of the invertebrate communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest. *Biodiversity and Conservation*, 8(20):1713–1729.
- Souza-Silva, M; Martins, R. P.; Ferreira, R. L. 2015. Cave Conservation Priority Index to Adopt a Rapid Protection Strategy: A Case Study in Brazilian Atlantic Rain Forest. *Environmental Management* 55:279–295.
- Spoladore, A.; Cottas, L. R. 2007. Ornamentos de cavernas areníticas. In: *Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Espeleologia-Sociedade Brasileira de Espeleologia*, p. 289-295.
- Strauss *et al.* 2016. Early Holocene ritual complexity in South America: the archaeological record of Lapa do Santo (east-central Brazil). *Antiquity* 90 354: 1454–1473.
- Strikis, N. M. *et al.* 2018. South American monsoon response to iceberg discharge in the North Atlantic. *PNAS*. v. 115, n. 15, p. 3788-93. 10 abr. 2018.
- Utida, G. *et al.* 2019. Tropical South Atlantic influence on Northeastern Brazil precipitation and ITCZ displacement during the past 2300 years. *Scientific Reports*, v. 9, p. 1.
- Wang, X.; Edwards R. L.; Auler, A.S. Cheng, H.; Kong, X.; Wang, Y.; Cruz Júnior, F.W.; Dorale, J. Chiang, H. 2017. Hydroclimate changes across the Amazon lowlands over the past 45,000 years. *Nature*. v. 541, n. 7636, p. 204-7.
- Yoshizawa K, Ferreira RL, Kamimura Y, Lienhard C. 2014. Female penis, male vagina, and their correlated evolution in a cave insect. *Current Biology* 24: 1–5.
- Yoshizawa, K., Kamimura, Y., Lienhard, C., Ferreira, R. L., and Blanke, A. 2018a. A biological switching valve evolved in the female of a sexrole reversed cave insect to receive multiple seminal packages. *eLife* 7: e39563.
- Yoshizawa M, Settle A, Hermosura M, Tuttle L, Centraro N, Passow CN, McGaugh SE. 2018b. The evolution of a series of behavioral traits is associated with autism-risk genes in cavefish. *BMC Evolutionary Biology* 18: 89.
- Zagmajster M, Malard F, Eme D, Culver DC. 2018. Subterranean biodiversity patterns from global to regional scales. *Cave Ecology*. Springer.

Zampaulo RA (2010) Diversidade de invertebrados cavernícolas na Província Espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG): subsídios para a determinação de áreas prioritárias para conservação. 190 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

**Anexo I. Gráficos referentes ao número de espécies troglóbias descritas no Brasil ao longo do tempo.**



A) Número de espécies descritas ao longo do tempo (intervalos de 5 anos) em território brasileiro



B) Número de espécies descritas ao longo do tempo (intervalos de 5 anos) em território brasileiro, considerando-se espécies provenientes de manuscritos aceitos e submetidos à publicação.

## **Anexo II. Metodologia utilizada para as estimativas do número potencial de espécies troglóbias no Brasil**

O número potencial de espécies troglóbias existentes no território nacional foi estimado da seguinte forma: inicialmente, 14 áreas com diferentes dimensões geográficas foram examinadas (5 delas contendo cavernas carbonáticas, 6 contendo cavernas ferríferas e 3 contendo cavernas siliciclásticas) (Tabela 1). Todas estas áreas representam regiões onde inventários bioespeleológicos sistematizados foram realizados. Os dados foram retirados de trabalhos científicos, dissertações ou teses e de relatórios de licenciamento ambiental (Zampaulo, 2010; Souza-Silva et al. 2011; Bento, 2011; Souza, 2012, Souza-Silva et al. 2015; Rabelo, 2016, Iniesta, 2016; Jaffé et al. 2016). Para cada uma destas áreas, quatro informações básicas foram levantadas: 1) número total de cavernas conhecidas para a região; 2) número de cavernas inventariadas na região; 3) número de cavernas, dentre as inventariadas, contendo espécies troglóbias e 4) número total de espécies troglóbias encontradas na área. Com base nestas informações, realizou-se o seguinte conjunto de procedimentos: inicialmente, o número de cavernas contendo espécies troglóbias foi comparado ao número total de cavernas inventariadas em cada região, no intuito de se obter a porcentagem de cavernas contendo troglóbios em cada área. Posteriormente, projetou-se, com base nesta porcentagem, o número total de cavernas que potencialmente poderiam conter espécies troglóbias em cada área (considerando o número total de cavernas da área e a porcentagem referente às cavernas potencialmente detentoras de troglóbios). Com base neste número projetado de cavernas, foi realizado o terceiro passo, que consistiu em estimar a quantidade potencial de espécies troglóbias em cada área, que desta vez considerou o número real de espécies encontradas nas cavernas em relação ao número potencial de cavernas que poderiam conter espécies troglóbias. Tais procedimentos permitiram estimar o número potencial de espécies troglóbias em cada uma destas áreas. Por fim, o número potencial de espécies troglóbias foi dividido pelo número total de cavernas conhecidas para cada área, no intuito de se obter um número médio de espécies troglóbias por caverna em cada região.

Para cada tipo de rocha, foi obtida a média dos valores médios de número de troglóbios por caverna, valores estes que foram posteriormente utilizados na projeção total para o país. No entanto, muito embora os inventários em rochas ferríferas e siliciclásticas tenham sido realizados de forma mais “aleatória”, sem escolha prévia de cavidades, percebeu-se que, para as cavernas inseridas em rochas carbonáticas, a maioria dos dados proveio de inventários “direcionados”, onde cavernas específicas foram escolhidas para as amostragens (em geral, cavernas de grandes dimensões ou com a presença de corpos d’água, o que sabidamente intensificam as possibilidades da existência de espécies troglóbias – ver discussão à frente). Diante disso, optou-se por desconsiderar, para rochas carbonáticas, boa parte das áreas previamente escolhidas, que de fato “inflariam” o modelo adicionando um número irreal de espécies troglóbias às cavernas como um todo. Optou-se pela manutenção da análise considerando somente os dados de cavernas provenientes da região espeleológica de Arcos-Pains-Doresópolis, cujos dados provieram tanto de relatórios de licenciamento quanto de pesquisas científicas, o que

removeu dados tendenciados (referentes exclusivamente a cavernas de maiores dimensões, por exemplo).

Por fim, as projeções do número potencial de espécies troglóbias para cada tipo de rocha foi realizada considerando o número de cavernas atualmente registradas (para cada tipo de rocha) no CANIE. Para tal, um último ajuste foi realizado: novamente considerando os dados empíricos das 14 áreas, calculou-se a porcentagem de cavernas, em cada área, nas quais não foram encontradas espécies troglóbias. Com base nesta porcentagem, calculou-se a porcentagem média por grupo de rocha. Por fim, o número de cavernas potencialmente “desprovidas” de espécies troglóbias foi subtraído do número total de cavernas (CANIE) para cada tipo de rocha. Os dados da análise são mostrados na tabela 1.

## Anexo II. Metodologia utilizada para as estimativas do número potencial de espécies troglóbias no Brasil

Tabela 1. Dados referentes às cavernas de diferentes regiões brasileiras, utilizados para os cálculos de projeções do número potencial de espécies troglóbias existentes em cavernas carbonáticas, ferríferas e siliciclásticas no Brasil (vide explicações no texto).

|                                         | CARBONÁTICAS |                |      |     |      | FERRÍFERAS |               |     |     |     | SILICICLÁSTICAS |             |       |     |
|-----------------------------------------|--------------|----------------|------|-----|------|------------|---------------|-----|-----|-----|-----------------|-------------|-------|-----|
|                                         | 1            | 2              | 3    | 4   | 5    | 6          | 7             | 8   | 9   | 10  | 11              | 12          | 13    | 14  |
| Total de cavernas por região            | 2418         | 690            | 57   | 486 | 64   | 116        | 136           | 69  | 173 | 137 | 102             | 40          | 30    | 17  |
| Cavernas amostradas                     | 301          | 51             | 15   | 37  | 9    | 116        | 136           | 69  | 173 | 56  | 50              | 20          | 11    | 4   |
| Cavernas com troglóbios                 | 102          | 41             | 13   | 27  | 8    | 69         | 101           | 54  | 85  | 28  | 28              | 5           | 1     | 2   |
| Total de espécies troglóbias            | 75           | 94             | 40   | 54  | 16   | 17         | 42            | 9   | 28  | 13  | 8               | 6           | 1     | 2   |
| % de cavernas sem troglóbios            | 66,1         | 19,6           | 13,3 | 27  | 11,1 |            |               |     |     |     |                 | 75          | 90,91 | 50  |
| Média % cav sem troglóbios              |              | 27,43% (2.987) |      |     |      |            | 38,8% (1.076) |     |     |     |                 | 72% (2.531) |       |     |
| Total troglóbios estimado               | 602          | 1272           | 152  | 709 | 114  | 17         | 42            | 9   | 28  | 32  | 16              | 12          | 3     | 8.5 |
| Troglos/caverna                         | 0,25         | 1,8            | 2,7  | 1,5 | 1,8  | 0,15       | 0,3           | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2             | 0,3         | 0,1   | 0,5 |
| Média                                   |              | (1,6) 0,25     |      |     |      |            | 0,19          |     |     |     |                 | 0,3         |       |     |
| Total cavernas Cadastradas              |              | 10.889         |      |     |      |            | 2.772         |     |     |     |                 | 3.515       |       |     |
| % total cadastradas com troglóbios      |              | 7.902          |      |     |      |            | 1.696         |     |     |     |                 | 984         |       |     |
| Total de espécies troglóbias (projeção) |              | (12.643) 2.722 |      |     |      |            | 322           |     |     |     |                 | 295         |       |     |
| Total projetado                         |              |                |      |     |      |            | 3.339         |     |     |     |                 |             |       |     |

\* Legenda das áreas analisadas: 1. Arcos-Pains-Doresópolis (MG); 2. Região Centro-Norte de Minas Gerais (MG); 3. Cordisburgo (MG); 4. Felipe Guerra e Gov. Dix-Sept Rosado (RN); 5. Campo Formoso (BA); 6. Serra Leste I (PA); 7. Serra Leste II e III (PA); 8. Serra do Tarzan (PA); 9. S11D (PA); 10. Serra Azul (MG); 11. Serra da Piedade (MG); 12. Ibitipoca (MG); 13. Carrancas-Luminárias (MG); 14. Altinópolis (SP).

\*\*Valores em vermelho foram considerados nos cálculos (vide explicações no texto)



Anexo III. Regiões de “identidade faunística” em cavernas do estado de Minas Gerais (Rabelo & Ferreira, in prep.). A) Regiões em rochas carbonáticas; B) Regiões em rochas ferríferas; C) Regiões em rochas granitoides e D) Regiões em rochas siliciclásticas.

