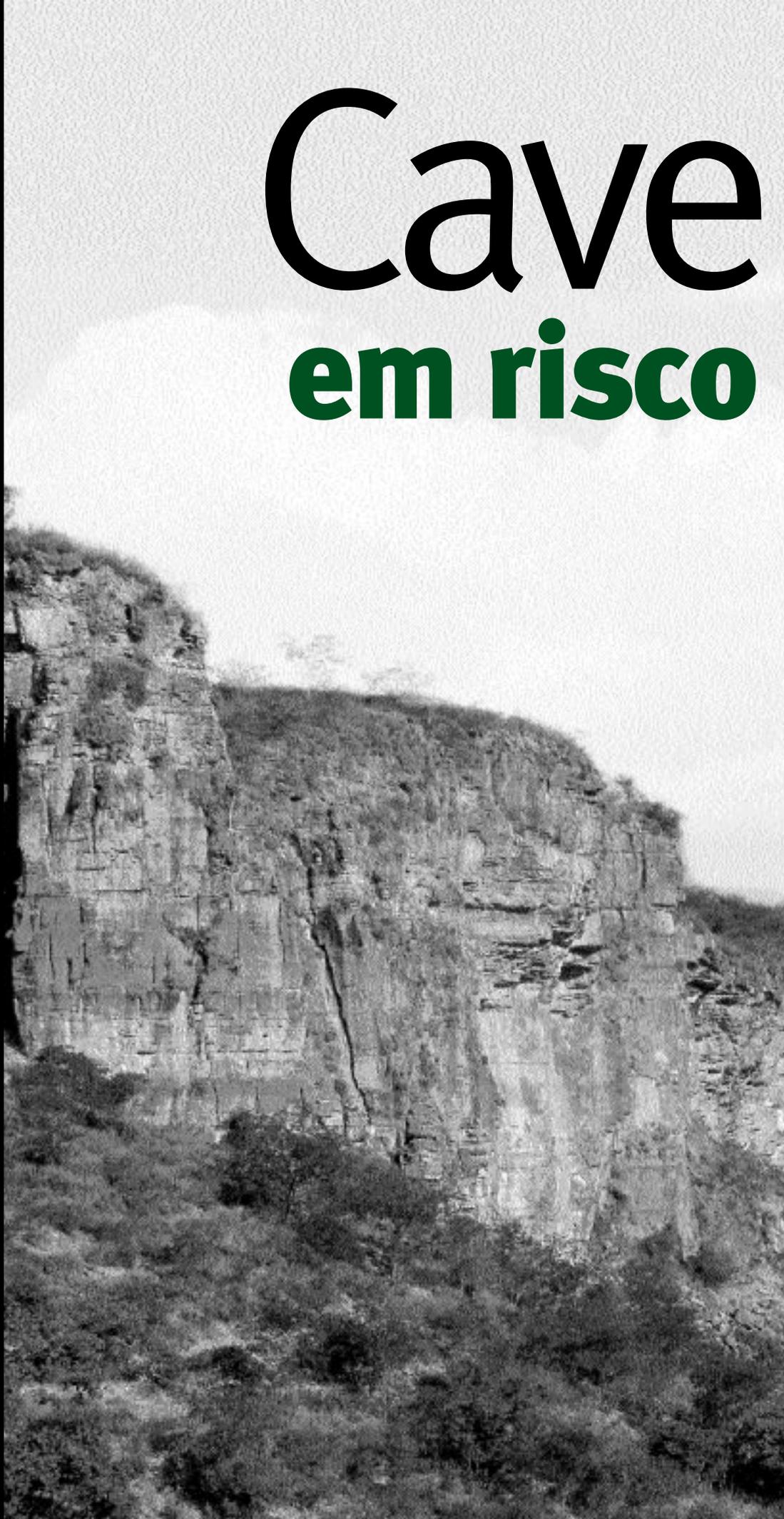


As cavernas brasileiras, bastante ameaçadas por atividades humanas, também têm sua preservação dificultada pela escassez de estudos sobre esses ecossistemas. Hoje, só estão protegidas por lei aquelas em que existem animais 'troglóbios', ou seja, aqueles que passam toda a vida nesses ambientes. Mas é preciso mudar esse critério, já que muitas cavernas, mesmo sem organismos desse tipo, têm uma fauna variada e complexa. As decisões sobre a preservação de cavernas devem basear-se não só na presença de troglóbios, mas também em aspectos ecológicos, como a complexidade biológica e as influências dos ecossistemas externos sobre a vida em seu interior.

Cave em risco

Rodrigo Lopes Ferreira e
Rogério Parentoni Martins
*Laboratório de Ecologia
e Comportamento de Insetos,
Departamento de Biologia Geral,
Universidade Federal
de Minas Gerais*

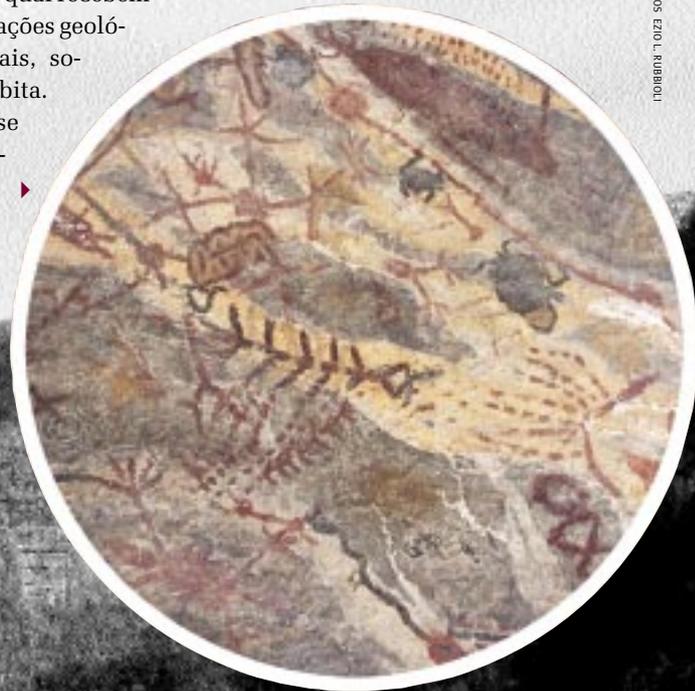


rnas de 'extinção'

As cavidades naturais subterrâneas – ou cavernas, como são mais conhecidas – despertam grande fascínio e interesse, desde tempos antigos, como é demonstrado pelas pinturas rupestres encontradas em várias delas (figura 1). Apesar do aspecto inóspito, as cavernas são verdadeiras 'extensões' subterrâneas do ambiente externo circundante, do qual recebem muitas influências. De fato, tais formações geológicas constituem ambientes especiais, sobretudo pela fauna peculiar que as habita.

A maioria das cavernas forma-se em um complexo de rochas sedimentares, em constante modificação, de- ▶

Figura 1.
Pinturas rupestres encontradas em caverna do município de Carinhanha (BA)



FOTOS: EZIO L. RUBBOLI

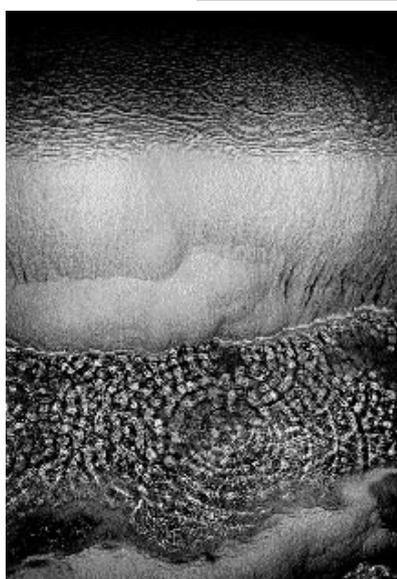


Figura 3. Espeleotema sendo formado pelo gotejamento da água na lapa do Janelão, situada nos municípios de Januária e Itacarambi (MG)

FOTO RODRIGO L. FERREIRA

micos de diversos formatos (figura 3). Desmoronamentos da rocha também podem formar galerias amplas, como a da gruta dos Brejões, na Bahia (figura 4).

A ausência permanente de luz solar – a condição mais extrema nas cavernas – impede o desenvolvimento de plantas, os produtores primários (organismos que geram matéria orgânica a partir de compostos inorgânicos) mais importantes em terra. Além disso, a umidade é sempre elevada em seu interior e a temperatura, especialmente em áreas mais dis-

Figura 4. Entrada da gruta dos Brejões, no município de OuroLândia (BA)

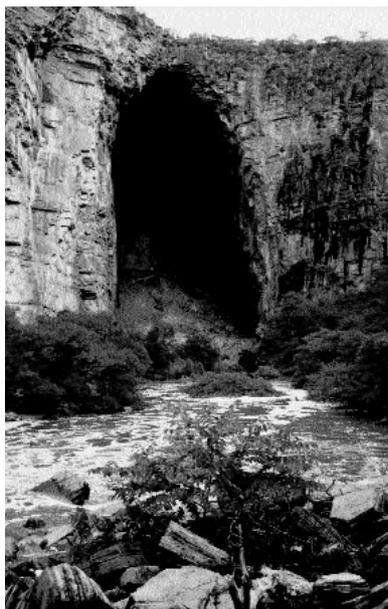


FOTO RODRIGO L. FERREIRA

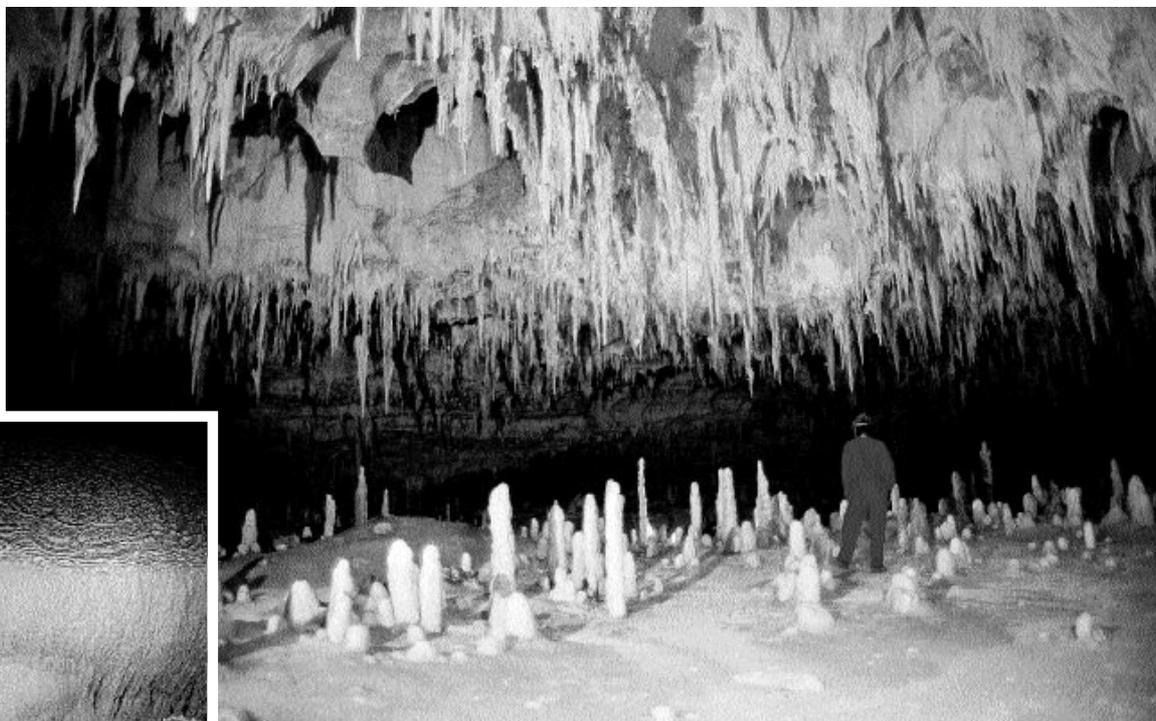


FOTO ECLIO L. RUBBIO

Figura 2. Toca da Barriguda, caverna existente no município de Campo Formoso (BA)

nominado ‘carste’. A infiltração de água dissolve lentamente essas rochas (os tipos principais são calcário e dolomito) e esculpe variadas feições internas, gerando diferentes tipos de cavernas. A dissolução da rocha cria os ‘condutos’, ou galerias (figura 2), e os ‘espeleotemas’, depósitos quím-

tantes da entrada, é em geral constante e similar às médias anuais do meio externo circundante. Quase não há produtores primários nas cavernas, exceto por poucas espécies de bactérias quimioautotróficas que usam ferro ou enxofre para se desenvolver. Predominam nesses ambientes os organismos detritívoros, que usam como alimento detritos procedentes do exterior.

A matéria orgânica particulada é levada para as cavernas, de modo contínuo ou intermitente, por fenômenos físicos (em geral por rios ou enxurradas que ali penetram) ou por animais que buscam abrigo nesses locais mas saem periodicamente à procura de alimento. Mesmo em pequena quantidade, os recursos vindos do exterior (restos de animais ou vegetais, entre outros) são importantes nas cadeias alimentares das comunidades cavernícolas, sejam terrestres ou aquáticas. Compostos orgânicos dissolvidos, bactérias e protozoários também podem chegar às cavernas na água que se infiltra através das rochas.

FOTO RODRIGO L. FERREIRA



Figura 5. Pequeno grupo de morcegos, animais troglóxenos (que saem das cavernas para buscar alimento)

Além desses materiais, outras fontes de recursos são fezes ou cadáveres de animais que transitam por ali com certa regularidade (morcegos, por exemplo). Esses recursos são especialmente importantes nas cavernas permanentemente secas. A disponibilidade dos diferentes tipos de recursos alimentares, o modo como são disseminados e sua distribuição espacial influenciam a composição da fauna cavernícola e sua diversidade (quantidade de espécies e de indivíduos em cada uma). Já que muitos organismos colonizam esses ambientes através de suas entradas, a distância destas ao interior também pode ser importante na ocorrência e distribuição de alguns grupos, sobretudo invertebrados.

Em função das características das cavernas, os organismos que as habitam têm diferentes graus de especialização. Os ‘troglóxenos’ – do grego *troglos* (caverna) e *xeno* (externo) – freqüentam as cavernas, mas têm de sair para se alimentar, como morcegos, aves e alguns insetos (figura 5). Esses animais são as principais fontes de matéria orgânica (suas fezes ou carcaças) para a constituição das cadeias alimentares de muitas cavernas. Os ‘troglófilos’ – do grego *filo* (amigo) – podem completar o ciclo de vida dentro e/ou fora das cavernas, como muitos insetos e aracnídeos (figura 6). Já os ‘troglóbios’ – de *bio* (vida) – nascem, reproduzem-se e morrem sem sair das cavernas (figura 7). Esses animais têm especializações morfológicas (como redução dos olhos e dos pigmentos), fisiológicas ou comportamentais que provavelmente evoluíram em resposta às pressões seletivas presentes em cavernas (como escassez de alimentos) e/ou à ausência de pressões típicas do meio externo (como a luz).

As comunidades cavernícolas podem ser aquáticas e terrestres. As aquáticas vivem em lençóis freáticos ou cursos d’água. Esses organismos tendem a se distribuir por todo o volume da água, desde que existam nutrientes. As comunidades terrestres podem ser ‘paraepígeas’ (com espécies que vivem de preferência junto à entrada da caverna), ‘recurso-espaço-dependentes’ (com espécies que vivem em áreas internas, mas apenas onde há recursos) ou ‘recurso-espaço-independentes’ (organismos capazes de se deslocar por grandes espaços em busca de alimento).

São comuns, nas comunidades paraepígeas, espécies que vivem dentro ou fora das cavernas, pois a entrada é uma área de transição entre os dois ambientes (um ‘ecótono’, segundo os ecólogos). Comunidades recurso-espaço-dependentes incluem em geral pequenos organismos (poucos milímetros de comprimento) e de mobilidade limitada, incapazes de percorrer periodicamente grandes extensões atrás de alimento, como os associados a depósitos de guano de morcegos (ver ‘Guano: fonte de vida nas cavernas’, em CH nº 146). Já as comunidades recurso-espaço-

FOTO XAVIER PROUS



Figura 6. Aracnídeo do gênero *Heterophrynus*, um invertebrado troglófilo – que pode ou não sair das cavernas

FOTO EZIO L. RUBBIOLI



Figura 7. Crustáceos isópodes do gênero *Thaylandoniscus*, organismos troglóbios – que passam toda a vida dentro de cavernas

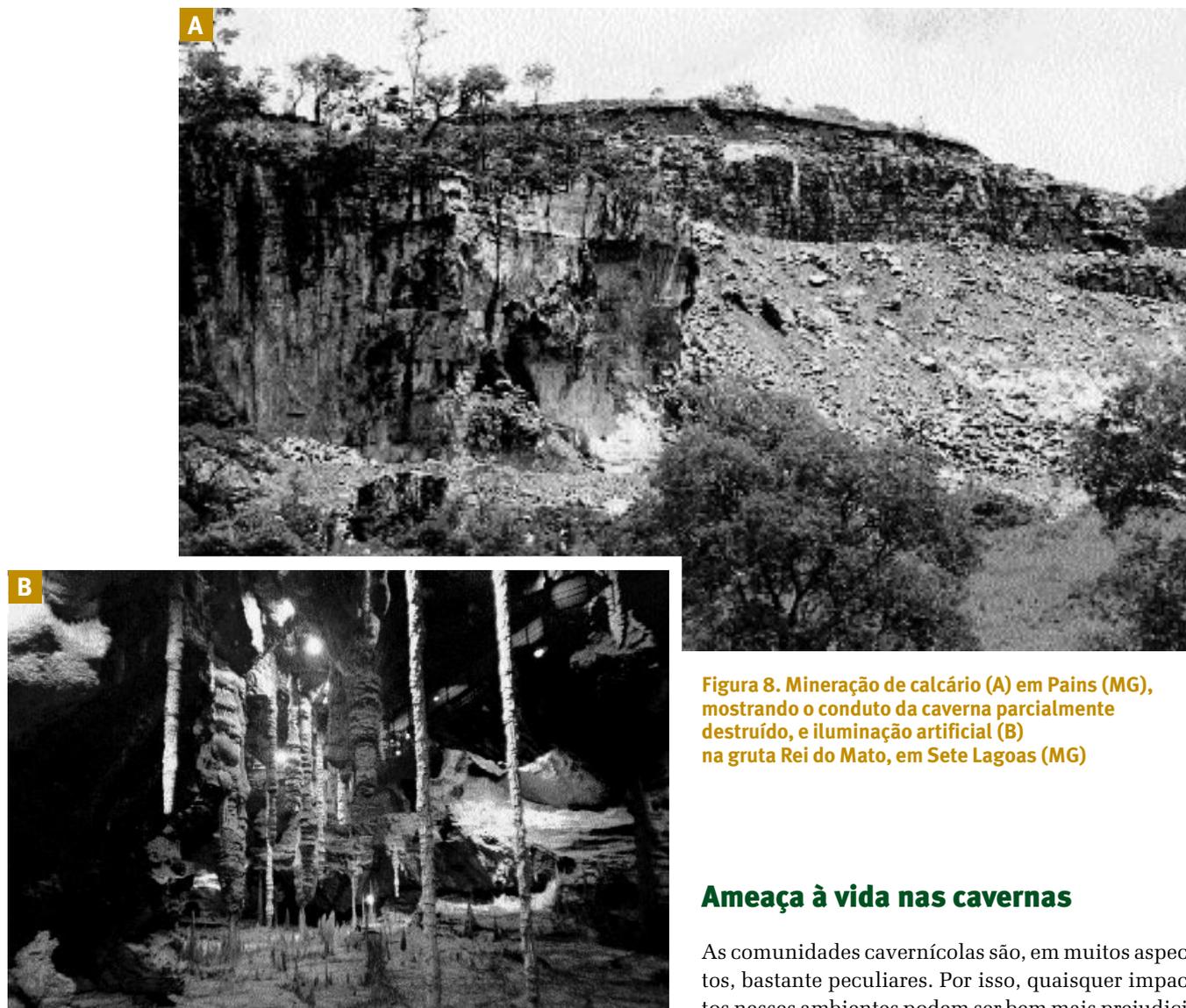


Figura 8. Mineração de calcário (A) em Pains (MG), mostrando o conduto da caverna parcialmente destruído, e iluminação artificial (B) na gruta Rei do Mato, em Sete Lagoas (MG)

Ameaça à vida nas cavernas

As comunidades cavernícolas são, em muitos aspectos, bastante peculiares. Por isso, quaisquer impactos nesses ambientes podem ser bem mais prejudiciais a esses organismos que os ocorridos em sistemas externos. Impactos são alterações bruscas no ambiente ou em partes deste, resultantes de atividades naturais ou humanas.

Cavernas calcárias passam, em sua evolução geológica, por períodos de total escuridão e maior estabilidade ambiental que o meio externo. A situação ambiental, no entanto, depende do tipo de caverna e da etapa em que se encontra em sua evolução geológica: elas podem apresentar diferentes condições ambientais, influenciadas claramente pelo regime climático externo (local e regional). A atividades humanas de efeito indireto sobre elas, como o desmatamento ou a poluição de rios, ou de impacto direto, como minerações de calcário ou exploração turística (figura 8), podem causar sérios danos à sua fauna, em especial reduzindo o número de espécies, e o mesmo vale para usos mais inusitados, como a prática de esportes ou cerimônias religiosas (figura 9).

independentes são constituídas por organismos maiores, que podem percorrer em pouco tempo áreas extensas – a maioria dos invertebrados encontrados em cavernas (grilos, aranhas, piolhos-de-cobra, opiliões e outros) faz parte dessas comunidades. Esses animais são atraídos por grandes depósitos de recursos, mas não se limitam àquele local.

As espécies que constituem as comunidades cavernícolas, portanto, apresentam diferentes histórias evolutivas e podem mostrar variadas interações (entre elas e com o ambiente) que ampliam a chance de a comunidade permanecer ‘indefinidamente’ no sistema cavernícola, mantidas as condições ambientais e a importação de nutrientes. O grau de estruturação de uma comunidade cavernícola não depende do número de espécies que a compõe, e sim da força das interações. São estas que possibilitam a coexistência, a longo prazo, de muitas espécies.

As cavernas são importantes para os ecossistemas onde estão inseridas. Os ambientes cavernícolas podem ser desestruturados por mudanças no meio externo, decorrentes de fenômenos naturais ou ações humanas, e isso também pode, a médio ou longo prazos, comprometer o estado de conservação do próprio ambiente externo. Diferenças na drenagem subterrânea da água causadas por desabamentos em cavernas, por exemplo, podem induzir alterações no regime hídrico do meio externo, com variados impactos sobre as espécies aquáticas e as comunidades ripárias (que vivem no limite entre ecossistemas terrestres e aquáticos). Além disso, a retirada das espécies de morcegos que comem frutas de cavernas parece reduzir as taxas de polinização e de dispersão de sementes na vegetação externa, o que a longo prazo pode empobrecer a variabilidade genética de muitas populações de plantas.

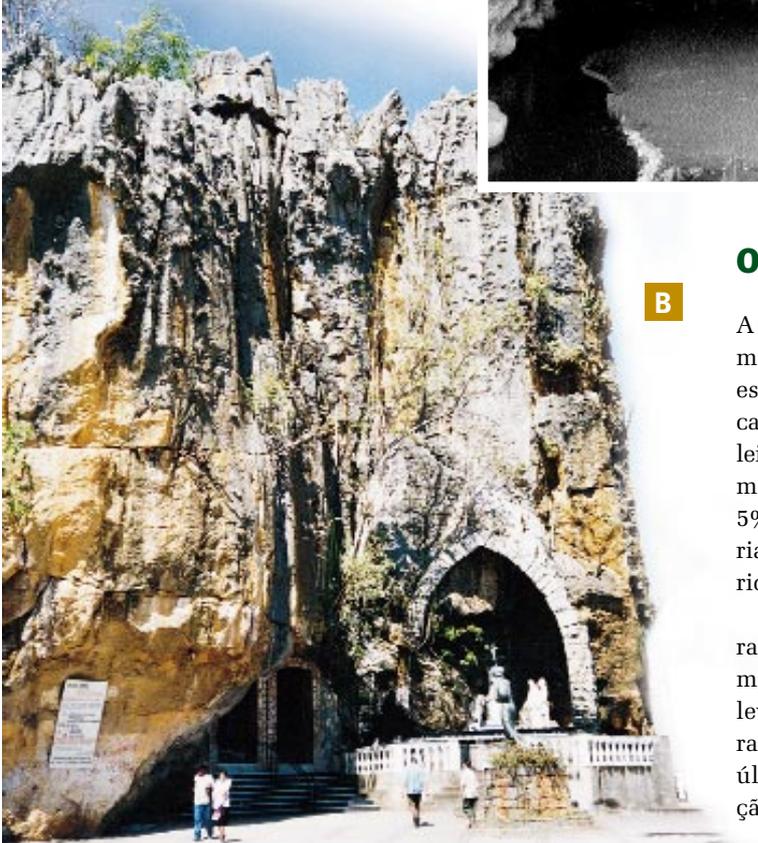
Estudos detalhados em sistemas cavernícolas são essenciais para a adequada caracterização do ecossistema em que as cavernas se inserem e para a conservação de ambos. Além disso, as cavernas, como ecossistemas distintos e peculiares, devem ser preservadas independentemente do tipo de ecossistema no qual se situem.

Para essa preservação, é fundamental que a situação 'original' de uma caverna calcária (permanente escuridão e estabilidade ambiental) não sofra modificações. Em geral, impactos que produzem alterações rápidas e intensas podem causar distúrbios mais sérios, inclusive levando à extinção algumas espécies. A intensidade do impacto tem, portanto, maior influência sobre a capacidade de reestruturação de comunidades cavernícolas que o tempo decorrido desde a ocorrência desse impacto.

Figura 9. Campo de futebol (A) no interior da gruta Pontes do Sumidouro, em Campo Formoso (BA), e igreja (B) construída em uma caverna, em Bom Jesus da Lapa (BA)



FOTOS: RODRIGO L. FERREIRA



Organismos cavernícolas no Brasil

A fauna cavernícola brasileira começou a ser relativamente bem pesquisada a partir dos anos 80, mas tais estudos só foram intensos em poucas cavernas, todas calcárias. Há no país, registradas na Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE), em torno de 3 mil cavernas, mas a própria SBE estima que isso representa apenas 5% do patrimônio espeleológico nacional. Existiriam, portanto, cerca de 60 mil cavidades no território nacional, a grande maioria ainda desconhecida.

Das 3 mil cavernas conhecidas, cerca de 300 foram estudadas do ponto de vista biológico, mas na maioria dos casos esses estudos restringiram-se a levantamentos da fauna. Mesmo se forem considerados apenas os dados desse tipo acumulados nos últimos anos, é evidente a necessidade de preservação desses ambientes. ▶

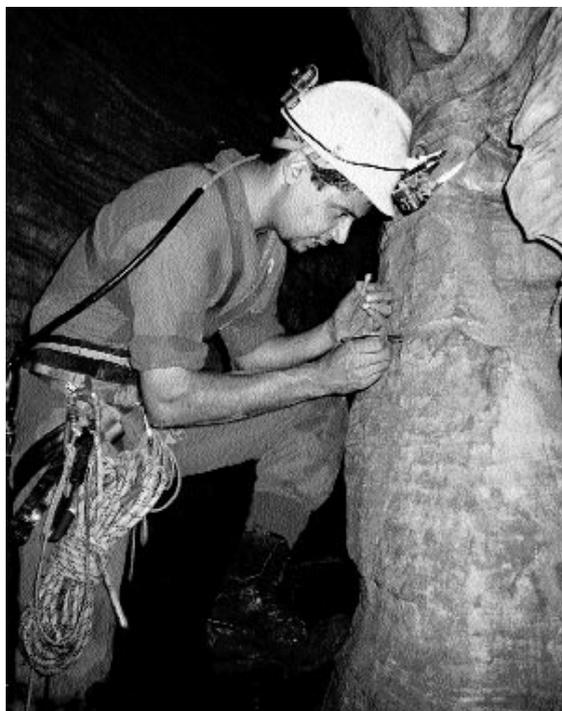


FOTO GEORGETE DURRA

Figura 10. Bioespeleólogo coletando um invertebrado, na gruta Alta Tensão, em São José da Lapa (MG)

Em 1994, um artigo publicado nos *Papéis Avulsos de Zoologia*, da Universidade de São Paulo, listou a fauna cavernícola brasileira coletada desde o início do século, incluindo 613 espécies (537 invertebrados e 76 vertebrados). No entanto, estudos do Laboratório de Ecologia e Comportamento de Insetos, da Universidade Federal de Minas Gerais, realizados desde março de 1999 em 80 cavernas (até o momento), registraram mais de 1.500 espécies de invertebrados, 10% das quais já citadas no artigo de 1994. A quantidade de novos registros revela não só o expressivo potencial biológico das cavernas brasileiras mas também a situação de quase total desconhecimento de sua fauna – decorrente, em grande parte, da escassez de bioespeleólogos (figura 10).

Do total de espécies coletadas em cavernas brasileiras, apenas uma pequena parte é troglóbia, e grande parte dos esforços da bioespeleologia nacional concentrou-se nessas espécies. Animais como *Pimelodela kronei* (um bagre cego de cavernas do sul de São Paulo), *Trichomycterus itacarambiensis* (outro bagre cego, do norte de Minas Gerais), *Aegla cavernicola* (lagostim troglóbio de cavernas de São Paulo), *Poticoara brasiliensis* (crustáceo só encontrado até agora no Brasil, em cavernas do Mato Grosso do Sul), *Potamolitus troglobius* (molusco de cavernas do sul de São Paulo), entre outros, têm sido estudados em detalhe, resultando em preciosas contribuições para a compreensão da biologia e evolução dessas espécies.

Assim como o número de cavernas, as espécies troglóbias conhecidas no Brasil representam apenas uma pequena fração do total existente. Levando-se em conta a estimativa de que existiriam no país cerca de 60 mil cavernas, pode-se esperar que ainda sejam descobertas centenas de novas espécies troglóbias.

A importância da preservação

O uso das cavernas brasileiras está sujeito ao controle e fiscalização do poder público, segundo a Portaria 887 (de 15 de junho de 1990) do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), e o Decreto Federal 99.556 (de 1º de outubro do mesmo ano), que determinam a preservação desses ambientes. O órgão executor dessa legislação é o Ibama, que atua nessa área através do Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas (Cecav), criado em 1997.

A preservação do patrimônio espeleológico havia sido proposta desde 1987 pela Resolução 005 (de 6 de agosto de 1987) do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama), que também incluía os animais troglóbios “na relação dos animais em perigo de extinção”. Assim, qualquer espécie troglóbia é considerada ameaçada de extinção, por sua distribuição restrita e alto grau de endemismo, e qualquer cavidade que contenha espécies desse tipo está protegida por lei e deve ser preservada (incluindo a área em torno).

Esse critério legal é bastante útil, dada a especialização de formas, funções e comportamentos dos troglóbios, mas vincular a preservação de cavernas apenas à presença dessas espécies restringe drasticamente a proteção desses ambientes, até porque tais organismos são bastante raros. Embora a grande maioria dos troglóbios seja despigmentada e tenha olhos reduzidos (ou não os tenha), o que os define de fato é a ocorrência restrita ao ambiente cavernícola. Há organismos ‘brancos e cegos’ que não são troglóbios e há troglóbios pigmentados e com olhos. Por isso, a inclusão de organismos nessa categoria é complicada mesmo para os especialistas.

Outro fator importante é a existência de cavernas com ambientes que favorecem a ocorrência de grande número de espécies, que podem apresentar, em conjunto, uma série de interações importantes. Graças ao alto número de espécies e interações, são excelentes locais para a pesquisa ecológica. Por isso, mesmo que cavernas com tais características não tenham espécies troglóbias, também devem ser preservadas.

A preservação deve ser orientada por duas perspectivas. A primeira, evolutiva, determina a proteção de cavernas que contêm espécies troglóbias, testemunhas da evolução. Esse critério é a base da le-

gislação atual. A outra perspectiva, ecológica – aqui proposta – asseguraria a proteção de cavernas de alta complexidade ecológica, ou seja, aquelas com comunidades ricas (grande número de espécies) e com muitas interações, tendo ou não troglóbios. Nessa ótica, a caverna é uma ‘unidade ecológica’, caracterizada pelas interações entre espécies que dependem das peculiaridades do ambiente, entre elas a quantidade e qualidade dos recursos alimentares.

A manutenção da vida nas cavernas depende da estrutura das comunidades, dos processos ecológicos que ali ocorrem e até das interações entre os meios interno e externo. Para a caracterização biológica de uma caverna, é fundamental conhecer a estrutura da comunidade (número de espécies detritívoras e predadoras, entre outras informações) e as características de cada espécie, lembrando que, do ponto de vista ecológico, um organismo troglóbio é apenas mais uma peça do quebra-cabeças. Além disso, é preciso compreender processos ecologicamente importantes que ali ocorrem, como taxas de decomposição e mecanismos de importação de recursos alimentares. Não menos importante é determinar as relações entre os ecossistemas externos e os cavernícolas, já que esses últimos dependem dos recursos que vêm dos primeiros.

Por que preservar a complexidade?

A complexidade de um ecossistema depende de fatores bióticos e abióticos, que determinam comunidades com grande quantidade de interações ecológicas. O termo ‘conectância’ diz respeito ao número de interações efetivas entre as espécies de uma comunidade em relação ao número de interações possíveis entre elas. Comunidades complexas tendem a apresentar maior conectância: nelas, as espécies apresentam vários níveis de interação, ou seja, interagem de modo distinto com várias outras.

Cavernas são ecossistemas de complexidade variável: umas são relativamente simples e outras muito complexas. Em geral, as situadas em regiões tropicais são mais complexas que as de áreas temperadas. Para comunidades dependentes de depósitos de guano de morcegos, essa diferença é marcante: as de cavernas tropicais são bem mais complexas. A avaliação da complexidade de

ecossistemas cavernícolas permite identificar aqueles ecologicamente expressivos, que merecem ser preservados (tanto quanto os que têm organismos troglóbios). Tais organismos são, portanto, ‘indicadores evolutivos’ para a preservação de cavernas, enquanto a complexidade biológica é um ‘indicador ecológico’ para isso.

O grau de complexidade biológica de uma caverna pode ser expresso através de um índice desenvolvido (pelos autores) no Laboratório de Ecologia e Comportamento de Insetos (ver ‘Uma medida da complexidade’). O índice representa a complexidade através da conectância potencial da comunidade presente na caverna. Cavernas mais ricas em espécies e com distribuição mais homogênea de populações pequenas, médias e grandes são consideradas biologicamente mais ‘complexas’ que as menos ricas e com maior disparidade de tamanhos populacionais (muitas espécies com populações reduzidas e poucas com populações médias e grandes, por exemplo). As primeiras apresentam maior conectância potencial do que as últimas.

É importante ressaltar que esse índice – uma primeira tentativa de quantificar a complexidade biológica em cavernas – é restrito, pois leva em conta apenas dois parâmetros (número de espécies e abundância das respectivas populações), sendo um deles quantitativo e outro qualitativo. Deve, portanto, ser usado com cautela. O valor obtido não expressa todos os fatores que precisam ser avaliados quando se quer definir a necessidade de preservação de uma caverna – não inclui, por exemplo, aspectos evolutivos, tróficos, climáticos,

A medida da complexidade

O Índice de Complexidade Biológica em Cavernas (ICBC), descrito em trabalho publicado no *Brazilian Journal of Biology*, permite comparar a riqueza (em espécies de invertebrados) de uma caverna com as abundâncias relativas das diferentes populações dessas espécies. Para obter o índice (em sua formulação mais simples), determina-se o percentual, do total de espécies da caverna, incluído em cada categoria de tamanho populacional (populações pequenas, médias ou grandes). Em seguida, calcula-se a amplitude entre esses percentuais (a diferença simples do primeiro para o segundo e do segundo para o terceiro, sem sinal de positivo ou negativo), encontrando-se dois valores modulares de ‘distância numérica’. Obtém-se, então, a média desses valores (amplitude média entre os percentuais populacionais). Essa amplitude média é multiplicada por 100 e dividida pelo percentual máximo encontrado na caverna. O quadrado da riqueza (número de espécies) da caverna é dividido pelo número obtido no cálculo acima (chamado de amplitude populacional relativa) para chegar ao ICBC. O uso da riqueza de espécies ao quadrado visou dar maior peso a essa variável, relevante para a complexidade em qualquer sistema biológico. Está sendo trabalhada a inclusão de outras variáveis (distribuição dos indivíduos no interior da caverna, por exemplo), para tornar o índice mais detalhado e realista.

Sugestões para leitura

FERREIRA, R. L. e HORTA, L. C. S. 'Natural and human impacts on invertebrate communities in Brazilian caves', in *Brazilian Journal of Biology*, v. 61(1), p. 7, 2001.

FERREIRA, R. L. e MARTINS, R. P. 'Diversity and distribution of spiders associated with bat guano piles in Morrinho cave (Bahia State, Brazil)', in *Diversity and Distributions*, v. 4, p. 235, 1998.

FERREIRA, R. L. e MARTINS, R. P. 'Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities with special reference to Brazilian caves', in *Tropical Zoology*, v. 12(2), p. 231, 1999.

hidrogeológicos e outros, importantes em estudos desse tipo. Apesar disso, o índice vem mostrando ser útil para uma avaliação direta da fauna cavernícola, aspecto essencial para a preservação de qualquer ecossistema desses.

O carste como unidade de conservação

O principal desafio para a conservação das cavernas brasileiras é, como ocorre em outras partes do mundo, a escassez de estudos sobre tais ambientes. A proteção depende de informações ecológicas, muitas ainda inexistentes no caso das cavernas do país, como a identificação dos limites entre os ambientes externo e interno, a caracterização das zonas de maior oferta de recurso e a determinação e quantificação das principais vias de importação de recursos.

Outro grande desafio é educar a população quanto à importância de preservar esses ecossistemas. Para isso, o conjunto de informações necessárias à preservação deve não apenas ser gerado, mas também ser divulgado para a população, através de práticas de educação ambiental, sendo essencial formar profissionais capacitados a realizar essa tarefa. Caberá a eles fornecer, a cada indivíduo, uma visão completa do ambiente cavernícola, abrangendo todos os seus aspectos (geológicos, biológicos e outros), de forma a despertar o interesse por sua conservação.

Historicamente, a grande atenção dada a espécies troglóbias permitiu acumular bastante informação sobre esse grupo, mas impediu a compreensão das cavernas como uma unidade funcional complexa, da qual os troglóbios são apenas um dos componentes. Todo esse conhecimento é, em si, pouco útil para a conservação efetiva das cavernas: de que adianta conhecer bem apenas um componente de um sistema quando se deseja preservar toda sua estrutura e seus processos ecológicos?

Uma caverna, portanto, deve ser considerada uma unidade funcional, integrada por muitas espécies, que exibem diferentes graus de especialização e dependem de processos ecológicos (como o aporte de recursos). Mas isso ainda não basta para a preservação eficiente da fauna desses ambientes. Muitos têm forte dependência em relação ao meio externo e, caso este se altere, as comunidades cavernícolas podem se desestruturar. Assim, a proteção deve basear-se em uma perspectiva mais ampla: é preciso entender as cavernas como componentes do carste (o complexo de rochas sedimentares onde se formam), e este deve ser a unidade de estudos (figura 11).

É fundamental, sob esse ponto de vista, manter os ecossistemas externos que integram o carste. Infelizmente, a compreensão de todas as relações existentes entre os diversos componentes do sistema cárstico ainda está muito longe. Por isso, para preservar as cavernas, é preciso utilizar os conhecimentos disponíveis: os indicadores evolutivos (a presença de troglóbios) e ecológicos (a complexidade biológica). Mesmo assim, para ampliar as possibilidades de preservação, seria importante aumentar os recursos para pesquisas nessa área, inclusive tomando o carste como objeto de estudo – só assim será obtido o conhecimento adequado à superação desse desafio. ■

Figura 11. Carste localizado no município de Doresópolis (MG), onde existem algumas pequenas cavernas

