

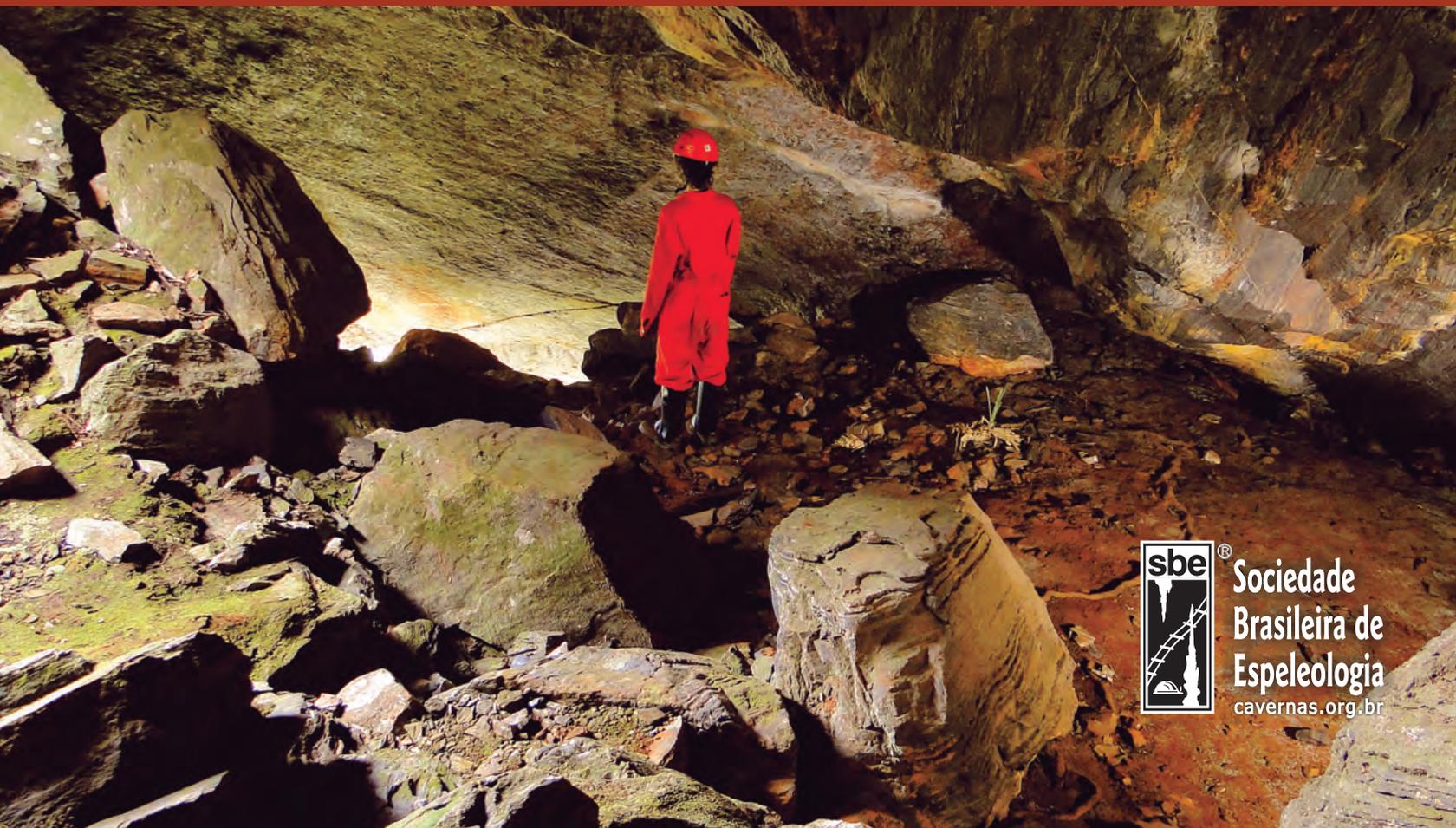


ÚRSULA DE AZEVEDO RUCHKYS
LUIZ EDUARDO PANISSET TRAVASSOS
MARCELO AUGUSTO RASTEIRO
LUCIANO EMERICH FARIA

(Organizadores)

PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO EM ROCHAS FERRUGINOSAS

Propostas para sua conservação no
Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais



Sociedade
Brasileira de
Espeleologia
cavernas.org.br

ÚRSULA DE AZEVEDO RUCHKYS
LUIZ EDUARDO PANISSET TRAVASSOS
MARCELO AUGUSTO RASTEIRO
LUCIANO EMERICH FARIA

(Organizadores)

PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO EM ROCHAS FERRUGINOSAS

Propostas para sua conservação no
Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais

1ª Edição | Campinas - SP

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA

2015

Publicado em julho de 2015 pela Sociedade Brasileira de Espeleologia. Todos os direitos reservados. Nenhuma parte deste livro pode ser reproduzida ou reimpressa, ou mesmo reutilizada de qualquer forma, por meio eletrônico, mecânico ou outros, atualmente conhecidos ou a serem inventados, incluindo sistemas de fotocópia e gravação, sem a permissão por escrito da Sociedade Brasileira de Espeleologia.

1º Edição – tiragem 2.000 exemplares (impresso)

A versão eletrônica deste livro está disponível no site www.cavernas.org.br.

INICIATIVA

Sociedade Brasileira de Espeleologia em parceria com a Promotora Estadual de Defesa do Patrimônio Cultural e Turístico de Minas Gerais/Ministério Público do Estado de Minas Gerais. Apoio: Geopark Quadrilátero Ferrífero

PRODUÇÃO EDITORIAL

Sociedade Brasileira de Espeleologia
Caixa Postal 7031, Parque Taquaral, CEP 13076-970, Campinas SP.
(19) 3296-5421 - sbe@cavernas.org.br

ORGANIZAÇÃO

Úrsula de Azevedo Ruchkys, Luiz Eduardo Panisset Travassos, Marcelo Augusto Rasteiro, Luciano Emerich Faria

AUTORES

Alenice Baeta, Allan Calux, André Gomide Vasconcelos, Carlos Alberto Rosière, Cristina Kistemann Chiodi, Eric Oliveira Pereira, Flávio Fonseca do Carmo, Francisco Sekiguchi Buchmann, Georgete Dutra, Henrique Piló, Iara Christina de Campos, Jonas Eduardo Gallão, Jonathas S. Bittencourt, Luciana H. Yoshino Kamino, Luciano Emerich Faria, Luiz Afonso Vaz de Figueiredo, Luiz Eduardo Panisset Travassos, Manuela Corrêa Pereira, Marcelo Augusto Rasteiro, Marcos Paulo Souza Miranda, Maria Elina Bichuette, Maria Márcia M. Machado, Paulo de Tarso Amorim Castro, Rafael Fonseca Ferreira, Roberto Cassimiro, Rubens Hardt, Úrsula Ruchkys.

REVISÃO

Ana Luiza Libânio Dantas

FOTOS DA CAPA

Luciano Faria

PROJETO GRÁFICO, DIAGRAMAÇÃO E LAYOUT DE CAPA

Najla Mouchrek

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Patrimônio espeleológico em rochas ferruginosas [livro eletrônico] : propostas para sua conservação no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais / Úrsula de Azevedo Ruchkys...[et al.], (organizadores). -- 1. ed. -- Campinas, SP : Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2015. 110 Mb ; PDF.

Outros autores: Luiz Eduardo Panisset Travassos, Marcelo Augusto Rasteiro, Luciano Emerich Faria
Bibliografia.
ISBN 978-85-64130-05-0

1. Arqueologia 2. Cavernas 3. Fotografias
4. Mineralogia - Aspectos ambientais 5. Mineralogia - Aspectos sociais 6. Mineralogia - Brasil - História
7. Mineralogia - Quadrilátero Ferrífero (MG) I. Ruchkys, Úrsula de Azevedo. II. Travassos, Luiz Eduardo Panisset. III. Rasteiro, Marcelo Augusto. IV. Faria, Luciano Emerich.

15-05715

CDD-549.98151

Índices para catálogo sistemático:

1. Quadrilátero Ferrífero : Minas Gerais : Brasil :
Mineralogia 549.98151

CARTAS INSTITUCIONAIS	6
PARTE I - CONTEXTUALIZAÇÃO	
CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS EM ROCHAS FERRUGINOSAS: UMA APRESENTAÇÃO DA OBRA Luciano Faria, Úrsula de Azevedo Ruchkys, Luiz Eduardo Panisset Travassos e Marcelo Rasteiro	8
HISTÓRICO E IMPORTÂNCIA DA ESPELEOLOGIA Luiz Afonso Vaz de Figueiredo	18
BREVE INVENTÁRIO DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO Rubens Hardt	44
PROTEÇÃO JURÍDICA DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO Marcos Paulo Souza Miranda e Cristina Kistemann Chiodi	56
FORMAÇÕES FERRÍFERAS E MINÉRIOS DE ALTO TEOR ASSOCIADOS Carlos Alberto Rosière	78
IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO FERRO Maria Márcia Machado e Úrsula de Azevedo Ruchkys	98

PARTE II - PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO EM ROCHAS FERRUGINOSAS	
OS CONFLITOS RESULTANTES DA PRODUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO Paulo de Tarso Amorim Castro e Maria Márcia Magela Machado	116
GEOESPELEOLOGIA DAS CAVERNAS EM ROCHAS FERRÍFERAS: ASPECTOS DIMENSIONAIS, MORFOLÓGICOS, HIDROLÓGICOS E SEDIMENTARES Allan Calux e Roberto Cassimiro	132
GÊNESE E DESENVOLVIMENTO DE CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS EM FORMAÇÕES FERRÍFERAS Georgete Dutra	158
BIOTA SUBTERRÂNEA ASSOCIADA ÀS FORMAÇÕES FERRÍFERAS Maria Elina Bichuette, Rafael Fonseca-Ferreira e Jonas Eduardo Gallão	174
REGISTRO PALEONTOLÓGICO EM CAVERNA DESENVOLVIDA EM FORMAÇÕES FERRÍFERAS NA SERRA DO GANDARELA Jonathas Bittencourt, André Gomide, Flávio Carmo e Francisco Sekiguchi Buchmann	192
PATRIMÔNIO ARQUEOLÓGICO NOS CAMPOS E SUPORTES FERRUGINOSOS Alenice Baeta e Henrique Piló	210
VALOR CÊNICO, TURISMO E RELIGIÃO Luiz Eduardo Panisset Travassos	240
SERVIÇOS DA GEODIVERSIDADE ASSOCIADOS ÀS ROCHAS FERRUGINOSAS: PRESSÃO E OPORTUNIDADES DE CONSERVAÇÃO Úrsula Ruchkys e Maria Márcia Magela Machado	262

PARTE III - PROPOSTA PARA GESTÃO DO QF E APA SUL RMBH	
PANORAMA DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO Manuela Pereira, Úrsula de Azevedo Ruchkys e Eric Pereira	274
ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA GEOCONSERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO EM ROCHAS FERRUGINOSAS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO Úrsula de Azevedo Ruchkys, Eric Pereira e Manuela Pereira	288
CAVERNAS FERRUGINOSAS EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO: GARANTIA DE PROTEÇÃO? UM ESTUDO DE CASO NA APA SUL RMBH Flávio Carmo, Iara Christina de Campos e Luciana H. Yoshino Kamino	316
GESTÃO DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO REGIONAL: DIRETRIZES, METAS E RECOMENDAÇÕES PARA CONSERVAÇÃO Úrsula de Azevedo Ruchkys e Luiz Eduardo Panisset Travassoss	332
AUTORES	343
REALIZAÇÃO E APOIO INSTITUCIONAL	349

O território do Estado de Minas Gerais está todo permeado por grutas, cavernas, abrigos e outras ocorrências espeleológicas que, há quase dois séculos, têm sido objeto de pesquisas sistemáticas desenvolvidas por cientistas estrangeiros e nacionais em busca de informações sobre a evolução da vida sobre a Terra.

Em período mais recente, para além das tão conhecidas e divulgadas ocorrências espeleológicas em rochas carbonáticas, começaram a ganhar a atenção de pesquisadores, de amantes da espeleologia e de parcelas do poder público, as grutas existentes nos sistemas ferruginosos, que por longo período ficaram relegadas ao anonimato, inclusive olvidadas nas análises de impacto de empreendimentos de grande potencial degradador, notadamente os ligados à mineração.

Em sua atuação cotidiana de defesa do meio ambiente e do patrimônio cultural, os Promotores de Justiça do Estado de Minas Gerais têm se deparado com constantes situações de ameaças ao patrimônio cavernícola, quando não de danos de grande monta, infelizmente, já concretizados em detrimento dele.

Mas não nos parece que a proteção das ocorrências espeleológicas se sustente pela simples existência de um comando normativo abstrato em tal sentido. A missão do Ministério Público não se resume à exigência do cumprimento de formalidades legais. Volta-se, ao contrário, para a concretização de mudanças, para melhor, em benefício da sociedade brasileira.

Por isso, é preciso compreender as razões fáticas, técnicas e científicas pelas quais a preservação das cavernas se justifica como elemento essencial para a manutenção do meio ambiente ecologicamente equilibrado, em benefício da sadia qualidade de vida do homem de hoje e das gerações que ainda estão por vir.

Para tanto, torna-se essencial a socialização do conhecimento sobre esses bens, conhecimento esse não raras vezes diluído em relatórios técnicos fadados simplesmente a ocupar, burocraticamente, o espaço de arquivos de órgãos ambientais.

Nesse cenário, surgiu a oportunidade de, por meio da Sociedade Brasileira de Espeleologia, associação com larga tradição e respeitabilidade no campo da espeleologia, viabilizar a parceria que redundou na publicação *Patrimônio espeleológico em rochas ferruginosas - Propostas para sua conservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*.

Que esta obra jogue luz e desperte novos olhares sobre essa relevante, mas pouco conhecida, porção do patrimônio espeleológico existente em Minas Gerais, pois ele merece maior atenção e respeito por parte de todos nós.

MARCOS PAULO DE SOUZA MIRANDA

Coordenador da Promotoria Estadual de Defesa do
Patrimônio Cultural e Turístico de Minas Gerais

As cavernas constituem um rico patrimônio da humanidade. Esses ambientes são especiais por possuírem características distintas da superfície possibilitando, por exemplo, a melhor conservação de vestígios da vida pretérita, objeto de estudo de paleontólogos e arqueólogos, ou o desenvolvimento de populações altamente especializadas com as quais biólogos e ecólogos tem uma melhor compreensão da evolução animal, ou ainda o acesso aos depósitos minerais e estruturas que permitem a geólogos e outros pesquisadores entender os processos e mudanças da terra.

Além disso, as cavernas estão intimamente entranhadas no desenvolvimento da própria humanidade. Consciente ou inconscientemente temos uma forte relação com o subterrâneo, seja como fonte de recursos, como a água, ou ainda espaços privilegiados para uso espiritual, cultural, turístico, desportivo, educacional e científico.

Apesar de sua destacada importância e da diminuta área terrestre ocupada, o patrimônio espeleológico sofre constante ameaça pela má gestão do território. Por vezes, atividades de menor importância socioambiental tem preferência sobre a conservação desses ambientes, considerando mais os interesses momentâneos e de grupos menores do que o interesse da coletividade e as vantagens em uma escala maior de tempo.

Desde sua fundação, em 1969, a Sociedade Brasileira de Espeleologia tem consciência deste cenário e vem lutando para ampliar a conservação do patrimônio espeleológico através do incentivo e divulgação do conhecimento técnico científico. Nestes 45 anos de existência promovemos a documentação das cavernas através do Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil, realizamos 32 Congressos Brasileiros de Espeleologia e outros eventos para debater o avanço das pesquisas, publicamos revistas científicas e de divulgação, além de livros como este, organizamos cursos e expedições, entre outras inúmeras ações, sempre com o objetivo de deixar um legado de oportunidades às próximas gerações.

Apesar de todo este trabalho e do resultado alcançado, apenas começamos a conhecer o patrimônio espeleológico brasileiro, um conhecimento construído em sua maioria de forma voluntária por espeleólogos e acadêmicos, sem grande apoio do poder público e, por isso, privilegiando regiões com maior número de espeleólogos ou ainda em regiões carbonáticas onde ocorrem as grandes cavernas. O estudo da espeleologia em outras litologias, em especial os associados às rochas ferruginosas, nunca tiveram o merecido destaque, uma deficiência agravada pela ameaça iminente de grandes impactos em decorrência do avanço da mineração nestes territórios.

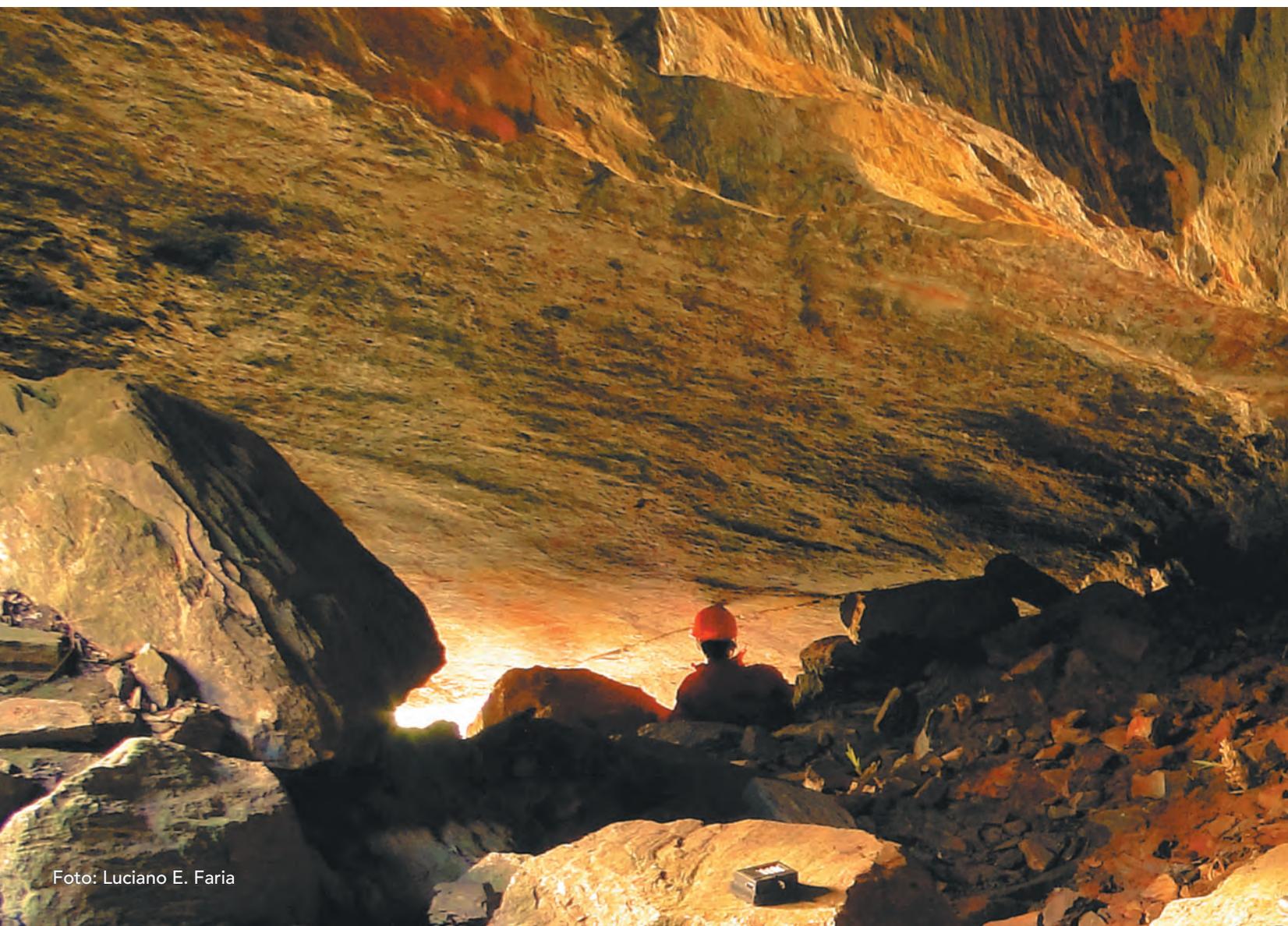
Neste cenário e contando com o importante apoio e estímulo do Ministério Público de Minas Gerais, aceitamos o desafio de reunir pesquisadores promovendo a documentação do conhecimento existente e propondo medidas para a gestão racional desse importante patrimônio de toda a sociedade, um esforço coletivo e participativo tendo como fruto a presente obra. Esperamos que este conteúdo seja aproveitado em todo seu potencial e replicado em outras oportunidades. Boa leitura!

MARCELO AUGUSTO RASTEIRO

Presidente da Sociedade Brasileira de Espeleologia

PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO EM ROCHAS FERRUGINOSAS

UMA APRESENTAÇÃO DA OBRA



LUCIANO EMERICH FARIA

Centro Universitário Newton Paiva

ÚRSULA DE AZEVEDO RUCHKYS

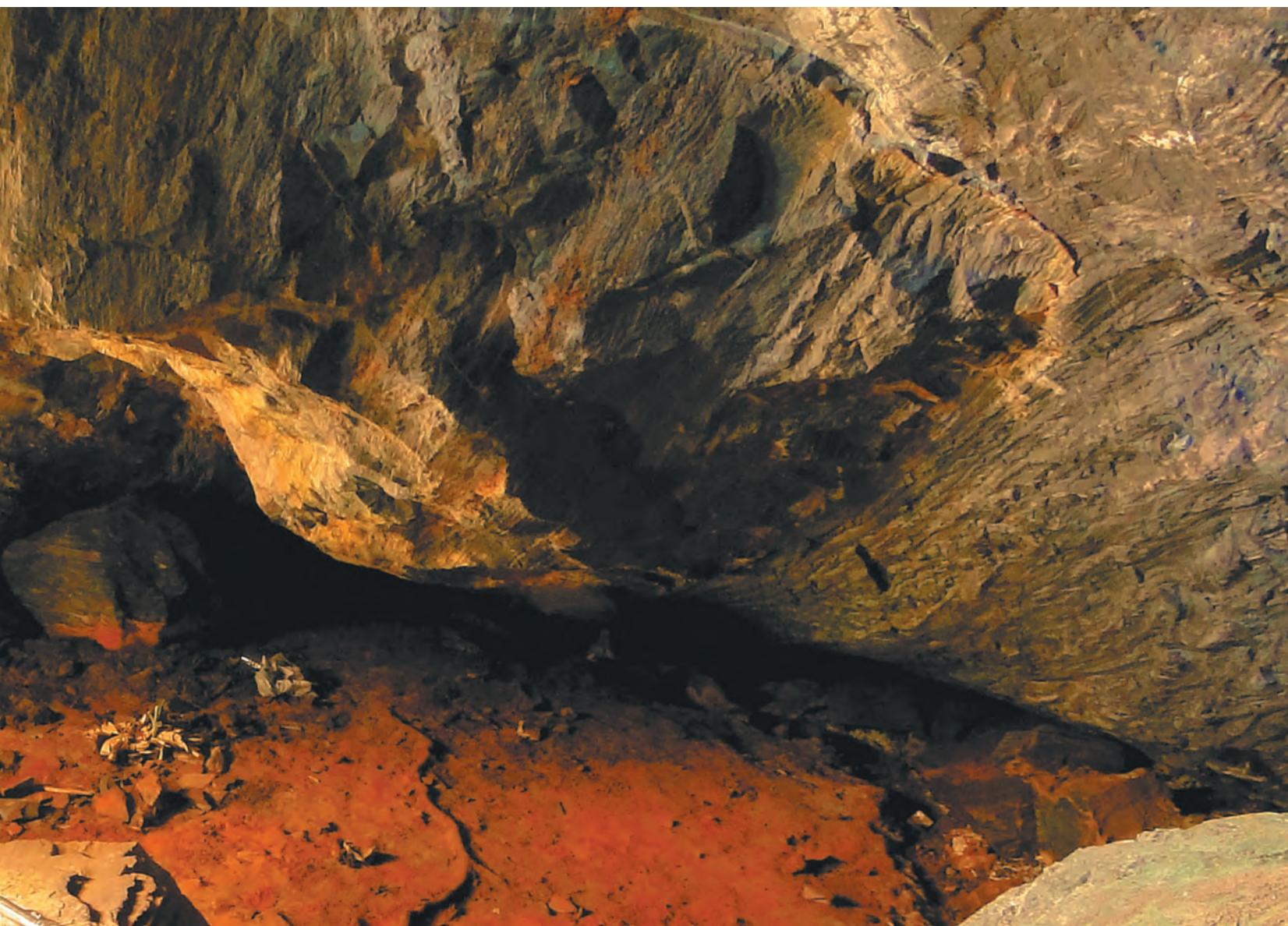
Universidade Federal de Minas Gerais

LUIZ EDUARDO PANISSET TRAVASSOS

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

MARCELO AUGUSTO RASTEIRO

Sociedade Brasileira de Espeleologia



INTRODUÇÃO

Os seres humanos sempre estiveram em contato com cavernas desde tempos mais remotos e, por isso, até mesmo a história de muitas civilizações está relacionada à presença delas. Além disso, a palavra “cavernas” já dispensa explicações, pois faz parte do imaginário de muitas crianças e adultos que tiveram oportunidade de ouvir histórias de ninar, “causos” de parentes e amigos, que assistiram a filmes no cinema, séries de TV, desenhos animados e, até mesmo, as populares novelas.

As cavernas mais conhecidas, especialmente aquelas abertas à visitação e que são amplamente divulgadas na mídia, se desenvolvem em rochas carbonáticas, como o calcário. A paisagem onde estas ocorrem é conhecida como Carste, termo originado de uma região na divisa entre Eslovênia e Itália, onde primeiro foi descrita, como sendo uma paisagem pedregosa com formas de relevo específicas, caracterizadas por depressões fechadas, grande ocorrência de cavernas, poucos rios superficiais e muitos rios subterrâneos. Assim sendo, paisagens similares a essa são chamadas de carste tradicional.

Além das cavernas relacionadas a este chamado “carste tradicional” carbonático, onde os processos de dissolução são dominantes, nos últimos anos vem sendo descrita a ocorrência de cavidades desenvolvidas em outros tipos de ambientes, compostos por rochas como quartzitos e até mesmo rochas ferruginosas, incluindo as denominadas cangas e os itabiritos. No Brasil, cavidades nessas rochas ocorrem notadamente nos Estados da Bahia, Goiás e, principalmente, no Pará e em Minas Gerais, com destaque para a região do Quadrilátero Ferrífero. Nessas regiões os processos erosivos são, aparentemente, mais importantes, embora a dissolução de minerais como quartzo e dolomita nos itabiritos e até a escavação de animais possam contribuir para a formação de cavernas.

O Quadrilátero Ferrífero – QF, se localiza na porção central do Estado de Minas Gerais e abrange uma área de aproximadamente 7.000km² (Figura 1). Seus principais limites são: a norte, a Serra do Curral (que tem diferentes denominações locais); a sul, a serra de Ouro Branco; a oeste, a Serra da Moeda e, a leste, a Serra do Caraça. Essa região, abriga parte importante do patrimônio natural e cultural brasileiro, em especial, um mundo subterrâneo em grande medida desconhecido, que temos a honra de apresentar nesta obra, numa sistematização e síntese do conhecimento produzido até o momento por diferentes pesquisadores sobre o patrimônio espeleológico associado às rochas ferruginosas.

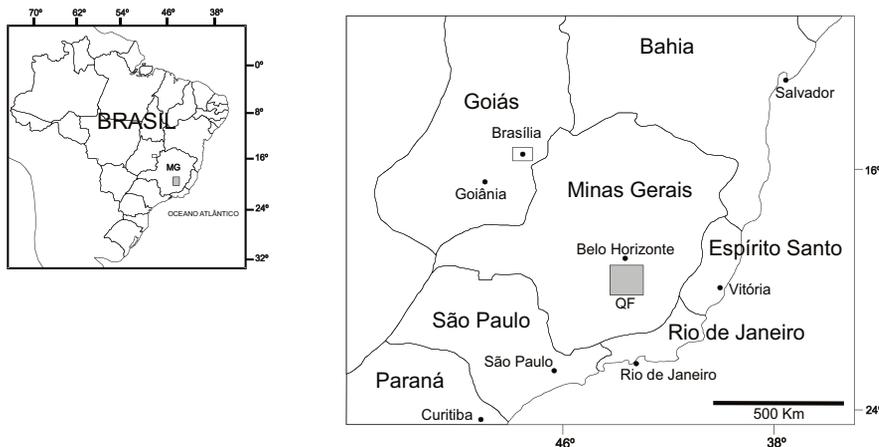


Figura 1: Localização do Quadrilátero Ferrífero.

PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO EM ROCHAS FERRUGINOSAS

UMA APRESENTAÇÃO DA OBRA

O patrimônio espeleológico (do grego *spelaiion* = caverna) é definido como o conjunto de elementos bióticos e abióticos, socioeconômicos e histórico-culturais, subterrâneos ou superficiais, representados pelas cavidades naturais subterrâneas ou a estas associados, incluindo as cavernas, também designadas regionalmente como grutas, grunas, lapas, tocas, abismos, furnas e buracos, seu ambiente, conteúdo mineral e hídrico, as comunidades bióticas ali encontradas e o corpo rochoso onde as mesmas se inserem, desde que a sua formação tenha sido por processos naturais, independentemente de suas dimensões ou do tipo de rocha encaixante (CONAMA, 2004).

As rochas ferruginosas que ocorrem nas cristas de algumas das principais serras do Quadrilátero Ferrífero são conhecidas desde a época dos naturalistas que passaram pelo estado de Minas Gerais e aqui deixaram seus registros em cadernetas de campo e relatos de viagem entre os séculos XVII e XVIII tais como: Eschwege, Spix, Martius e Saint-Hilaire, entre outros. Além desses, destaca-se o trabalho de um ilustre brasileiro, pioneiro nos estudos sobre mineralogia na Universidade de Coimbra (Portugal), José Bonifácio de Andrada e Silva (1763-1838), e que, mais tarde, seria o tutor do futuro imperador do Brasil, Dom Pedro II. Foi ele, Bonifácio, reconhecido como a primeira pessoa a trazer para a comunidade científica o nome do qual se deriva a palavra “canga”, tipo comum de rocha formada por um conglomerado ferrífero acumulado nos topos e encostas das serras do QF onde se desenvolvem cavernas. Em seu artigo “*Memória sobre os diamantes do Brasil*”, de 1792, além de descrever cristalograficamente os diamantes originados do Brasil, Bonifácio descreve as formações geológicas onde eram encontrados tais minerais nos distritos de Serro Frio, Villa Rica e Sabará:

Os diamantes são também encontrados nas crostas ou nas coberturas externas das montanhas. Tais depósitos são formados por camadas de areia fina com seixos ferruginosos arredondados, formando um ocre pudim de pedras a partir da decomposição do esmeril (talvez se referindo a minerais do grupo da magnetita) e um lamacento minério de ferro (talvez essa seja uma descrição pretérita da limonita); isto é chamado cascalho e os leitos, taboleiros. Estes taboleiros têm nomes diferentes de acordo com localização ou natureza: quando a camada é horizontal e no plano do leito do rio, é propriamente um taboleiro; mas se está inclinado sobre colinas, é chamado de Gopiara; Por último, se o pudim pedra contém muito esmeril, é então denominada tabanhua-cauga no brasileiro, ou seja, pedra negra ou pedra ferro (ANDRADA E SILVA, 1792).

Apesar da grafia tabanhua-cauga (com “U” no lugar de “N”), tabanhua-canga e demais termos variados da canga, seriam posteriormente divulgados por Wilhelm Ludwig von Eschwege, o Barão de Eschwege, em 1822. Nesta obra, a associação de tabanhuacanga, ou simplesmente canga, é ligada à tradução do tupi que sugere a cor dos cabelos de escravos envolvidos no árduo trabalho de mineração e transporte de ouro e pedras preciosas nos rincões de Minas Gerais (Figura 2). Uma das interessantes descrições da origem etimológica da palavra “canga” deriva do livro “*ACAYACA – romance indígena: 1729*” escrito por Joaquim Felício dos Santos e publicado em duas oportunidades, 1866 e 1894. O livro escrito, parte ficcional e parte verídica, descreve a exploração de diamantes em Tejuco (antigo nome de Diamantina – MG) e traz o seguinte trecho:

Figura 2 - Negros escravizados mineram diamantes em um riacho dos redores de Curralinho sob os olhares de seus feitores (SPIX; MARTIUS, 1824)



Quando, pela primeira vez, viram os nossos negros trabalhando na mineração, quasi nus, só com uma tanga enrolada na cintura, como um escarneo á honestidade, chafurdando-se na lama, com o feitor ahi ao pé para forçal-os ao trabalho por meio do castigo, exclamaram:

— Tapanhõ-a-canga!

O que quer dizer: — Olha macaco sujo de terra. Esses negros ou macacos, como lhes chamavam os índios, inspiravam-lhes horror, e davam mais um motivo para temerem os brancos que sabiam domesticar e aplicar aos seus serviços um dos animaes indomitos de suas mattas (SANTOS, 1894).

Do ponto de vista histórico, o primeiro interesse nas rochas ferruginosas está associado a sua importância econômica para extração do ferro, sendo que, no Quadrilátero Ferrífero, esses minérios são explorados desde o século XVIII para produ-



Figura 3: Extração de canga nas proximidades de Belo Horizonte - Acervo da biblioteca digital do IBGE: "Crosta de canga ao fundo relevo", Série Acervo dos trabalhos geográficos de campo, Autoria: Yablonsky, T.; Guimaraes, M. R. Ano: s. d. (~ 1950)

ção de instrumentos em pequenas fundições. Uma referência sobre a extração de minério de ferro apareceu no ano de 1956 na “Revista Brasileira de Geografia”, quando Lester C. King descreveu “A geomorfologia do Brasil Oriental”, abordando uma série de viagens que teria feito em parceria com outro grande nome da mineralogia de Minas Gerais, Djalma Guimarães, pelo interior de Minas, Bahia, Sergipe, São Paulo e Rio de Janeiro:

Quando a superfície cortou através do itabirito, apresenta uma camada de 10 metros de canga ou óxido de ferro laterítico que é explorada como minério de ferro em alguns locais. Essa camada de canga ora é côr de ocre e pulverulenta ou extremamente dura e cimentada. Em alguns locais é muito pura, em outros apresenta grande quantidade de fragmentos de outras rochas. No local em que a estrada para Gandarela, por exemplo, atravessa a serra da Máquina, a 1.635 metros ... o aplainamento de tópo (Gondwana) acha-se recoberto por uma espessa camada de canga que é explorada como minério de ferro enriquecido (KING, 1956).

Publicações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), como o fascículo especial intitulado “Paisagens do Brasil”, apresentam a “crosta de canga, sendo desmontada e fragmentada na serra do Curral, cujo minério de ferro é extraído de modo precário com picaretas e alavancas” (IBGE, 1961), outras ilustram a extração de canga em municípios como Ibirité e apontam o pico do Itabirito, no município homônimo, com um grande potencial de extração de minério de ferro (Figuras 3 e 4).

Figura 4: a) Pico de Itabirito no Séc. XIX. Gravura de Stephan, D.; Brandmeyer, A. in von Martius, K.F.P.. Flora brasiliensis (1840-1906) - Fonte: Projeto Flora brasiliensis online, Centro de Referência em Informação Ambiental (CRIA).
b) Pico de Itabirito em fotografia atual. Foto: Miguel Andrade.



Atualmente, associados às riquezas financeiras ligadas à mineração, um número ainda desconhecido de cavernas em rochas ferruginosas, especialmente no Quadrilátero Ferrífero, chama a atenção de autoridades responsáveis tanto pela conservação natural quanto por aqueles que pretendem expandir suas atividades minerárias. Essas cavernas, embora pequenas e ainda pouco conhecidas, representam um importante patrimônio, mas estão entre as mais ameaçadas, devido ao valor econômico do ferro e sua localização quase sempre associada às ocorrências de cavidades.

Para compreender essas cavidades e, conseqüentemente, para promover sua valoração, gestão e conservação, é preciso, primeiro, saber como e onde se formam, sua importância como suporte à vida subterrânea ou superficial, e ainda, seu uso e significado para os seres humanos, seja econômico, cultural, científico ou espiritual. Também é importante contextualizar todo o conhecimento em relação ao patrimônio espeleológico nacional e a importância econômica do ferro.

O PROJETO

Conhecendo as ameaças e a necessidade de ampliar o conhecimento para a boa gestão do patrimônio espeleológico associado às rochas ferruginosas, a Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE, desenvolveu esta obra para reunir o conhecimento já acumulado sobre o assunto e difundi-lo à comunidade espeleológica, ao poder público e aos demais setores da sociedade envolvidos com a questão, propondo medidas de conservação específicas para a região do Quadrilátero Ferrífero e para a Área de Proteção Ambiental (APA) do Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), uma iniciativa que também pode, e deve, se estender a outras localidades.

Para a elaboração da obra, foram convidados pesquisadores com amplo conhecimento e dedicação ao tema em seus respectivos campos de atuação. O livro está dividido em três partes: Contextualização; Patrimônio espeleológico em rochas ferruginosas; e propostas para gestão do Quadrilátero Ferrífero e APA Sul RMBH, conforme apresentado a seguir.

Considerando que as ações mais modernas de gestão territorial sinalizam para alternativas nas quais a atuação de empresas, do Estado e da sociedade é intensificada de modo a compartilharem responsabilidades na gestão patrimonial, foi realizada, para confecção desta obra, uma oficina aberta ao público, além da disponibilização de uma versão preliminar do texto para coleta de sugestões de pessoas que tivessem interesse em se manifestar.

Após ampla divulgação, a oficina teve lugar no Museu de História Natural e Jardim Botânico da Universidade Federal de Minas Gerais em maio de 2014, com 134 participantes, representantes de oito grupos de espeleologia e outras associações, onze consultorias ambientais, treze mineradoras e pelo menos oito universidades (Figura 5). Durante o evento, os participantes tiveram oportunidade de conhecer a equipe de autores e a proposta da obra, além de opinar sobre os temas que seriam abordados (RASTEIRO, 2014a).

Uma versão preliminar da obra foi disponibilizada na internet no período de 01 a 20 de Agosto de 2014 como uma oportunidade para consulta e participação da população interessada, fazendo com que, como salientam Scifone e Ribeiro (2006), a definição do patrimônio espeleológico não fosse feita “a frio”, ou seja, sem considerar a participação do público (RASTEIRO, 2014b).



Figura 5: Seminário
Cavernas em Ferro
Foto: Luciano E. Faria

Todo o processo, desde o lançamento do projeto, composição da equipe, oficina, consulta e lançamento foi amplamente divulgado. Também foi estimulada a participação de todos envolvidos e o resultado deve ser difundido a todos interessados, seja pela versão impressa desta obra, seja pela versão eletrônica disponível gratuitamente na internet.

OS CAPÍTULOS

A primeira parte, **Contextualização**, tem o objetivo de apresentar a espeleologia e o patrimônio espeleológico nacional, independentemente do tipo de rocha onde ocorrem, além de mostrar o ferro como recurso mineral e sua exploração econômica. Esta parte é constituída por oito capítulos: o primeiro, que apresenta a obra; no segundo capítulo, *Histórico e importância da espeleologia*, Figueiredo faz um relato do surgimento e do desenvolvimento da Espeleologia, bem como de sua organização no Brasil e na América do Sul; o terceiro capítulo, *Breve inventário do Patrimônio Espeleológico* elaborado por Hardt, apresenta a riqueza do patrimônio espeleológico brasileiro em diferentes litologias e a importância de seu registro; no capítulo *Proteção jurídica do patrimônio espeleológico*, Miranda e Chiodi discutem as leis que podem ser aplicadas para conservação de cavernas, dando enfoque aos princípios jurídicos que lhes dão suporte; no capítulo *Formações ferríferas e minérios de alto teor associados*, Rosière explica a origem, evolução e peculiaridades das rochas ferruginosas, além de apresentar sua distribuição no Brasil; no capítulo *A importância econômica do ferro*, Machado e Ruchkys apresentam a evolução histórica e a dependência econômica nacional e internacional deste bem mineral. A primeira parte da obra é fechada com o capítulo *Os conflitos resultantes da produção de minério de ferro*, de Castro e Machado que ilustram os conflitantes aspectos do uso da natureza como fonte de recursos.

A segunda parte do livro, **Patrimônio espeleológico em rochas ferruginosas**, tem o objetivo de apresentar o “estado da arte” sobre o conhecimento deste patrimônio associado às rochas ferruginosas. Abordando os diversos campos do conhecimento, essa parte se inicia com o capítulo *Geoespeleologia das cavernas em rochas ferríferas*, de Calux e Cassimiro que apresentam as principais províncias e distritos espeleológicos em rochas ferríferas do Brasil, abordando aspectos dimensionais, morfológicos, hidrológicos e sedimentares; no capítulo *Gênese e desenvolvimento de cavernas naturais sub-*

terrâneas em formações ferríferas, Dutra descreve os principais processos envolvidos na formação dessas cavernas; Bichuette et al., apresentam os habitats subterrâneos, as características e os desafios para sua conservação, no capítulo intitulado *Biota subterrânea associada às cavernas em formações ferríferas*; na sequência, Bittencourt et al., apresentam os importantes registros fósseis das paleotocas, cavernas formadas pela ação de grandes animais extintos; no capítulo, *Registro paleontológico em cavidade de formações ferríferas na Serra do Gandarela (MG)*; em *Arqueologia nas cavernas e suportes ferruginosos*, Baeta e Piló relacionam os vestígios arqueológicos encontrados no interior e entorno destas cavidades em diversas regiões do Brasil. A segunda parte da obra é finalizada com o capítulo *Valor cênico, turismo e religião* de autoria de Travassos, que mostra a importância destes aspectos associados ao patrimônio do Quadrilátero Ferrífero.

Finalmente, a última parte, ***Propostas para gestão do Quadrilátero Ferrífero e APA Sul RMBH***, objetiva, por meio do conhecimento apresentado pelos especialistas nos capítulos anteriores e utilizando outras fontes, propor diretrizes para gestão e conservação deste patrimônio no estado de Minas Gerais, em especial na região do Quadrilátero Ferrífero. Esta parte tem início com o capítulo *Serviços da Geodiversidade Associados às rochas ferruginosas: pressão e oportunidades de conservação*, no qual Ruchkys e Machado mostram as principais atividades que impactam o patrimônio espeleológico do Quadrilátero Ferrífero e elencam iniciativas que podem contribuir para sua valorização e proteção, incluindo a aplicação do conceito de geoparques; na sequência, está o capítulo *Panorama do patrimônio espeleológico do Quadrilátero Ferrífero*, escrito por Pereira et al., que geoespacializam as cavidades naturais subterrâneas em rochas ferruginosas já cadastradas do QF e relacionam sua ocorrência com os municípios, com os distritos espeleológico e com as áreas legalmente protegidas; no capítulo, *Áreas prioritárias para geoconservação do patrimônio espeleológico em rochas ferruginosas*, Ruchkys et al., apresentam as regiões mais importantes para a conservação das cavidades naturais subterrâneas por distrito espeleológico; no capítulo, *Cavernas ferruginosas em unidades de conservação: garantia de proteção?* Carmo et al., apresentam um estudo de caso da Área de Proteção Ambiental da Região Sul Metropolitana de Belo Horizonte (APA SUL RMBH), mostrando o risco da perda do patrimônio espeleológico e fazendo considerações sobre os métodos e formas de avaliação adotadas. A obra se encerra com o capítulo, *Gestão do patrimônio espeleológico regional*, de autoria de Ruchkys e Travassos, que apresentam as diretrizes, metas e recomendações para a conservação deste rico patrimônio.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em conta tanto os valores econômicos quanto os patrimoniais associados às rochas ferruginosas, é premente que a concepção da indústria mineral seja baseada não somente no sentido utilitarista, mas também, de conservação do patrimônio natural e cultural do Quadrilátero Ferrífero, de maneira geral e, de forma específica, do patrimônio espeleológico associado às rochas ferruginosas.

Este é o objetivo desta obra: mostrar o valor desse ainda pouco conhecido patrimônio e ressaltar que este território tem as cavidades em rochas ferruginosas como um de seus valores naturais e culturais mais singulares. É importante que esse patrimônio seja considerado no planejamento e desenvolvimento de atividades potencialmente impac-

tantes e que sua análise e conservação não caibam somente em medidas mitigadoras tardias ou ditas compensatórias. Esperamos ser capazes de transmitir às autoridades públicas e a toda a comunidade, o conhecimento e preocupação que, há muitos anos, têm alcançado os espeleólogos e ambientalistas, contribuindo no aperfeiçoamento de procedimentos para avaliação e conservação do patrimônio espeleológico. Isto inclui, por um lado, o conhecimento interdisciplinar de todos os aspectos relativos às rochas ferruginosas e, por outro lado, o desenvolvimento de propostas metodológicas e planos de ações que tratem, de maneira integrada, as cavidades naturais subterrâneas, permitindo incorporar os valores intangíveis da geodiversidade nos processos de análise, planejamento e gestão do território. Tudo isso a fim de desenvolver instrumentos para gestão, tutela e utilização social do patrimônio espeleológico.

Esperamos que a contribuição dos distintos autores desta obra possa sensibilizar, tanto o mundo científico quanto o público em geral, da necessidade de conhecermos melhor o patrimônio espeleológico associado às rochas ferruginosas sem, é claro, ignorar sua importância econômica. Esperamos, também, incentivar novas investigações e publicações nesta área.

REFERÊNCIAS

- ANDRADA E SILVA, J. B. S. Mémoire sur les diamants du Bresil. *Annales du Chimie*, Outubro de 1792.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2004. *Resolução Conama nº347*. Disponível em: <www.cavernas.org.br/leis/ResCONAMA347.htm> Acesso em: 01 jul. 2014.
- ESCHWEGE, W. L. von. *Geognostisches Gemälde von Brasilien und wahrscheinliches Muttergestein der Diamanten*. Weimar: Landes-Industrie-Comptoir, 1822.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Conselho Nacional de Geografia. *Paisagens do Brasil*. Divisão de Geografia: Rio de Janeiro, 1961.
- KING, L. C. A. Geomorfologia do Brasil Oriental. *Rev. Bras. Geogr.*, Rio de Janeiro, v.18, n. 2, p. 147-265, 1956.
- RASTEIRO, M. A. Seminário Cavernas em Ferro contou com 134 participantes. *SBE Notícias*, Campinas, n. 294, p. 1, 15 de Maio de 2014a. Disponível em: <www.cavernas.org.br/sbenoticias/SBENoticias_294.pdf> Acesso em: 01 jul. 2014.
- RASTEIRO, M. A. SBE realiza consulta sobre cavernas em ferro. *SBE Notícias*, Campinas, n. 299, p. 1, 01 de Agosto de 2014b. Disponível em: <www.cavernas.org.br/sbenoticias/SBENoticias_299.pdf> Acesso: 01 ago. 2014.
- SANTOS, J. F. dos. *Acayaca - Romance indígena, 1729*. Typographia do Estado de Minas: Ouro Preto, 1894. Disponível em: <www.brasiliana.usp.br/bbd/handle/1918/01874800#page/5/mode/lup> Acesso em: 22 fev. 2014.
- SCIFONI, S.; RIBEIRO, W.C. Preservar: por que e para quem? *Patrimônio e Memória*, v.2, p. 1-12, 2006.
- SPIX, J. B. von; MARTIUS, C. F. P. von. *Travels in Brazil, in the years 1817-1820*. Londres: Longman, Hurst, Rees, Orme, Brown, and Green, 1824.

HISTÓRICO E IMPORTÂNCIA DA ESPELEOLOGIA



LUIZ AFONSO V. FIGUEIREDO

Centro Universitário Fundação Santo André (FAFIL/CUFSA)

Sociedade Brasileira de Espeleologia (SEFE-SBE)

Federación Espeleológica de América Latina y del Caribe (FEALC)



INTRODUÇÃO

Ao pensar na trajetória da humanidade não há como deixar de lado a importância que as cavernas tiveram na vida humana, suas procuras, suas necessidades, seus desejos. Lugares sombrios, obscuros, amedrontadores, mas que eram ao mesmo tempo acolhedores e protetores. Se havia algum medo e algum mistério acerca de o que existiria em seu interior, havia também a vontade incontida da descoberta, a ousadia de entrar e buscar algo novo e acolhedor.

Leonardo Da Vinci já se inquietava com o poder das cavidades, sua ambígua função de causar medo, estimular aventuras e contar segredos.

Impelido por um vivo afã, anseio ver a grande confusão das formas diversas e estranhas criadas pela artificiosa natureza; [...] cheguei à entrada de uma grande caverna ante a qual me detive estupefato, ignorante de sua existência. [...] transcorrido algum tempo, de súbito se despertaram em mim duas coisas: temor e desejo;

temor inspirado pela ameaçadora e escura espelunca; desejo de ver si dentro dela havia algo de milagroso. (DA VINCI apud DEMATTEIS, 1975, p. 8, tradução livre, grifos nossos).

As cavernas foram descritas nos mais antigos registros e memórias que se tem notícia. Esses indícios e citações vêm sendo transmitidos através dos tempos, em lendas, mitos e crenças, e estão, ainda, presente nos escassos documentos que demonstram as relações históricas do homem com as cavernas. (BIEDERMANN, 1993).

A arte rupestre seria sua primeira forma de expressão, registrando o ambiente externo, suas atividades e dando também os informes iniciais sobre o ambiente cavernícola. Os achados arqueológicos (fogueiras, ossadas, pedras lascadas, cerâmicas, pinturas, etc.) confirmaram sua utilização como uma das primeiras formas de abrigo, moradia ou templos religiosos.

AS CAVERNAS: SEUS ASPECTOS SIMBÓLICOS E FILOSÓFICOS

Do ponto de vista simbólico, as cavernas eram retratadas em diversas representações como locais onde nasciam deuses, heróis ou ninfas. As cavernas estão muitas vezes associadas ao útero e ao colo materno. (SCHAMA, 1996). E também da busca psicológica do seu próprio eu.

Entre as referências mais antigas e mais divulgadas, ligadas ao imaginário simbólico da caverna, encontra-se a famosa *Alegoria da Caverna*, de Platão. As metáforas utilizadas pelo filósofo são recorrentes e foram usadas para discutir a oposição entre o mundo inteligível e o mundo sensível. O texto produzido por Platão no livro *A República* propõe uma discussão sobre a natureza humana e a ascensão da alma quanto à educação plena, ou seja, como sair das trevas da ignorância, nossa prisão, e buscar a luz da sabedoria. Coisa que do ponto de vista de Platão só os filósofos seriam capazes. (PLATÃO, 2008; LAZARINI, 2007).

São frequentes as imagens primitivas ligadas às cavernas nos cultos de iniciação e de fertilidade, questões de sexualidade e abrigo maternal associadas. Em seu abrangente estudo sobre história das religiões, Eliade (1998) apresenta passagens liga-

das às cavernas, na maioria das vezes, associadas ao simbolismo aquático, por meio da relação água, sêmen e fecundidade. Relações religiosas com a água permitiram também inferir ligações com as cavernas, sempre associadas a cultos, devoções, sacrifícios e milagres, propagando em várias culturas, por vezes se sobrepondo em outras épocas. Um exemplo disso são os cultos e oferendas dos maias em grutas e cenotes da península de Yucatán, no México. (BEDDOWS et al., 2007; GALLARETA-NEGRÓN, 2007; EVIA CERVANTES, 2011; GOMÉZ-CHACON; RUIZ-SILVA, 2010).

Nos livros de religiões de origem judaico-cristã, as cavernas convivem com os conflitos entre o bem e o mal. Existem diversos trechos da Bíblia Sagrada contendo passagens em cavernas, associada à ideia de refúgio, desespero, súplica, atalho, vingança, geração incestuosa de povos bravios ou lugar dos mortos. Nos Salmos há a súplica de Davi, que se refugia do Rei Saul em uma caverna. Em Josué, nas contendidas militares de Canaã, prendem-se os cinco reis em uma caverna, depois os matam e colocam seus despojos nas mesmas cavernas, cujos pórticos são lacrados com blocos de rochas. (FIGUEIREDO, 2010; TRAVASSOS, 2010).

HISTÓRICO E IMPORTÂNCIA DA ESPELEOLOGIA

Diversas situações são relatadas em que as cavernas são colocadas como obstáculos e penitências em roteiros de peregrinação católica. (SCHAMA, 1996). Em várias cavernas foram descritas aparições sagradas (Gruta de Lourdes), também o lugar onde nasceu e ressuscitou Jesus.

Esse tipo de atividade ligada às cavernas decorre da influência das imagens do ambiente cavernícola na construção do imaginário coletivo relacionado ao sagrado, com destaque para os cultos católicos, estimulando a imaginação e ampliando a procura por esse tipo de ambiente, em virtude da promessa de obtenção de satisfação dos anseios ou dentro de um processo de produção cultural, tais como curas milagrosas, obtidas pelas águas de gotejamento que escorrem nas paredes e nas formações da caverna, ou nos amuletos feitos com pedaços dos espeleotemas. (FIGUEIREDO, 2010; TRAVASSOS, 2010).

De um lado, imagens vinculadas aos aspectos positivos, o lado mágico, religioso, milagroso ou mesmo exaltando as belezas naturais; de outro, os aspectos negativos, lugar abafado, inóspito, sombrio. (LINO, 1989; FIGUEIREDO, 1998; 2010; 2012).

Do ponto de vista da influência da cultura oriental na concepção zen-budista de caverna, observa-se outro modo de pensar o mundo subterrâneo. Como no caso do monge na China Central que, depois de muito peregrinar, resolveu habitar uma caverna na Montanha dos Ventos Afortuna-

dos. Diversas pessoas o visitam em busca da compreensão de suas dúvidas, poder, propriedade, testando a sabedoria do monge, mas ele rebate a todos com reflexões sobre a vida, sua relação com a caverna e sua humilde existência. (VAN, 2006).

Embora ainda existam humanos que habitam cavernas em vários pontos do planeta, hoje as relações do homem com as cavidades naturais estão mais associadas à visitação, envolvendo o turismo de lazer ou religioso, as atividades técnico-científicas (diversos estudos e pesquisas espeleológicas), atividades de aventura (exploração espeleológica), a busca de fontes para a obtenção de água, ou às atividades econômicas (produção de cogumelos, queijos, vinhos, etc.), e as atividades terapêuticas (tratamento de doenças respiratórias, entre outras).

Algumas grutas foram, inclusive, utilizadas como refúgio durante guerras, tais como as que ocorreram na Europa, assim como no Vietnã, Cuba e África. Durante o holocausto ocorreram diversos casos de sobrevivência de judeus, que se esconderam em grutas. (TAYLOR; NICOLA, 2007). Por outro lado, existem outros relatos que evidenciam usos de cavernas como cemitérios coletivos durante períodos de guerras mundiais e étnicas. (TRAVASSOS, 2009).

As representações simbólicas do mundo subterrâneo são citadas em documentos literários, sempre associados às ideias de tesouros escondi-



Figuras 1 e 2: Pinturas rupestres em cavernas brasileiras. Lapa dos Desenhos (MG) e Lapa do Sol (BA). Foto: Luiz Afonso Figueiredo, 2009 e 2011

dos, aventura, provação heroica, algo amedrontador, mas que pode ter suas recompensas. O lado poético também se manifesta em outros aspectos, tais como: a tranquilidade, a fragilidade humana, a introspecção e a busca da alma, a aventura, a ação revolucionária das águas, os murmúrios do escuro, a imaginação de vozes, o controle dos medos, etc. Apesar do sentimento de aflição e opressão ser forte na sociedade moderna, ressaltam-se as representações de paraíso protegido, de viagem interior, de busca incessante e de redescoberta (FIGUEIREDO, 200; 2010b; 2011a).

Com relação aos espaços escuros, como no caso das cavernas, Bachelard (1990) traz elementos para a compreensão da angústia e do medo. Existe um forte psiquismo nos ambientes escuros; já observamos isso na Alegoria da Caverna. As sombras são consideradas espaços da ignorância ou do desconhecido, e isso causa medo, repulsa e opressão. Em virtude disso, o ambiente cavernícola ainda é povoado de mistérios, apesar de que é esse mesmo desconhecido, essa curiosidade, que insti-

ga o próprio turismo, o chamado turismo de aventura, e mesmo o espeleoturismo. (FIGUEIREDO, 2012).

As diversas ornamentações nas cavernas fazem aflorar o tempo todo nos visitantes os seus devaneios poéticos e a imaginação, materializando escorrimentos mineralizados de calcita como longas cortinas; estalagmites como imagens de Buda, seios, sapos, demônios, cactos; ou as agulhas de aragonita (carbonato de cálcio, CaCO_3) vistos como buquês de flores. Bachelard nos fala de uma intimidade em conflito, atingindo uma química sentimental, na qual ocorre um combate entre substâncias, e, nas metáforas de uma psicologia da violência e da agressão, coloca-nos diante de uma química de afinidades e hostilidades. (BACHELARD, 1990).

“Todos os grandes sonhadores, todos os poetas, todos os místicos conhecem essas águas subterrâneas e silenciosas que nos arrebatam por inteiro. (...)” (BACHELARD, 1990, p. 170).

ESPELEOLOGIA E PRÁTICAS ESPELEOLÓGICAS: CONCEITO E REPRESENTAÇÕES

O termo espeleologia, surgiu relacionado a uma diversidade de atividades realizadas em cavernas. A definição de espeleologia demonstra sua relação com duas origens etimológicas diferentes, embora concordantes. Do grego temos *spelaiion* (caverna). Do latim *spelaeum* (cavidade natural) e *logos* (estudo). (FIGUEIREDO, 2010).

A proposta surgiu na França, difundida por Édouard-Alfred Martel (1859-1938). Advogado de formação, por força da influência familiar, mas que desde pequeno visitava as cavernas e que foi aumentando o seu fascínio por esse tipo de atividade. A partir de 1883, realizou diversas expedições cada vez mais técnicas, em uma época que não existiam equipamentos apropriados, nem conhecimento suficiente sobre o grau de dificuldade a ser enfrentado.

A necessidade de explicar os fenômenos envolvidos com a formação das cavernas levou Martel a buscar uma perspectiva científica para entender os aspectos hidrogeoquímicos, a presença de vestígios biológicos, arqueológicos e paleontológicos. Também foram estudados os processos de contaminação ambiental em cavernas. Surgiu então a ideia de uma ciência própria, mas de caráter multidisciplinar. Martel adotou o nome *Espeleologia*, proposto em 1890 por Emile Rivière, sendo grande precursor e divulgador mundial do tema. (SHAW, 1992; SCHUT, 2006).

Figura 3: Édouard-Alfred Martel, foto publicada na capa da revista Sciences et Voyages, nº198 de 14 junho de 1923. Foto: autor não identificado.



Figuras 4 e 5: Exploração subterrânea de cascatas em fluxo ou congeladas por Martel e colaboradores. Aquarelas de Lucien Rudaux (1874-1947) – Fonte: Blog de Bernd Kliebhan, out. 2008.



No geral há concordância de que o termo espeleologia designa a ciência que estuda as cavidades naturais e os fenômenos cársticos. Poderíamos defini-la como a área do conhecimento que estuda as cavidades naturais do ponto de vista científico, utilizando elementos técnicos e desportivos e que busca a proteção do patrimônio espeleológico.

Por outro lado, esse termo tem a mesma origem da palavra *espelunca*, que significa 1) lugar mal frequentado, pobre, sujo; 2) Casa de jogo de má categoria; 3) antro, caverna; 4) Esconderijo de bandidos. (ESPELUNCA, 2007, p. 417). Esse verbete dá ideia de associação das cavernas a lugar ruim e de má índole, reforçando o imaginário negativo das cavernas.

O desenvolvimento da espeleologia, assim como do turismo na natureza, do espeleoturismo e as atividades de aventura têm ajudado a diminuir essa imagem negativa e reforça a beleza desses recantos escondidos, o contato direto com o ambiente natural e diversos aspectos psicofisiológicos decorrentes.

As viagens à natureza são vistas por Bruhns (2003, p. 33) não só como atividades de lazer ou práticas esportivas, mas como aproximação aos rituais de purificação, substituindo os sentimentos de provação, por uma experiência estética de distanciamento da vida cotidiana. Assim é comum, após atividades em trilhas e cavernas, observarmos pessoas cheias de lama, mas sentindo-se flutuando, brincalhonas, reenergizadas, reconectadas. Desse

modo, são descobertas novas fronteiras do corpo, com a potencialização do exercício dos sentidos, a busca incansável por novas sensações, novos limites. (BRUHNS, 2003; 2009).

Do ponto de vista do imaginário e das representações sociais da paisagem subterrânea realizamos estudos com estudantes do ensino médio, universitários e espeleólogos, procurando explicações espontâneas sobre o termo caverna. (FIGUEIREDO, 2010, 2011a, 2012) Observamos imediatamente nas representações dessas pessoas as palavras *escuro/escuridão*, demonstrando a força da ausência de luz na construção da imagem das cavidades. Entretanto a palavra remete também a compreensões das limitações da atividade: é preciso vencer barreiras, ter equipamentos apropriados e, inclusive, superar o receio de entrar na obscuridade da caverna.

Outra palavra que aparece em destaque é *morego*. Percebe-se uma nítida coerência nessa escolha, tendo em vista que esses animais habitam e se adaptaram a esse espaço obscuro e, ao mesmo tempo, povoam amplamente o nosso imaginário. Entretanto, geralmente vêm associados à ideia de medo e vampirismo, indevidamente ressaltado pelo cinema e pela literatura. (FIGUEIREDO, 2013).

Completam a visão das cavernas as palavras *rocha/pedra*, como definição do entorno físico da cavidade, associado à palavra *água*, devido a sua ação transformadora e modeladora da paisagem exterior e interior, participando dos processos formadores da caverna.

Ao contemplarmos as outras palavras associadas à ideia de caverna, mesmo as descritas pelos próprios espeleólogos, vemos que esses aspectos racionais estão sempre envolvidos, mas também permeados por aspectos subjetivos e simbólicos, descritos nas palavras beleza, mistério, aventura, curiosidade, descoberta, entre outras.

Uma questão-chave que se apresenta é a ideia de o que é ser um espeleólogo; o que faz alguém se reconhecer como tal; onde surge a tênue separação daqueles que simplesmente visitam uma caverna e daqueles impregnados por seus conteúdos simbólicos, que acabam se envolvendo como agentes sociais relacionados com o estudo e a proteção da paisagem subterrânea, criando um vínculo muito íntimo.

Diversos autores da espeleologia têm procurado definir o campo de atuação do espeleólogo, sendo comum destacarem o papel da exploração de cavernas. Ressaltam-se aspectos relacionados com o inusitado da atividade, o desconhecido, primazia de ser o primeiro, vencer obstáculos, cuidados, entre outras características.

Isso é demonstrado no texto do italiano Giuseppe Dematteis (1975, p. 8-9), para o qual:

Um autêntico espeleólogo penetra nas cavernas porque o que vê e descobre nela lhe interessa e lhe apaixona. Por isso a espeleologia é também uma ciência, mas no sentido mais amplo da palavra,

ou seja, um desejo de conhecer, de descobrir o que está oculto. [...] A espeleologia, por conseguinte, é antes de tudo uma aventura que nos leva a descobrir certos aspectos particularmente secretos e extraordinários da natureza. [...].

É por isso que Marcelo Rasteiro (2007), especialista em ecoturismo, tece algumas reflexões sobre a classificação rígida do termo espeleologia, por conta da legislação brasileira relacionada com áreas protegidas, tendo em vista dividir os visitantes de cavernas em apenas duas categorias: pesquisadores e turistas. Considera que isso não dá conta de uma gama de pessoas interessadas no ambiente cavernícola, que não realizam estudos no sentido estritamente científico, nem estão fazendo uma simples visita de lazer relacionada com pacotes turísticos oferecidos pelo mercado. São adeptos da atividade espeleológica, que não estão interessados nos roteiros restritos à atividade espeleoturística, mas em busca de espaços de aventura associados ao autoconhecimento e à descoberta de novas paisagens e contato com a natureza.

De qualquer forma, as características que melhor definem o ser espeleólogo são: paixão, conhecimento/técnica, aventura, ambientalismo, participação, personalidade e interações/relações interpessoais entre praticantes dessa atividade. (FIGUEIREDO, 2010, 2011b, 2012.)

HISTÓRIA DA ESPELEOLOGIA MUNDIAL E SUAS REPERCUSSÕES NO BRASIL

A história da espeleologia nos fornece a descrição dos ricos cenários da exploração da paisagem cárstica, além de documentos, marcos e informações sobre os momentos mais significativos que registram a evolução da técnica e da ciência espeleológica, demonstrando a importância educativa da recuperação da memória e dos contextos em que ela é produzida.

Entre os autores que mais contribuiu para o estudo da história espeleológica está Trevor Shaw, dedicando uma parte do seu estudo especificamente para a exploração espeleológica, a qual ele considerava muito mais do que um conjunto de técnicas, mas a busca por subsídios científicos sobre as cavernas.

Seus precursores sempre tiveram uma íntima relação com ambos os lados, como Valvasor (1641-1693), Steinberg (1684-1765) e, modernamente, Martel (1859-1938), visto que os progressos adquiridos no campo da exploração eram igualmente importantes para a ciência espeleológica (SHAW, 1992).

As motivações para o crescimento da exploração de cavernas eram a simples curiosidade, o interesse científico, a exploração comercial ou, mais recentemente, o prazer decorrente de um esporte desafiador (SHAW, 1992). Era necessária a improvisação de equipamentos e técnicas para as atividades exploratórias. Mas não precisamos ir tão longe, no Brasil a maioria dos espeleólogos que iniciaram suas atividades antes

dos anos 1990 passou pela difícil tarefa de improvisar todo o equipamento: capacetes, reatores de carbureto, cordas, blocantes de escalada, isso sem falar em calçados, mochilas e vestuário, entre outras coisas.

A atuação francesa irá propiciar um gradativo processo de organização da espeleologia mundial, seja pelo desenvolvimento de diversos grupos de espeleologia ou pela articulação e difusão do conhecimento nos eventos, nas revistas, boletins informativos e publicações em geral.

Um marco nas discussões sobre as cavernas foi a realização do 1º. Congresso Francês de Espeleologia, em 1939. Após esse encontro iniciaram-se as articulações para a organização de um Congresso Internacional de Espeleologia, cujo primeiro evento somente foi realizado em 1953, na própria França. Os outros congressos internacionais foram sendo realizados a cada quatro anos, em média. Durante o 4º. Congresso Internacional de Espeleologia, realizado em 1965 na ex-Iugoslávia, atual Eslovênia, foi fundada a **União Internacional de Espeleologia (UIS)**, entidade cujo objetivo é integração dos espeleólogos e difusão do conhecimento espeleológico.

A espeleologia na América Latina e no Caribe tem seu desenvolvimento marcado, principalmente, pela influência da atuação de naturalistas e viajantes europeus, que vinham em busca de descobertas e organização de coleções científicas em regiões que ainda não se tinham muitos conhecimentos. Apesar do destaque para os aspectos científicos, algumas dessas viagens tiveram, também, cunho político-territorial ou mesmo econômico. (FIGUEIREDO, 2010, 2011).

A organização das entidades espeleológicas em vários países, a partir da década de 30, levou à estruturação de sociedades e federações de âmbito nacional, como a Sociedade Espeleológica de Cuba (SEC) em 1940. A articulação das entidades nacionais levaram à criação da **Federação Espeleológica da América Latina e Caribe (FEALC)**, em Cuba no ano de 1982. A região geográfica é abrangida por 25 países, entretanto, apenas 14 países são associados, Cuba, Venezuela, Brasil, México, Argentina, Porto Rico, Paraguai, Honduras, entre outros.

Em 1988 foi o realizado o 1º. Congresso de Espeleologia da América Latina e do Caribe (CEALC), que apesar de ter uma periodicidade irregular, tem cumprido o papel de aproximar espeleólogos, estimular ações conjuntas, fortalecer federações e entidades

nacionais e comunicar as produções sobre o mundo subterrâneo latino-americano e caribenho.

No Brasil, pesquisas sobre História da Espeleologia ainda são poucas, devido à falta de estímulos, falta de pesquisadores qualificados ou interessados no assunto, além do pequeno número de material registrado ou conservado. Muitos dos dados existentes para a reconstrução das origens da atividade espeleológica são controvertidos ou apresentam informações incorretas e muitas vezes incompletas, necessitando de um trabalho intenso e bastante cuidadoso.

Deve-se destacar o papel dos grupos espeleológicos nas atividades de prospecção, exploração e topografia de cavernas. Além disso, as universidades e institutos de pesquisa têm ampliado o número de estudos e publicações sobre temas espeleológicos, destacando-se as áreas de geologia, biologia, geografia, turismo e gestão ambiental, ampliando a divulgação do tema.

A organização de dados históricos tem ocorrido desde os anos 1970 no Brasil (MARTIN, 1979; SÁNCHEZ, 1986; DEQUECH, 1987a; 1987b; 1987c; 1987d; 2000; LINO, 1989). No entanto, um trabalho sistemático somente aconteceu a partir da criação, em 1994, da Seção de História da Espeleologia da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE), cuja principal atribuição foi desenvolver uma ampla pesquisa para o **Projeto História da Espeleologia Brasileira (PROHEB)**, um estudo de caráter permanente e colaborativo. (ROMEJUN, FIGUEIREDO, LA SALVIA, 1996; FIGUEIREDO, LA SALVIA, 1997; FIGUEIREDO, 2000; 2010; 2011c).



Figura 6: Programa do 1º Congresso de espeleologia da América Latina e Caribe (1988). Arte: Carlos Alberto de Oliveira - Acervo SBE.

PRIMEIRO PERÍODO (ATÉ 1936): PRIMÓRDIOS DA ESPELEOLOGIA BRASILEIRA E A INFLUÊNCIA DOS NATURALISTAS

Existem vários indícios de que as atividades em cavernas brasileiras tenham ocorrido muito antes o século XVI, ligado às moradias, às atividades e aos rituais dos indígenas, habitantes do período pré-colonial. Entretanto, uma das primeiras referências somente seria feita pelo Padre Francisco Soledade, por volta de 1717, comentando a visitação religiosa à Lapa do Bom Jesus, na Bahia, que provavelmente já vinha sendo realizada desde 1691. (PIRES, 1929; LINO, 1989).

Ainda no período colonial, temos a descrição da atuação do próprio governador da Bahia, D. João de Lencastre, que realizou entre 1695 e 1701 um levantamento de jazidas salitrosas em grutas do sertão baiano, estudando o potencial econômico e aproveitamento para obtenção de pólvora. Considerada ao final como sendo anti-econômica. (PIRES, 1929; ESCHWEGE, 1979).

Os naturalistas brasileiros tiveram papel importante no registro de cavernas, com destaque para o baiano Alexandre Rodrigues Ferreira (1756-1815), que descreveu, em 1791, para o jornal *O Patriota*, grutas existentes no atual estado do Mato Grosso do Sul, como a gruta Ricardo Franco (MS-001), conhecida na época como gruta do Inferno ou do Forte Coimbra, que o próprio Ricardo Franco, engenheiro e comandante do Forte, já havia explorado em 1786. (PIRES, 1929; CORRÊA FILHO, 1939; ESCHWEGE, 1979).

Uma das primeiras descrições de cavernas paulistas ocorreu em 1805, feita por Martim Francisco Ribeiro de Andrada, irmão do ilustre estadista e mineralogista, José Bonifácio de Andrada e Silva, no seu *Diário de uma Viagem Mineralógica pela Província de São Paulo*. Nesse documento há uma descrição do Vale do Ribeira, com destaque para o município de Iporanga, considerado hoje a Capital das Grutas; além dos comentários sobre a caverna Casa de Pedra, ele também exaltava, em riqueza de detalhes, a gruta como tema de pintura e possibilidade de viagens. (ANDRADA, 1977; FIGUEIREDO, 2000).

O aumento do interesse por cavernas e pela atividade espeleológica no Brasil também foi marcado pela presença de naturalistas estrangeiros, no século XIX, cujas atuações foram fundamentais para a descrição e catalogação de cavidades naturais brasileiras. O desejo desses estudiosos era descobrir a natureza praticamente virgem das Américas. Esses terrenos desconhecidos e altamente promiss-

sores levaram grandes nomes da ciência a se embrenharem nos sertões e matas do Brasil à procura de informações científicas e achados pioneiros nos campos da Paleontologia, Zoologia, Botânica, Ecologia, Geologia, Antropologia, entre outros. Destacam-se: Spix e Martius (1938), Eschwege (1979), entre outros. (LISBOA, 1997).

No Brasil, várias expedições de naturalistas estavam ligadas à retirada do salitre, devido à presença de ossadas fósseis conservadas no material salitroso (GOMES; PILÓ, 1992). Coube, entretanto, ao naturalista dinamarquês **Peter Wilhelm Lund**, os trabalhos mais importantes dos primórdios da paleontologia e espeleologia brasileira. Em sua primeira estadia no Brasil, a partir de 1825, Lund iniciou suas atividades dedicando-se durante três anos aos estudos da flora e fauna dos arredores do Rio de Janeiro. Retornando à Dinamarca em 1829, obteve o título de doutor em Filosofia. (MATTOS, 1939; MARCHESOTTI, 2005; LUNA FILHO, 2007).

O retorno de Lund ao Brasil só ocorreria em 1833, após várias expedições na Europa e o contato com eminentes cientistas da época, tais como: Humboldt e Cuvier. Reiniciou suas atividades junto com o botânico alemão Riedel, com o intuito de levantar a flora das Províncias de São Paulo, Goiás e Minas Gerais. (MATTOS, 1939; MARCHESOTTI, 2005; LUNA FILHO, 2007). Em 1835, Lund acabou deslocando seus interesses para a Zoologia e Paleontologia, após aceitar o convite de um compatriota, Peter Claussen, que era minerador de salitre e comerciante de ossos e materiais para coleções de museus, sendo que em sua fazenda na região de Curvelo (MG) havia cavernas onde encontrara inúmeras ossadas no meio da terra salitrosa.

Suas atividades sistemáticas, no período de 1835 e 1844, levaram-no ao reconhecimento de mais de uma centena de cavernas em Minas Gerais e a descoberta de inúmeras ossadas de animais do período pleistocênico. Seus achados arqueológicos também tiveram grande destaque, em vista dos ossos humanos encontrados e conhecidos como “homem de Lagoa Santa”. Ainda pairam dúvidas sobre os motivos do término de seus trabalhos, tendo em vista que ele continuou vivendo na pequena cidade de Lagoa Santa (MG) até 1880. (PIRES, 1929; MATTOS, 1939; LUND, 1950; MARCHESOTTI, 2005; LUNA FILHO, 2007).

No estado de São Paulo, o trabalho espeleológico mais conhecido, realizado no período entre 1897-1909, foi desenvolvido pelo Engenheiro-agrimensor e boticário alemão **Sigsmund Ernest Richard Krone**, ou simplesmente Ricardo Krone, nome adotado por ele quando se naturalizou brasileiro, no município de Iguape. Essas investigações visavam à procura de material paleontológico em grutas, tal como Lund, e culminou com um levantamento sistemático e cadastramento de cavernas paulistas. Apesar de existirem controvérsias, seu trabalho sobre o Vale do Ribeira deu impulso à atividade espeleológica, vários artigos foram publicados contendo descrições detalhadas, mapa de localização e croquis das cavernas. (KRONE, 1898; 1950; FIGUEIREDO, 2000; BRANDI, 2007).

Os resultados obtidos por Krone não podem ser comparados em termos de qualidade ou quantidade com os de Lund; entretanto, possuem uma importância regional muito grande. As ossadas descobertas foram analisadas pelo paleontólogo argentino Florentino Ameghino, que publicou suas observa-

ções em um artigo para a Revista do Museu Paulista. (AMEGHINO, 1907). Em suas explorações, Krone localizou e divulgou a presença de um peixe albino raro, conhecido como bagre-cego, na gruta das Areias, localizada na região de Iporanga.

Apesar de suas contribuições, Krone estava motivado pelos estudos de Lund como referência para sua exploração e prospecção paleontológica (Krone, 1898; 1950), o que torna Lund, sem dúvida o iniciador desse tipo de levantamento sistemático, destacando o caráter científico.

Ainda nesse período é preciso citar uma notável publicação de cunho espeleológico escrita por Antonio Olyntho dos Santos Pires, denominada Speleologia, que havia sido produzida para o compêndio comemorativo do centenário da independência, em 1922, chamado **Geographia do Brasil**, organizado pela Sociedade de Geographia do Rio de Janeiro, podendo ser considerada umas das primeiras referências e apanhado geral sobre atividades realizadas em cavernas brasileiras. (PIRES, 1929).



Figura 7: Retrato de Peter Wilhelm Lund, Pastel sobre papel de Honório Esteves (1903) - Acervo do Museu Mineiro, Superintendência de Museus e Artes Visuais/Secretaria de Estado de Cultura de Minas Gerais. Foto: Luciano Faria.

Figura 8: Sigmund Ernest Richard Krone (1861-1917) ao centro e auxiliares na Gruta do Monjolinho. Foto: autor não identificado.



Figura 9: Viagem da Sociedade Excursionista e Espeleológica à gruta da Lapinha em 1939. Foto: autor não identificado - Acervo SEE.
 Figura 10: Viagem da Sociedade Excursionista e Espeleológica ao Sumidouro de Lagoa Santa em 1939. Foto: autor não identificado - Acervo SEE

SEGUNDO PERÍODO (1937-1963): INSTITUCIONALIZAÇÃO DA CIÊNCIA ESPELEOLÓGICA NO BRASIL

Esse período se iniciou com a institucionalização da espeleologia brasileira, tendo como marco histórico a criação, em 1937, da primeira entidade de espeleologia da América Latina, a Sociedade Excursionista e Espeleológica, ligada à Escola Nacional de Minas e Metalurgia de Ouro Preto - MG, hoje Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). (DEQUECH, 1987c; LA SALVIA, 1997; FIGUEIREDO, 2010).

O interesse pela Espeleologia foi despertado nos alunos de Ouro de Preto pela leitura das Memórias Científicas de Lund (LUND, 1950), as publicações de Krone e de exemplares da revista *La Nature*. Esse periódico possuía um importante espaço para publicação de artigos espeleológicos, vários produzidos pelo próprio Martel. Essas leituras levaram-nos a ter contato e a manter correspondência com Robert de Joly, um dos discípulos de Martel, e que na época era o presidente da Société Spéléologique de France (SSF). De Joly e outros ilustres espeleólogos franceses da época remeteram publicações e trocaram correspondências com esses estudantes enviando-lhes palavras de motivação e estímulo. (DEQUECH, 1987a;b;d; PERES; GROSSI, 1980; LA SALVIA, 1997; FIGUEIREDO, 2010; 2011c).

Os trabalhos desenvolvidos por essa primeira entidade espeleológica tinham desde o princípio preocupação com o enfoque multidisciplinar, abrangendo áreas tais como: Geologia, Biologia, Paleontologia, arqueologia, hidrologia, etc. (DEQUECH, 1987a). Entre as regiões estudadas nas

primeiras expedições da SEE estão o Vale do Rio das Velhas-MG e o Vale do Ribeira-SP. Esses levantamentos levaram à elaboração de estudos comparativos, bastante detalhados para a época, relativos às regiões pesquisadas.

Ainda no final da década de 1930, e começo desse período, encontramos algumas contribuições merecedoras de destaque. Nesse período, Anibal Mattos publicou alguns livros versando sobre Pré-História brasileira, arqueologia e sobre os trabalhos de Lund. (MATTOS, 1938; 1939). Em uma dessas publicações, o autor resgata o texto de Antonio Olyntho S. Pires de 1922 e traça igualmente um panorama das atividades espeleológicas no Brasil. (MATTOS, 1938). Ainda no final dos anos 1930, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) publicou o livro “As Grutas de Minas Gerais”, que, apesar de algumas incorreções, registrava e descrevia as principais cavernas do território mineiro, complementado por ilustrações e fotografias. (IBGE, 1939).

No período entre a década de 30 e 40 foram realizados vários estudos científicos relacionados com a fauna cavernícola brasileira. Um trabalho que consideramos marco histórico desse período e que merece destaque foi a tese de Crodowaldo Pavan, defendida no final de 1944, que versava sobre peixes cavernícolas de grutas de Iporanga e estudo sobre aspectos evolutivos, a partir de uma análise comparativa com seu possível ancestral, um bagre que vive fora das cavernas. (PAVAN, 1945).

Levantamentos feitos entre os anos 1940 e 1950 sobre o potencial mineral do Alto Ribeira com relação ao chumbo e ao calcário, realizados pelo Instituto Geográfico e Geológico (IGG), não chegaram a bom termo; entretanto, demonstraram a importância das cavernas da região, indicando seu potencial turístico e necessidade de conservação ambiental. Desse modo, a Procuradoria do Patrimônio Imobiliário (PPI), que era responsável por várias grutas da região desde 1910, propõe uma parceria com o IGG, iniciando, assim, uma série de estudos para o aproveitamento dos recursos humanos do IGG existentes no local, que dariam a sustentação para a criação de um parque estadual naquela região. (GUIMARÃES, 1966; FIGUEIREDO, 2000).

Em 1956, uma série de artigos do engenheiro Manoel Rodrigues Ferreira publicados no jornal A Gazeta reforçou a ideia de se constituir um parque no Alto Ribeira, em virtude de ser importante área florestal do estado e da existência de cavernas, rios e cachoeiras na região com potencial turístico. Assim, no início de 1957, finalmente a PPI passou a administração das cavernas para o IGG, em vista dos estudos, da atuação, da disponibilidade de recursos humanos e das prioridades deste órgão na região do Alto Ribeira. Em agosto de 1957, foi constituída uma comissão especial que seria encarregada de realizar levantamento visando à criação do Parque Estadual do Alto Ribeira (PEAR). (GUIMARÃES, 1966; FIGUEIREDO, 2000).

Esses fatos levaram à assinatura do decreto n.º 32.233 de criação do PEAR, em 19 de maio de 1958, pelo governador da época, Jânio Quadros. Apesar disso, e da proposta de estruturação de uma comissão administrativa que incluía também o Instituto de Botânica de São Paulo, a área do parque não foi demarcada na época, continuando em estado de abandono, e mesmo sendo denunciados na imprensa os atos de vandalismo e degradação do seu patrimônio, nada de concreto foi realizado nessa época. (GUIMARÃES, 1966; FIGUEIREDO, 2000).

A única ação do governo estadual nesse período foi a de promulgar a lei n.º 5973, de 28 de novembro de 1960, que mudava a denominação dessa área protegida para Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR) e definia a área como reserva florestal do estado. Após isso, nada mais foi feito e, em consequência, foi dissolvida e desarticulada toda a comissão, levando à paralisação do processo

por mais de duas décadas. Essa postura foi devidamente criticada na imprensa. (FIGUEIREDO, 2000).

Nesse período foi implementada a primeira tentativa de criar uma entidade científica voltada para a espeleologia, de âmbito nacional, por meio da fundação da Sociedade Brasileira de Espeleologia, sendo que essa primeira versão surgiu no Rio de Janeiro, em 14 de agosto de 1958. Motivados pelo espeleólogo e etnólogo suíço Jean-Louis Christinat, que já estava realizando cursos de formação espeleológica, alguns cientistas de renome, como o paleontólogo Carlos de Paula Couto e outras personalidades, participaram do processo de criação dessa entidade, dando importantes contribuições nos campos da Espeleologia, Paleontologia, Arqueologia e Antropologia. (CHRISTINAT, 1963a; 1963b; 1965a; 1965b; 1967; COLLET, 1985; FELIZARDO, 2013). Outro membro da primeira versão da SBE foi o jornalista e montanhista Carlos Manes Bandeira, cujas atividades remontam à década de 40 e que na década de 60 criou o Setor de Arqueologia e Espeleologia da Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza (FBCN), utilizando como campo-escola as grutas da Floresta da Tijuca, nas quais fez vários levantamentos e descrições. (COLLET, 1985; BANDEIRA, 1993).

No estado de São Paulo, também ocorreu o fortalecimento da técnica e da atividade espeleológica com a criação do Clube Alpino Paulista (CAP), em 29 de junho de 1959. O CAP que desenvolvia ativamente expedições de montanhismo, tendo na sua composição inúmeros membros estrangeiros. A Espeleologia foi impulsionada com a chegada do espeleólogo francês *Michel Le Bret*, contagiando os integrantes, a partir do conceito de “alpinismo às avessas”. (WEITÉ, 1946; LE BRET, 1966; 1995; ZOGBI; AULER, 2006). Um novo mundo se descortinou quando ele chegou ao Brasil, em 1959. Um país no qual a espeleologia praticamente ainda não existia, entretanto, ele já havia feito contatos com Christinat para criar uma seção da SBE em São Paulo. Era uma região rica em cavernas, coberta pela exuberante floresta tropical e praticamente inexplorada, com muito trabalho a ser realizado. (LE BRET, 1995; ZOGBI; AULER, 2006).

Esse início e toda a sua atuação posterior foi altamente promissor, colocando o CAP e os trabalhos de Le Bret no mais alto destaque no contexto espeleológico nacional até os dias atuais. As dificul-

dades eram muitas, faltavam equipamentos, faltavam pessoas, mas Le Bret estava bastante motivado para começar suas atividades espeleológicas. Além disso, havia todas as dificuldades com as distâncias, falta de boas estradas, o ineditismo das atividades espeleológicas no Brasil. Le Bret e seus companheiros foram contornando os problemas e desenvolvendo levantamentos não só em São Paulo, mas em Goiás e Bahia. (LE BRET, 1966; 1995).

Ainda nesse período, outra importante região brasileira receberá destaque do ponto de vista governamental para a conservação ambiental de cavernas, a Chapada do Ibiapaba, noroeste do Cea-

rá, após uma iniciativa pioneira, com a criação em 1959, do Parque Nacional de Ubajara, o primeiro a proteger cavernas no âmbito federal.

Do ponto de vista dos estudos científicos sobre cavidades existentes em canga e formações ferríferas, é importante ressaltar a contribuição pioneira de Simmons (1963), que destacava em artigo internacional o potencial desse tipo de cavernas na região do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. (CARMO et al., 2011; PEREIRA; STÁVALE; SALGADO, 2012; PEREIRA; RODET; SALGADO, 2012).

TERCEIRO PERÍODO (1964-1974): DIVULGAÇÃO E ARTICULAÇÃO DA ESPELEOLOGIA NACIONAL

Esse período tem como marco histórico o primeiro Congresso Brasileiro de Espeleologia, realizado em Iporanga-SP, iniciando um período produtivo para as atividades espeleológicas, de forma mais sistemática, organizada e ampliando o número de adeptos desse esporte-ciência. Durante o evento, foram reconhecidas e mapeadas algumas grutas descritas anteriormente por Krone (1898; 1950), sendo que um grupo ficou na região de Furnas e outro na Caverna Casa de Pedra. (MARTIN, 1964; LE BRET, 1995).

Outro objetivo do encontro foi o de possibilitar o estreitamento dos contatos e a troca de experiências entre precursores da Espeleologia no Brasil, e visava, inclusive, a estudar a possibilidade de se criar uma federação espeleológica, tal qual a francesa, criada em 1963, ou dar continuidade à SBE, que havia sido criada no Rio de Janeiro, em 1958. (MARTIN, 1964; LE BRET, 1995).

Esse congresso estimulou a formação de novos grupos e a intensificação das atividades de prospecção e exploração de cavernas, promovendo,

Figuras 11 e 12: Michel Le Bret e colaboradores em expedições no ano de 1970. Foto: François Valla.





Figuras 13, 14 e 15 - Os três primeiros presidentes da SBE, respectivamente os franceses Michel Le Bret, Pierre Martin e Guy-Christian Collet (início da década de 1970). Foto: autor não identificado - Acervo SBE.

como decorrência, inúmeras descobertas. Em matéria publicada no jornal O Estado de São Paulo, Pierre Martin apresentou os motivos do evento e comentou sobre o processo da organização da espeleologia nacional. (MARTIN, 1964).

No período de 1964-65, Pierre Martin desenvolveu explorações e trabalhos topográficos na Caverna de Santana, juntamente com elementos do recém-criado Espeleo Clube de Londrina, descobrindo novas galerias e salões nessa gruta, que apresentava enorme potencial.

Os levantamentos que vinham sendo realizados na Caverna do Diabo (SP-002; Gruta da Tapagem) pelo CAP, sob a coordenação de Le Bret, permitiram que o grupo efetuasse a primeira travessia completa, ligando a Gruta das Ostras com a Gruta da Tapagem em novembro de 1964. Nesse mesmo ano, o grupo conseguiu concluir a topografia, ultrapassando a marca dos 4.000m; essa tornou-se, então, a maior gruta do estado de São Paulo.

No período de 1965 a 1967, a SEE também realizou, à convite de Le Bret, atividades de exploração e topografia na Gruta da Tapagem, que foram complementadas por estudos científicos versando sobre Geologia, Meteorologia e Biologia. A metodologia utilizada era pioneira, sendo que os interessantes resultados foram publicados na

Revista da Escola de Minas (MATOS, 1966; KRÜGER, 1967). Isso demonstrou que, até aquele momento, a SEE era a única entidade que desenvolvia estudos espeleológicos de forma científica e que tinha forte apoio institucional.

Em 1966, o IGG publicou um boletim especial relativo à Espeleologia, preenchendo uma lacuna na bibliografia técnica e científica sobre o assunto, considerado um trabalho pioneiro e rico em detalhes que subsidiaram a atuação e iniciação de vários espeleólogos. (GUIMARÃES, 1966; LE BRET, 1966). A SEE criou em 1969 a revista Espeleologia, que contava com o apoio da Escola de Minas de Ouro Preto e visava à difusão do conhecimento sobre as nossas cavernas.

Em meio a esse contexto e motivados pelos encontros nacionais, alguns espeleólogos, informados sobre a desarticulação da primeira versão da SBE, instalada no Rio de Janeiro, uniram-se para criar uma entidade de caráter efetivamente nacional. (COLLET, 1985). Assim, em 01 de novembro de 1969, durante o IV Congresso Nacional de Espeleologia foi fundada a segunda versão da SBE, tendo como diretores: Michel Le Bret, primeiro presidente da entidade, além de Pierre Martin, Guy-Christian Collet, Jairo Augusto V. Reis e Luiz Carlos de Alcântara Marinho.

Por motivos de saúde, Le Bret precisou voltar a sua terra natal, no entanto, mesmo restabelecido voltaria ao Brasil apenas à passeio. Sendo assim, a partir de 1970, Martin assume a presidência da SBE e imprime um trabalho de continuidade ao antecessor de forma atuante e dinâmica, sendo várias grutas descobertas e outras mais bem estudadas no período que se segue.

Uma das primeiras incumbências de Martin era organizar um instrumento para divulgação da Espeleologia, em virtude da necessidade da troca de experiências. Assim, em julho de 1970 foi criado um boletim informativo de âmbito nacional, denominado Espeleo-Tema, que mais tarde se tornaria a revista científica da SBE.

A primeira metade dos anos 70 foi altamente promissora em vista da realização de expedições de prospecção a outros estados brasileiros, com destaque para Goiás e Bahia. Nessas atividades interestaduais, houve sempre o trabalho intergrupos, estando à frente os grupos CAP, SEE, entre outros, que desenvolveram significativas explorações e mapeamentos na região de São Domingos e Posse, em Goiás, com destaque para as cavernas Terra Ronca, São Mateus, Angélica, Bezerra e São Vicente.

Em 1974, Guy Collet idealizou e implementou o primeiro Laboratório Subterrâneo brasileiro na Gruta Ressurgência das Areias das Águas Quentes, também conhecida como Gruta Laboratório, inspirado em experiências internacionais de pesquisa espeleológica in situ, como o caso de Moulis, na França (COLLET, 1985).

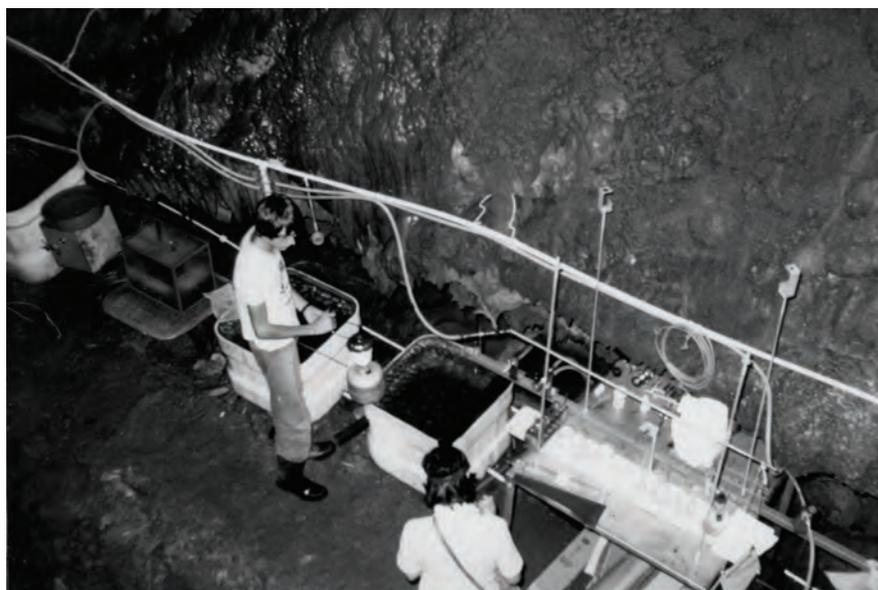


Figura 16 - Visão geral do Laboratório subterrâneo criado nos anos 1970. Foto: Guy-Christian Collet (1974).

QUARTO PERÍODO (1975-1984): EXPANSÃO DAS ATIVIDADES NAS CAVERNAS BRASILEIRAS E FORTALECIMENTO DE GRUPOS

Esse período é caracterizado pela consolidação de várias entidades espeleológicas, além da realização de eventos e elaboração de publicações de grande importância nacional. Um marco histórico é a organização da primeira expedição de permanência subterrânea no Brasil, no período de janeiro-fevereiro de 1975, denominada Operação TATUS. Nessa atividade, 11 integrantes do Centro Excursio-

nista Universitário (CEU) ficaram 15 dias realizando estudos geológicos, biológicos e explorações de novas galerias da caverna Santana. Investigaram ainda o comportamento humano (ciclo vigília-sono), realizando atividades sem contato com o relógio.

Também em 1975, Le Bret, que não havia perdido o contato com espeleólogos brasileiros e que já

vinha estudando a possibilidade de lançar um livro sobre suas explorações nas cavernas brasileiras, conseguiu publicar na França o livro *Merveilleux Brésil Souterrain*, após tentativas frustradas de conseguir o mesmo intento no próprio Brasil, no início de 1970.

No início desse período foram promovidos estudos visando ao manejo turístico de cavernas do Alto Ribeira. Em 1975, a Superintendência do Desenvolvimento do Litoral Paulista (SUDELPA) encomendou um estudo visando ao Aproveitamento Turístico do Vale do Betari, na região onde se encontram cavernas de maior visitação e interesse, tais como a Santana, Morro Preto, Couto e Água Suja. (FIGUEIREDO, 2000).

Nas décadas de 1970-1980, foram fundados vários grupos de espeleologia, com forte atuação nesse período, estimulando a pesquisa espeleológica na região Centro-Oeste e Nordeste do Brasil, mas continuaram atuando em Minas Gerais e São Paulo, com descoberta e exploração de inúmeras cavernas. Também realizaram estudos de cavernas em outros tipos de rochas.

Ainda em 1980, foi lançado o livro *Cavernas Brasileiras*, por Clayton Lino e João Allievi, considerado o primeiro do gênero publicado no Brasil, cobrindo uma lacuna em direção ao fortalecimento da atividade espeleológica (LINO; ALLIEVI, 1980).

QUINTO PERÍODO (1985-2000): REESTRUTURAÇÃO, FORTALECIMENTO LATINO-AMERICANO E DA LEGISLAÇÃO DE PROTEÇÃO DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO

A SBE passou por algumas fases de instabilidade, no início e no meio desse período, que quase levaram à sua extinção. Seguiu-se, posteriormente um período marcado pela reestruturação da entidade, com a criação de várias comissões, realização de convênios com órgãos públicos, ampliação do número de espeleólogos, das entidades interessadas e da divulgação das atividades espeleológicas, além da elaboração de vários projetos técnico-científicos, que acabaram projetando a espeleologia brasileira no contexto nacional e internacional.

Em fevereiro de 1985, ocorreu o lançamento do primeiro número do InformAtivo SBE. O objetivo desse veículo de comunicação era manter os espeleólogos e demais interessados no assunto por dentro do que estava acontecendo no Brasil, e no mundo, em relação às atividades em cavernas. No mês seguinte Guy Collet, lançou um documento denominado *Quem é Quem... na Espeleologia Brasileira*, fornecendo referencial histórico sobre a atuação dos espeleólogos e grupos de espeleologia, com dados até 1975. (COLLET, 1985).



Figura 17 - Capa do InformAtivo SBE de 1991, destacando a fase de reestruturação pela qual a entidade tinha passado. Arte: Carlos Alberto de Oliveira - Acervo SBE

Os anos que se seguiram foram cada vez mais produtivos para a espeleologia brasileira, projetando-a em nível internacional. Assim, em vista da necessidade do fortalecimento da Federação Espeleológica da América Latina e Caribe (FEALC) e da articulação entre os seus países membros, a SBE tomou a iniciativa de organizar, em 1988, a III Assembleia Geral da FEALC e o I Congresso de Espeleologia da América Latina e do Caribe (I CEALC), realizados em Belo Horizonte (MG).

Em relação à questão da formação dos espeleólogos, as universidades, que sempre tiveram um papel importante quanto a realização de cursos de extensão cultural, começaram, também, a criar espaços dentro da própria formação dos profissionais, principalmente nas áreas de Geologia, Biologia, Geografia e Química. A primeira instituição a implantar uma cadeira de Espeleologia dentro do currículo de disciplinas eletivas foi a USP, tendo sua primeira turma concluído o curso em 1988. Isso foi fundamental para impulsionar a espeleologia científica brasileira, particularmente, em São Paulo. Após isso, foram surgindo diversas outras disciplinas nos mais variados cursos de instituições universitárias brasileiras. (FIGUEIREDO, 2009).

A partir dos anos 1990, predominaram os esforços pelas ações coletivas, expedições intergrupos e

projetos integrados e participativos, tendo em vista que ainda existem poucos espeleólogos e tanto por fazer. Como exemplos destacam-se as expedições à Toca da Boa Vista (AULER; SMART, 2002; ESPELEO..., 2006) e o Projeto Caverna do Diabo-PROCAD (FIGUEIREDO et al., 2007).

O PROCAD é um importante trabalho intergrupos, estimulado e coordenado inicialmente por Clayton Lino. No período entre 1990 e 1994, esse projeto foi uma das maiores articulações nacionais visando à prospecção espeleológica promovido pela SBE. Muitos espeleólogos não conheciam a Caverna do Diabo, pelo destaque ao turismo de massa, entretanto, ela se consolidou como uma das maiores do estado e das mais esportivas, devido ao grau de dificuldade em seu trajeto, rede labiríntica, escaladas, cachoeiras e trechos profundos. (FIGUEIREDO et al., 2007).

Ressalta-se que essa primeira fase do PROCAD foi de grande importância para a espeleologia nacional, por ocorrer exatamente em um momento que a SBE passava por uma crise interna, dificuldade de contornar problemas de ordem estrutural e financeira, afastamento de seus membros ativos. Assim, as atividades propostas de prospecção na região da Caverna do Diabo reoxigenaram a instituição e resgataram a força da espeleologia nacional.

Figuras 18 e 19 - Equipe da primeira expedição do PROCAD (1990) e de uma expedição recente (2014).
Fotos: Luiz Afonso Figueiredo e Marcelo Silvério



SEXTO PERÍODO (2001-ATUAL): RECONHECIMENTO INTERNACIONAL, AÇÃO INTERGRUPOS E ALTERAÇÕES NA LEGISLAÇÃO

O marco histórico desse período é a realização do 13º. Congresso Internacional de Espeleologia (13º. ICS), em conjunto com o 4º. Congresso de Espeleologia da América Latina e Caribe (4º. CEALC) e 26º. Congresso Brasileiro de Espeleologia (26º. CBE), denominado Speleo Brazil 2001, cujo slogan era Espeleologia no 3º Milênio: Desenvolvimento Sustentável de Áreas Cársticas. Sem dúvida um importante acontecimento da espeleologia internacional, já que ocorria pela primeira vez no hemisfério Sul, sendo que o evento aconteceu de forma exemplar, com mais de 500 participantes de 43 países, devido a um esforço coletivo desde 1997.

O 13º. ICS teve como palco principal a cidade de Brasília (DF), contando com o apoio direto do Ministério do Meio Ambiente e o Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (CNRBMA), além de diversos patrocinadores. Foram realizadas diversas excursões de pré e pós-congresso em todo o território brasileiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Minas Gerais, Goiás, Bahia, Piauí, Mato Grosso do Sul, cada roteiro com enfoques bem diversificados: proteção e manejo, exploração, mergulho, ciência, turismo e lazer.

Foram realizadas as tradicionais apresentações de relatos de explorações e pesquisas, contando com 199 trabalhos distribuídos em seis sessões técnico-científicas. Acrescentou-se ao evento a Speleo Fair, grande feira de produtos e divulgação de entidades, o festival de vídeos (Speleo Media) e a Speleo Art, contando com apresentação de artistas brasileiros e do exterior, nas categorias: fotografia, pintura, escultura e poesia. (SPELEO BRAZIL..., 2001).

O produto final dos bons resultados do evento foi a eleição de José Ayrton Labegalini para ocupar a presidência da União Internacional de Espeleologia (UIS), com 79% dos votos dos delegados de cada país-membro da entidade, tendo em vista que ele já havia sido por duas vezes presidente da SBE, era delegado brasileiro e/ou ocupava cargo nas secretarias da FEALC e da UIS, tendo um bom trânsito nos meios espeleológicos internacionais.

O ano de 2002 foi bastante promissor para a espeleologia nacional, quando a 19ª. expedição para a Toca da Boa Vista (TBV), organizada pelo Grupo

BambuÍ de Pesquisas Espeleológicas (GBPE), conseguiu ultrapassar a marca dos 100 km e a Toca da Barriguda os 30 km, no dia 31 de dezembro, tornando-se as maiores cavernas do Brasil, sendo que a TBV ficou no cadastro como uma das 15 maiores do mundo.

A segunda fase do PROCAD termina em 2002, com participação média de 50 espeleólogos nas expedições anuais, ressalta-se o desenvolvimento do mapa completo da caverna, que fica como a primeira do estado de São Paulo, ultrapassando a marca dos 6 km. (FIGUEIREDO et al., 2007). Atualmente está na 4ª. fase com bastante participação.

A Seção de História da Espeleologia (SHE/SBE) retoma os levantamentos para o Banco de Dados sobre Produção Técnico-Científica em Espeleologia e Temas Afins (BD-ESPELEO), visando a mostrar a evolução na produção bibliográfica espeleológica e atualizando dados anteriores. Entre as pesquisas realizadas, destacaram-se a avaliação de produção científica e suas relações com manejo de cavernas e unidades de conservação associadas. (FIGUEIREDO et al., 2003; FIGUEIREDO; ZAMPAULO; MARINHO, 2005).

A busca pela diversificação de atividades visando ao fortalecimento da SBE leva a outra grande ação intergrupos, as expedições SBE-Tocantins, realizadas a partir de 2005, levando esse estado brasileiro e algumas cidades a se configurarem como região de alto potencial espeleológico, ainda pouco conhecido. (ZAMPAULO et al., 2007).

Do ponto de vista político, uma ação duvidosa foi a assinatura do decreto federal do poder executivo n. 6640, em 07 de novembro de 2008, que permitiu que as cavernas possam ser destruídas, desde que sigam critérios de relevância definidos pelo órgão especializado, CECAV (Instituto Chico Mendes de Biodiversidade-ICMBio). Essa atitude gerou polêmica nacional, com manifestos, protestos e petições eletrônicas, tendo em vista que a legislação anterior era mais restritiva e protegia o patrimônio espeleológico. Houve uma farta cobertura na imprensa. O conflito decorre da inconstitucionalidade do decreto, por extrapolar a competência do executivo, privilegiando a aceleração do crescimento em detrimento da proteção do patrimônio natural. (FIGUEIREDO,



Figuras 20 e 21: Capacetação contra o Decreto nº6640/2008 durante a Adventure Sport Fair (2009). Foto: Autor não identificado - Acervo SBE; Arte da logo: Marcelo Rasteiro e Nivaldo Colzato.

RASTEIRO, RODRIGUES, 2010). Esse impasse criado ainda não foi totalmente resolvido, mas a SBE continua articulando ações e promovendo iniciativas para avançar na conservação, uso sustentável e divulgação do patrimônio espeleológico e das cavernas brasileiras.

A profissionalização da atividade espeleológica começou a se formatar pela demanda de pessoas especializadas para os trabalhos nas empresas de consultoria, atuando no licenciamento e estudos de impactos ambientais, principalmente relacionados à mineração, construção de rodovias, ferrovias, óleo e gasodutos, geração de energia elétrica, entre outras atividades.

A mineração em Ferro tem tido um grande apelo, devido a quantidade de cavernas existentes em canga e formações ferríferas, tanto em Carajás (PA), quanto no Quadrilátero Ferrífero (MG). (CARMO et al., 2011; PEREIRA; STÁVALE; SALGADO, 2012; PEREIRA; RODET; SALGADO, 2012).

Ao mesmo tempo, o assunto ganhou destaque, devido ao desconhecimento dessas cavidades em litologia rara e os conflitos decorrentes com a atividade de extrativismo mineral, levando à atuação do Ministério Público, produzindo diversas ações, entre elas a elaboração do presente livro, divulgando o potencial espeleológico em formações ferríferas e afins, as fragilidades e ameaças.

A SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA E SUA FUNÇÃO ARTICULADORA DE PROTEÇÃO ÀS CAVERNAS

A Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE) é uma associação civil de direito privado sem fins econômicos, qualificada como Organização da Sociedade Civil de Interesse Público (OSCIP) e declarada de utilidade pública, que congrega em nível nacional, grupos e pessoas interessadas na exploração, pesquisa e preservação de nossas cavernas. A sociedade foi fundada em 01 de novembro de 1969 e vem incentivando, organizando e difundindo as atividades relacionadas à espeleologia, quer seja no campo esportivo, social, científico ou profissional.

Admite-se no quadro de associados da SBE todos os indivíduos ou grupos interessados no desenvolvimento da espeleologia, independente da área de atuação ou do grau de especialização do interessado. Assim, ao se associar à SBE as pessoas estarão incentivando a organização e o crescimento da espeleologia nacional, ampliando o conhecimento e a conservação das cavernas de nosso país.

Durante seus mais de 40 anos de atividades a SBE congregou ativos espeleólogos, cientistas, esportistas e demais interessados. Entre suas missões, estão: a proteção das cavidades naturais brasi-

leiras, o registro das informações sobre o patrimônio espeleológico, a organização dos ativistas e estudiosos no assunto, o fornecimento de subsídios para as ações de gestão ambiental, a difusão do conhecimento espeleológico.

A SBE possui uma sede em Campinas (SP), na Lagoa do Taquaral, contando com espaço aberto ao público em geral para, palestras mensais, cursos e treinamentos. Além disso, possui a Biblioteca Guy-Christian Collet, especializada em espeleologia e temas afins, considerada uma das maiores da América Latina, contendo livros, periódicos, documentos históricos, fototeca, mapoteca, etc. O site da entidade (www.cavernas.org.br) disponibiliza diversos assuntos, informações gerais, divulgação de eventos e publicações, tais como os periódicos *SBE-Notícias*, *Espeleo-Tema*, *Tourism and Karst Areas*, os anais dos Congressos Brasileiros de Espeleologia.

Uma das importantes ações da Sociedade têm sido a produção e atualização do Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil, contendo dados detalhados das cavernas cadastradas, sistemas de busca de informação por vários tipos de parâmetros, e uma listagem das maiores cavernas brasileiras. A SBE continua sua atuação a partir da estruturação de diversas sessões temáticas e comissões de estudos e projetos, dando origem a publicações, atividades, formas de organização.

Os estudos sobre espeleoturismo e estratégias de inclusão social para a realização de atividades em cavernas ganharam força e destaque na atuação da entidade com a criação da Seção de Espeleoturismo e a Comissão de Espeleoinclusão, realizando diversos estudos e produzindo publicações sobre o assunto. (LOBO et al. 2007; 2010; NUNES et al., 2008; 2009). Fruto de diversas articulações e de um processo coletivo, um grupo de espeleólogos brasileiros, estudiosos do espeleoturismo, lança uma revista especializada sobre turismo em cavernas de abrangência internacional, *Tourism and Karst Areas*. Além disso, preparam um artigo sobre a expansão e consolidação do espeleoturismo no Brasil, que é premiado e publicado na coletânea nacional sobre Segmentação do Turismo do Ministério do Turismo. (LOBO et al., 2010).

Processos visando à formação de espeleólogos têm sido discutidos desde os anos 1980 (FIGUEIREDO, 1997), entretanto, o que foi implementado ainda não ocorre de forma sistemática e organizada. Tendo isso em vista, tramita na SBE a proposta de uma Escola Brasileira de Espeleologia (eBRe), baseada nos moldes como ocorre em várias federações espeleológicas (FPE, FEE, FFS, entre outras).

Figura 21- Sede da SBE e Biblioteca "Guy-Christian Collet" (2012). Foto: Marcelo Rasteiro.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Procurou-se, neste capítulo, traçar um panorama cronológico da trajetória espeleológica brasileira, destacando momentos mais importantes e as ações mais significativas. Observou-se que entre a década de 1980 e 2010 houve um profundo aumento do número de adeptos e simpatizantes da causa espeleológica e o fortalecimento da atuação espeleológica no Brasil.

Os espeleólogos e os grupos de espeleologia tiveram um papel fundamental para os estudos e a divulgação da espeleologia nacional, isso levou ao fortalecimento da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE), que teve uma ampliação expressiva do número de associados, passando de 21 sócios, que fundaram a instituição em 1969, para 1.783 associados em dezembro de 2013, apesar de que o número de sócios ativos ainda girar em torno de 245 participantes. Ocorreu, também, um significativo aumento do número grupos de espeleologia, de 5 grupos em 1969 para 126 grupos, no ano de 2013, sendo 27 ativos.

De 1964 a 2013 foram realizados 32 congressos nacionais de espeleologia, sendo que a grande maioria dos ocorreu em São Paulo e Minas Gerais.

Outras tentativas de organização e aglutinação de espeleólogos têm ocorrido, mas, apesar de todos esses esforços observa-se que a espeleologia nacional ainda carece de mais informação, pois o potencial de descobertas e a necessidade de envolvimento de novas entidades e de participantes ainda é muito grande, sendo fundamental a ampliação da difusão da Espeleologia e da memória espeleológica para o conhecimento e proteção real das cavernas. Outro aspecto a ser destacado é o seu papel educativo e de integração entre os simpatizantes, os estudiosos, as populações do entorno e todas as pessoas preocupadas e interessadas com a conservação do patrimônio espeleológico brasileiro.

Novos rumos e novas perspectivas são fundamentais para iluminar os caminhos da espeleologia nacional na direção do conhecimento e proteção do nosso fantástico mundo subterrâneo, sempre pautados nos princípios da conservação ambiental, justiça social, eficiência econômica e sustentabilidade socioambiental.

REFERÊNCIAS

- AMEGHINO, F. Notas sobre pequeña colección de mamíferos procedentes de las grutas calcáreas de Iporanga, em el Estado de São Paulo, Brasil. *Rev. Museu Paulista*. São Paulo, n.7, p.59-124, 1907.
- ANDRADA, M. F. R. Diário de uma viagem mineralógica pela província de São Paulo (1805). In: *Roteiros e notícias de São Paulo colonial (1751-1804)*. Ed. fac simile. São Paulo: IMESP, 1977.
- AULER, A. S.; SMART, P. L. Toca da Boa Vista (Campo Formoso), BA: a maior caverna do hemisfério sul. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. L. C. (Ed.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002.
- AULER, A.; ZOGBI, L. *Espeleologia: noções básicas*. São Paulo: REDESPELEO, 2005.
- BACHELARD, G. *A terra e os devaneios do repouso: ensaio sobre as imagens da intimidade*. São Paulo: Martins Fontes, 1990.
- BANDEIRA, C. M. *Parque Nacional da Tijuca*. São Paulo: Makron Books, 1993.
- BEDDOWS, P.; BLANCHON, P.; ESCOBAR, E.; TORRES-TALAMANTE, O. Los cenotes de la península de Yucatán. *Arqueología Mexicana*. México, DF: Editorial Raíces, v14, n83, p. 32-35, ene./feb. 2007.
- BIEDERMANN, H. *Dicionário ilustrado de símbolos*. São Paulo: Companhia Melhoramentos, 1993.
- BRANDI, R. Ricardo Krone e Lourenço Granato: influências na história da espeleologia paulista no final do século XIX e início do século XX. *O Carste*. Belo Horizonte: Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, v. 19, n. 2, p. 36-61, dez. 2007.
- BRUHNS, H T. No ritmo da aventura: explorando sensações e emoções. In: MARINHO, Alcyane; BRUHNS, Heloisa Turini (org.). *Turismo, lazer e natureza*. Barueri: Manole, 2003.
- BRUHNS, H. T. *A busca pela natureza: turismo e aventura*. Barueri, SP: Manole, 2009.
- CARMO, F. F., CARMO, F. F.; SALGADO, A. A. R.; JACOBI, C. M. Novo sítio espeleológico em sistemas ferruginosos, no vale do rio Peixe Bravo, norte de Minas Gerais, Brasil. *Espeleo-Tema*. Campinas, SP: SBE, v.22, n.1, p. 25-39, 2011. Disponível em: <www.cavernas.org.br/espeleo-tema/espeleo-tema_v22_n1_025-039.pdf>. Acesso em 15 fev. 2011.
- CHRISTINAT, J.-L. La speleologie au Bresil. *Les Bouex*. Geneve, Suisse: Societé Suisse de Speleologie, n.1/2 [7], p. 29-41, 1963a.
- CHRISTINAT, Jean-Louis. Speleologie au Bresil. *Les Bouex*. Geneve, Suisse: Societé Suisse de Spéléologie, n.3 [8], p. 22-27, 1963b.
- CHRISTINAT, J.-L. Speleologie au Bresil. *Les Bouex*. Geneve, Suisse: Societé Suisse de Spéléologie, n.1 [11], p. 13-19, 1965a.
- CHRISTINAT, J.-L. Speleologie au Bresil. *Les Bouex*. Geneve, Suisse: Societé Suisse de Spéléologie, n.4 [14], p. 13-17, 1965b.
- CHRISTINAT, J.-L. Speleologie au Bresil. *Les Bouex*. Geneve, Suisse: Societé Suisse de Spéléologie, n.3 [18], p. 19-28, 1967.
- COLLET, G.-C. *Quem é quem...na espeleologia brasileira*. São Paulo: Ed. Autor, mar. 1985.
- CORRÊA FILHO, V. *Alexandre Rodrigues Ferreira: vida e obra do grande naturalista brasileiro*. São Paulo: Nacional, 1939. (Série Brasileira, v. 144)
- DEMATTEIS, G. *Manual de la espeleología*. Barcelona, Espanha: Labor, 1975.
- DEQUECH, V. Atividades espeleológicas no Brasil. *Rev. Escola de Minas*. Ouro Preto, MG: ano 61, v. 40, n. 1, p. 5-12, jan./fev./mar., 1987a. [original de 1940].
- DEQUECH, V. Esboço histórico da espeleologia brasileira. *Rev. Escola de Minas*. Ouro Preto, MG: ano 61, v. 40, n. 4, p. 5-12, out./nov./dez., 1987b.
- DEQUECH, V. Cinqüentenário da SEE-Sociedade Excursionista e Espeleológica. *Rev. Escola de Minas*. Ouro Preto-MG: Imprensa Universitária/UFOP, v.40, n. 4, p.11-15, 1987c.
- DEQUECH, V. Artigos sobre espeleologia (alguns poucos sobre alpinismo e sobre o homem pré-histórico), publicados pela revista francesa "La Nature", 1881-1939. *Rev. Escola de Minas*. Ouro Preto-MG: Imprensa Universitária/UFOP, v.40, n. 4, p. 16-22, 1987d.

- DEQUECH, V. Dados históricos sobre espeleologia. *O Carste*. Belo Horizonte, MG: v. 12, n.1, p. 54-55, jan. 2000.
- ELIADE, M. *Tratado de história das religiões*. São Paulo: Martins Fontes, 1998.
- ESCHWEGE, W. L. von. *Pluto brasiliensis*. Trad. Domício de Figueiredo Murta. Belo Horizonte: Itatiaia; São Paulo: EDUSP, 1979. [re-edição fac-símile, original 1833].
- ESPELEO 2007 na Toca da Boa Vista, Bahia. *Conexão Subterrânea*. Belo Horizonte: REDESPELEO, v.41, ed. especial, nov. 2006.
- ESPELUNCA. *Dicionário enciclopédico ilustrado Larousse*. São Paulo: Larousse do Brasil, 2007.
- EVIA CERVANTES, C. A. Leyendas y ceremonias: la tradición oral de las grutas y cenotes del Yucatán. In: THOMAS, Christian (dir.). *Las cuevas de Yucatán: la región de Valladolid*. Mérida, Yucatán, México: Xibalba, 2011.
- FELIZARDO, A. J. Um pioneiro da espeleologia brasileira: história e biografia de Jean-Louis Christinat. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 32, 2013, Barreiras. *Anais...* Campinas-SP: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2013. Disponível em: <www.cavernas.org.br/anais32cbe/32cbe_225-230.pdf>. Acesso em 15 fev. 2011.
- FIGUEIREDO, L. A. V. Cavernas brasileiras e seu potencial ecoturístico: um panorama entre a escuridão e as luzes. In: VASCONCELOS, F. P. (org.). *Turismo e meio ambiente*. Fortaleza: FUNECE, 1998.
- FIGUEIREDO, L. A. V. "O 'meio ambiente' prejudicou a gente...": políticas públicas e representações sociais de preservação e desenvolvimento; desvelando a pedagogia de um conflito no Vale do Ribeira (Iporanga-SP). 1999. 489 p. + anexos, il. color. Dissertação (Mestrado em Educação, área de Educação, Sociedade e Cultura) - Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, 2000.
- FIGUEIREDO, L. A. V. Symbolic aspects of caves. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SPELEOLOGY, 13, SPELEOLOGICAL CONGRESS OF LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN, 4, BRAZILIAN CONGRESS OF SPELEOLOGY, 26, 2001, Brasília. *Proceedings...* Brasília: UIS/FEALC/SBE, 2001.
- FIGUEIREDO, L. A. V. Integrando espeleologia e ecoturismo: proposta para a formação do bacharel em turismo e reflexões sobre a experiência na PUCSP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 30, 2009, Montes Claros. *Anais...* Campinas-SP: Sociedade Brasileira de Espeleologia/GUPE, 2009. Disponível em: <www.cavernas.org.br/anais30cbe/30cbe_077-083.pdf>. Acesso em 15 fev. 2011.
- FIGUEIREDO, L. A. V. *Cavernas como paisagens racionais e simbólicas: imaginário coletivo, narrativas visuais e representações da paisagem e das práticas espeleológicas*. 2010. 466 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- FIGUEIREDO, L. A. V. Representações sociais e imaginário coletivo sobre as cavernas brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 31, 2011, Ponta Grossa-PR. *Anais...* Campinas-SP: Sociedade Brasileira de Espeleologia/GUPE, 2011a. Disponível em: <www.cavernas.org.br/anais31cbe/31cbe_345-355.pdf>. Acesso em 15 fev. 2011.
- FIGUEIREDO, L. A. V. O ser espeleólogo: geopoética e as representações de um discurso coletivo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 31, 2011, Ponta Grossa-PR. *Anais...* Campinas-SP: Sociedade Brasileira de Espeleologia/GUPE, 2011b. Disponível em: <www.cavernas.org.br/anais31cbe/31cbe_365-378.pdf>. Acesso em 15 fev. 2011.
- FIGUEIREDO, L. A. V. História da espeleologia brasileira: protagonismo e atualização cronológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 31, 2011, Ponta Grossa-PR. *Anais...* Campinas-SP: Sociedade Brasileira de Espeleologia/GUPE, 2011c. Disponível em: <www.cavernas.org.br/anais31cbe/31cbe_379-395.pdf>. Acesso em 15 fev. 2011.
- FIGUEIREDO, L. A. V. Imaginário da aventura e as representações sociais das cavernas e das práticas espeleológicas. In: PEREIRA, E. A.; SCHWARTZ, G. M.; FREITAS, G. S.; TEIXEIRA, J. C. (Org.). *Esporte e Turismo: Parceiros da Sustentabilidade nas Atividades de Aventura*. Pelotas-RS: Editora e Gráfica Universitária-UFPel, 2012.
- FIGUEIREDO, L. A. V. Caves and karst at the cinema: cultural speleology and the geographicity of symbolic landscapes. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SPELEOLOGY, 16, 2013, Brno. *Proceedings...* Brno, Czech Republic: UIS; CSS, 2013.
- FIGUEIREDO, L. A. V.; LA SALVIA, E. S. Subsídios para uma cronologia da história da espeleologia brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 24, 1997, Ouro Preto. *Anais...* Ouro Preto, MG: SEE/SBE, 1997.

FIGUEIREDO, Luiz Afonso V.; MARTINS, Carlos Adriano; OLIVEIRA, Rosângela R. Produção técnico-científica em espeleologia: panorama preliminar brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 24, 1997, Ouro Preto. *Anais...* Ouro Preto, MG: SEE/SBE, 1997.

FIGUEIREDO, L. A. V.; ZAMPAULO, R. A.; MARINHO, P. A. Pesquisa científica e qualificação acadêmica em espeleologia e temas afins: desenvolvimento de um catálogo sobre a produção universitária brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 28, 2005, Campinas. *Anais...* Campinas, SP: SBE, 2005. Disponível em: <www.cavernas.org.br/anais28cbe/28cbe_044-065.pdf>. Acesso em 15 fev. 2011.

FIGUEIREDO, L. A. V.; RASTEIRO, M. A.; RODRIGUES, P. C. Legislação para a proteção do patrimônio espeleológico brasileiro: mudanças, conflitos e o papel da Sociedade Civil. *Espeleo-Tema*. Campinas, SP: SBE, v. 21, n. 1, p. 49-65, 2010. Disponível em: <www.cavernas.org.br/espeleo-tema/espeleo-tema_v21_n1_049-065.pdf>. Acesso em 15 fev. 2011.

FIGUEIREDO, L. A. V.; LINO, C. F.; MARINHO, P. A.; ZAMPAULO, R. A.; NAVAS, M. P.; LUZ, C. S.; ALLEGRINI, C. Q. S.; LOPEZ, A. M. Pesquisa em unidades de conservação e sítios espeleológicos: o PETAR (SP) como exemplo da produção e integração de conhecimentos científicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 27, 2003, Januária. *Anais...* Januária, MG: SBE, 2003. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais27cbe/27cbe_045-051.pdf>. Acesso em 15 fev. 2011.

FIGUEIREDO, L. A. V.; ZAMPAULO, R. A.; GERIBELLO, F. K.; PEDRO, E. G.; DELL'ANTONIO, R.; LOBO, H. A. S. Projeto Caverna do Diabo (PROCAD): aspectos históricos (1990-2007) e resultados das expedições da terceira fase. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 29, 2007, Ouro Preto. *Anais...* Ouro Preto, MG: SBE; SEE, 2007. Disponível em: <www.cavernas.org.br/anais29cbe/29cbe_113-119.pdf>. Acesso em 15 fev. 2011.

GALLARETA-NEGRÓN, T. Cenotes y asentamientos humanos en Yucatán. *Arqueología Mexicana*. México, DF: Editorial Raíces, v14, n83, p. 36-43, ene./feb. 2007.

GOMES, M. C. A.; PILÓ, L. B.. As minas de salitre: a exploração econômica das cavernas em Minas Gerais nos fins do período colonial. *Espeleo-Tema*. São Paulo: SBE, n.16, p.83-93, 1992.

GOMÉZ-CHACÓN, G. (dir.); RUIZ-SILVA, J. A. (sup.). *Cenotes y grutas de Yucatán*. Mérida, Yucatán, México: Compañía Editorial de la Península, 2010.

GUIMARÃES, J. E. P. Grutas calcárias. *Bol. IGG*. São Paulo: IGG, n. 47, p. 9-70, 1966.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Departamento Geral de Estatística. *As grutas de Minas Gerais*. Belo Horizonte: IBGE, 1939.

KRONE, R. *As grutas calcáreas de Iporanga*. Rev. Mus. Paulista. São Paulo: n. 3, p.477-500, 1898.

KRONE, R. As grutas calcárias do Vale do Rio Ribeira de Iguape. *O IGG*. São Paulo: IGG, n. 8, p. 248-297, 1950. [Reedição do artigo publicado no Museu Nacional, em 1909]

LA SALVIA, E. S. Os 60 anos da Sociedade Excursionista e Espeleológica e da Espeleologia Brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 24, 1997, Ouro Preto. *Anais...* Ouro Preto, MG: SEE; SBE, jul. 1997.

LE BRET, M. Estudos espeleológicos no vale do Alto Ribeira. *Bol. IGG*. São Paulo: IGG, n. 47, p. 71-127, 1966.

LE BRET, M. *Maravilhoso Brasil subterrâneo*. Jundiaí: Japi, 1995. [edição original francesa, 1975]

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

LINO, C. F. *Cavernas: o fascinante Brasil subterrâneo*. São Paulo: Rios, 1989.

LISBOA, K. M. *A nova atlântida de Spix e Martius: natureza e civilização na Viagem pelo Brasil (1817-1820)*. São Paulo: HUCITEC; FAPESP, 1997.

LOBO, H. A. S.; VERÍSSIMO, C. U. V.; SALLUN FILHO, W.; FIGUEIREDO, L. A. V.; RASTEIRO, M. A. Potencial geoturístico da paisagem cárstica. *Global Tourism*. v.3, n. 2, nov. 2007.

LOBO, H. A. S.; SALLUN FILHO, W.; VERÍSSIMO, C. U. V.; TRAVASSOS, L. E. P.; FIGUEIREDO, L. A. V.; RASTEIRO, M. A. Espeleoturismo: oferta e demanda em crescente expansão e consolidação no Brasil. In: BRASIL. Ministério do Turismo. *Segmentação do turismo: experiências, tendências e inovações*. Brasília: Ministério do Turismo, 2010. [artigos acadêmicos].

LUNA FILHO, P. E. *Peter Wilhem Lund: o auge das suas investigações científicas e a razão para o término das suas pesquisas*. 2007. Tese (Doutorado em História Social) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

- LUND, P. W. *Memórias sobre a paleontologia brasileira*. Revisão e comentários de Carlos de Paula Couto. Rio de Janeiro: INL, 1950. (Íntegra de originais publicados em vários periódicos brasileiros no período de 1884 a 1946).
- MARCHESOTTI, A. P. A. *Peter Wilhelm Lund (1801-1880): o naturalista, sua rede de relações e sua obra, no seu tempo*. 2005. 212f. Dissertação (Mestrado em História) – Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.
- MARTIN, P. A. Exploradores de grutas e cavernas brasileiras vão fundar federação. *O Estado de São Paulo*. São Paulo: 09 out. 1964. [Cad. Turismo].
- MARTIN, P. A. A espeleologia no Brasil. *Espeleo-Tema*. São Paulo: SBE, n.13, p.21-28, 1979.
- MATTOS, A. *Pré-história brasileira*. São Paulo: Nacional, 1938. (Coleção Brasileira).
- MATTOS, A. *Peter Wilhem Lund no Brasil: problemas de paleontologia brasileira*. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1939. (Brasiliana, v. 148)
- NUNES, E.; LUZ, C. S.; ANJOS, D. T.; GONÇALVES, A. C.; FIGUEIREDO, L. A. V.; ZAMPAULO, R. A. Inclusão social de portadores de necessidades especiais (PNEs) e a prática do turismo em áreas naturais: avaliação de seis cavidades turísticas do estado de São Paulo. *Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas*. Campinas, SP: SBE, v.1, n. 1, p. 77-88. 2008. Disponível em: <www.cavernas.org.br/ptpc/ptpc_v1_n1_077-088.pdf>. Acesso em 15 fev. 2011.
- NUNES, E.; LUZ, C. S.; ANJOS, D. T.; GONÇALVES, A. C.; SOUZA, J. F.; LOBO, H. A. S. Proposta de indicadores de acessibilidade às cavidades turísticas direcionadas aos portadores de necessidades especiais (PNEs). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 30, 2009, Montes Claros. *Anais...* Montes Claros: SBE, GRUCAV, UNIMONTES, 2009. Disponível em: <www.cavernas.org.br/anais30cbe/30cbe_159-164.pdf>. Acesso em 15 fev. 2011.
- PEREIRA, M. C.; STÁVALE, Y. O.; SALGADO, A. A. R. Estudo da gênese das cavidades e depressões em minério de ferro - Quadrilátero Ferrífero/MG: Serras do Rola Moça e do Gandarela. *Rev. Bras. Geomorfologia*. São Paulo: União da Geomorfologia Brasileira, v. 13, n. 3, p. 245-253, jul. set., 2012.
- PEREIRA, M. C.; RODET, J. G. M. A.; SALGADO, A. A. R. aspectos genéticos e morfológicos das cavidades naturais da serra da piedade, quadrilátero ferrífero/MG. *Rev. Bras. Geomorfologia*. São Paulo: União da Geomorfologia Brasileira, v. 13, n. 4, p. 465-476, out. dez., 2012.
- PIRES, A. O. S. Speleologia. *Rev. Arq. Públ. Mineiro*, n.23, p.105-167, 1929. Disponível em <www.siaapm.cultura.mg.gov.br/modules/rapm/brtacervo.php?cid=637&op=1>. Acesso em 30 maio 2014.
- PLATÃO. *A República: livro VII*. São Paulo: Martin Claret, 2008.
- ROMEU JUNIOR, J. N.; FIGUEIREDO, L. A. V.; LA SALVIA, E. S. História da Espeleologia Brasileira: uma pesquisa para o resgate da memória sobre as atividades nas cavernas do Brasil. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 48, São Paulo. *Resumos...* São Paulo: SBPC/PUC-SP, 1996.
- SÁNCHEZ, L. E. Bibliografia espeleológica brasileira; 1836/1980. *Ciência e Cultura*. SBPC, v.38, n.5, p.927-932, maio, 1986.
- SCHAMA, S. *Paisagem e memória*. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.
- SCHUT, P.-O. E. A. Martel: the traveller who almost became an academician. *Acta Carsologica*. Ljubjana, Eslovênia: KRI, v. 35, n. 1, p. 149-157, 2006.
- SHAW, T. R. *History of cave science: the exploration and study of limestone caves, to 1900*. New South (Austrália): The Sydney Speleological Society, 1992.
- SIMMONS, G. C. Canga caves in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *The National Speleological Society Bulletin*, v 25, p. 66-72. 1963.
- SPIX, J. B. von; MARTIUS, K. F. P. von. *Viagem pelo Brasil*. Rio e Janeiro: Inst. Histórico e Geographico Brasileiro/Imprensa Oficial, 1938. [reedição do original de 1838].
- TAYLOR, P. L.; NICOLA, C. *The secret of Priest's grotto: a holocaust survival story*. Minneapolis, EUA: Kar-Ben Publishing, 2007.
- TRAVASSOS, L. E. P. O abismo Semonovo (Semonovo Brezno) e seu uso no período pós-guerra. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM GEOGRAFIA, 8, 2009, Curitiba. *Anais...* Curitiba: ANPEGE, 2009.

TRAVASSOS, L. E. P. *A importância cultural do carste e das cavernas*. Tese (Doutorado em Geografia, área de Tratamento da Informação Espacial) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

VAN, T. H. [Claudio Miklos]. *O hóspede da caverna: coletânea de ensaios zen budhistas*. Rio de Janeiro: Colegiado Budhista Brasileiro, 2006.

WEITÉ, P. *La spéléologie: alpinisme a l'envers*. Paris: Stock, 1946.

ZOGBI, L.; AULER, A. *Michel Le Bret: francês e brasileiro, espeleólogo e desenhista*. São Paulo: REDESPELEO, 2006.

BREVE INVENTÁRIO DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO



RUBENS HARDT

Instituto do Carste



INTRODUÇÃO

Antes que se possa pensar em qualquer tipo de ação, atitude, pesquisa, exploração ou mesmo uso do minério onde se insere uma cavidade, existe a necessidade de se conhecer o objeto de discussão. A primeira e mais importante questão é, portanto, identificar as ocorrências e determinar sua posição no espaço. Essa é a base de qualquer ação, seja no sentido de preservar, estudar, fazer uso sustentável ou mesmo suprimir o objeto em questão.

Descrever, registrar, catalogar, relacionar. São as ações básicas de quem faz um inventário. É minimamente o que se espera quando se desenvolve um cadastro para registrar a existência das cavernas no Brasil, ou seja, que não seja apenas um registro numérico e uma posição geográfica, mas que haja minimamente uma descrição da caverna, um mapa, medições, registro de ocorrências que tenham interesse científico ou econômico.

Conseqüentemente, quem normalmente se preocupa com um inventário, é o pesquisador científico, ciente do valor intrínseco de um objeto que, para o leigo, não passa de um “buraco na terra”, como já foi ouvido por parte de empresários mais interessados na exploração da rocha ou minério encaixante.

Reconhecer o valor não financeiro de um objeto e tentar estabelecer qual valor, se o econômico ou o científico, é mais importante passa pelo conhecimento da caverna, e o conhecimento depende do registro de sua existência.

Neste capítulo, discute-se um pouco dos elementos que devem constar em um inventário, uma vez que estes são essenciais para se valorar uma caverna; descreve-se também, os problemas relacionados às tentativas de se estabelecer um cadastro, as divergências entre cadastro público e privado, e faz-se um ensaio de elencar um mínimo de informações necessárias para que um inventário de cavernas tenha utilidade.

UM BREVE ESBOÇO HISTÓRICO

Os primeiros trabalhos científicos desenvolvidos sistematicamente em cavernas no Brasil foram feitos por Peter Lund, no Estado de Minas Gerais. Embora sua preocupação maior fosse os estudos paleontológicos, logo ele constatou que as grutas eram o principal depósito de fósseis, revelando aí, uma das primeiras características científicas de relevância para as grutas. Como resultado, Lund explorou e catalogou uma série de grutas no Estado de Minas Gerais, tendo sido, provavelmente, o primeiro a desenvolver um catálogo das cavernas no Brasil.

Em época um pouco mais recente, trabalhou entre o final do século XIX e início do século XX, no Vale do Ribeira, Richard Krone, desenvolvendo um levantamento das cavernas encontradas por ele no Vale do Ribeira, tendo sido este trabalho a base para o desenvolvimento do cadastro da Sociedade Brasileira de Espeleologia, inicialmente centrado no Estado de São Paulo, e posteriormente expandido para todo o Brasil, conforme descrito no então boletim informativo Espele-Tema nº4 (1971), hoje transformado em Revista Científica.

A Sociedade Brasileira de Espeleologia tem sido, portanto, a entidade não governamental que vem mantendo um registro sistemático das cavernas brasileiras desde o início dos anos 70 do século XX, inicialmente em fichas cadastrais manuais (ainda mantidas no acervo da SBE como um documento histórico), e posteriormente, com a evolução da informática e a acessibilidade aos meios digitais, transformado em um sistema computadorizado, com as vantagens características de um sistema eletrônico, como buscas complexas de características e acesso via internet.

Embora tal catálogo seja mantido pela SBE, os dados são fornecidos por seus associados, o que implica em uma diversidade de informações de cada caverna cadastrada, em função do maior ou menor conhecimento de cada associado que remete seus dados para a entidade, bem como a concentração de dados em regiões de maior interesse espeleológico ou de mais fácil acessibilidade, ficando regiões muito distantes ou de difícil acesso menos exploradas.

BREVE INVENTÁRIO DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO

Outro fator relevante é que durante muito tempo acreditou-se que só havia grutas em quantidade nos calcários, e que grutas em outras rochas eram um “acidente natural”, consequência de um acaso qualquer. Sabe-se hoje que grutas são frequentes em outras litologias, como o arenito, o quartzito e o ferro, mas ainda são pouco estudadas e seu valor científico ainda é pouco conhecido. Consequentemente, a grande maioria das grutas cadastradas é em rochas carbonáticas, sendo que grutas em outras litologias foram por muito tempo negligenciadas.

Acredita-se, portanto, que a maior parte do patrimônio brasileiro é desconhecido, havendo estimativas absolutamente precárias de que o que se conhece hoje não ultrapassa 10% de todo o potencial do território brasileiro.

Por cerca de 10 anos coexistiu como entidade nacional, a Redespeleo Brasil, que, sendo formada por uma dissidência da Sociedade Brasileira de

Espeleologia, congregou alguns grupos bastante ativos, e mantiveram, durante sua existência, um cadastro de cavernas, tendo tomado por base o cadastro da Sociedade Brasileira de Espeleologia e acrescentado dados próprios. A entidade em si se extinguiu por volta de 2013, e não se sabe o destino dado ao cadastro da entidade.

Nas últimas duas décadas, em função da legislação brasileira demandar que as cavernas são um patrimônio da União, e que são protegidas por lei, surgiu a necessidade de um inventário público, que vem sendo desenvolvido pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), através do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV). Do ponto de vista da União, esse é o cadastro oficial; no entanto, tem apresentado vários problemas de organização e acessibilidade, tendo entrado e saído do ar frequentemente, tornando-o uma fonte insegura.

A RIQUEZA DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO

Discutir valores de bens naturais ou culturais é bastante complexo, e tem sido o grande problema nos estudos de manejo ou mineração, para determinar se o valor econômico e necessário para o progresso suplanta o valor científico ou cultural de um determinado objeto, no caso, as cavernas.

Sem tentar determinar valores, já que cada caso de estudo pode atribuir valores diferenciados para cada elemento, a ideia aqui é apresentar temas que devem integrar o cadastro, sendo que esses temas serão debatidos em capítulos posteriores deste livro. A finalidade aqui é mostrar um pouco do patrimônio espeleológico que deve ser registrado em um cadastro ou inventário.

A riqueza mineralógica está relacionada com a rocha encaixante, as transformações desta rocha através dos processos de intemperismo, o aporte mineral de rochas nas vizinhanças ou por origem biológica, como os morcegos ou seres humanos. Como resultado, uma caverna possui características mineralógicas diversas, suportadas pela rocha encaixante, mas alteradas e depositadas por processos intempéricos. Os exemplos mais reconhecíveis são os espeleotemas (Figura 1).

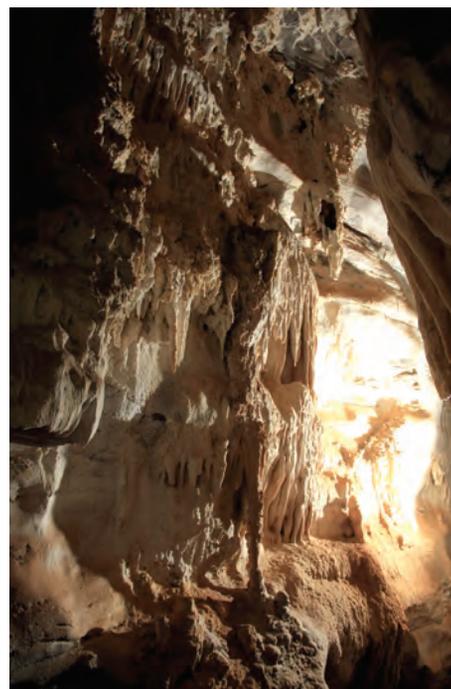


Figura 1: Espeleotemas. Gruta da Tarimba, Mambaí, GO. Foto: Rubens Hardt, 2013.

Ainda no campo da geologia, o interior da caverna muitas vezes permite observar estruturas de deposição, falhas, diáclases e dobramentos, entre outras (Figura 2).

Outro importante fator é a questão hidrológica. Aquíferos sempre estiveram relacionados às cavernas, seja no momento presente ou no passado. Raras são as cavernas formadas sem a influência da água. Consequentemente a presença atual da água em uma caverna, implica tanto em seu constante desenvolvimento, quanto é um fator de risco para o aquífero regional, já que a porosidade de condutos, típica das cavernas, é capaz de transportar um sem número de poluentes (Figura 3).

No campo da paleontologia, as cavernas, por serem um ambiente estável, tendem a preservar melhor os restos de animais que ali morreram ou foram carregados para o interior em função de chuvas ou torrentes, sendo frequentemente um importante depósitoossilífero (Figura 4).

Com relação à Biologia, a presença de animais é sempre importante. Como muitas vezes a comunicação da caverna com outras só acontece em um nível regional, por pequenas fissuras ou porosidades não penetráveis pelo homem, muitas espécies

de cavernas são endêmicas de uma determinada região. É talvez o fator mais importante e crítico quando se pensa no uso/supressão de uma caverna (Figura 5).

Na Arqueologia, as cavernas foram utilizadas pelos homens desde há muito tempo, fosse como abrigo temporário, como moradia, ou simplesmente como local de caça ou adoração. Como resultado, são frequentes os registros de presença humana nas cavernas. Um patrimônio histórico e cultural fundamental para a compreensão da ocupação pretérita do Brasil e da cultura dos antigos habitantes desta terra (Figura 6).

Na atualidade, cavernas também são utilizadas como locais de peregrinação, culto, visitação por motivação artística ou cultural. Aí muitas vezes o valor não está na caverna em si, mas no valor que a caverna possui para a população que a frequenta (Figura 7).

Por fim, mas não esgotando o tema, o turismo é muitas vezes uma fonte de renda mais importante e contínua que a mineração em si, sendo também um fator de importância para a conscientização da população leiga quanto ao valor das cavidades subterrâneas, devendo também ser levado em consideração



Figura 2—Planos de acamamento, fraturas, morfologia de condutos são alguns dos elementos que se pode observar no interior das cavernas. Gruta da Tarimba, Mambá, GO. Foto: Rubens Hardt, 2013.



Figura 3—Rio percorrendo a galeria da Gruta Troncos, Itacarambi, MG. Foto: Rubens Hardt, 1999.



na hora de um cadastro (Figura 8).

Menos perceptível, mas de grande importância científica, é o mapeamento da caverna. Os mapas apresentam diversas características fundamentais aos estudos, principalmente sobre o desenvolvimento do sistema ao qual a caverna está integrada, suas dimensões e seu atual estágio de desenvolvimento. Um mapeamento deve acompanhar, sempre que possível, um cadastro. Não sendo possível, deve-se executar o cadastramento assim mesmo, mas procure dar ao menos alguma descrição das dimensões e da forma da caverna, se possível acompanhada de fotos.

Não esgotando o tema, e lembrando que cada tema desses será tratado em separado neste livro, sempre que fatores como esses forem encontrados em uma caverna, devem constar em um cadastro, para que se tenha noção da importância dela em relação ao contexto local, regional, nacional ou mesmo mundial. Evidentemente, se uma caverna possui uma característica exótica ou atípica, esta se revestirá de uma importância diferenciada, sendo fundamental que tal característica seja relatada.



Figura 4: Fósseis na Toca da Boa Vista, BA.
Foto: Rubens Hardt, 1994.

Figura 5: Morcego, uma das ocorrências mais comuns em cavernas.
Foto: Rubens Hardt, 2009.

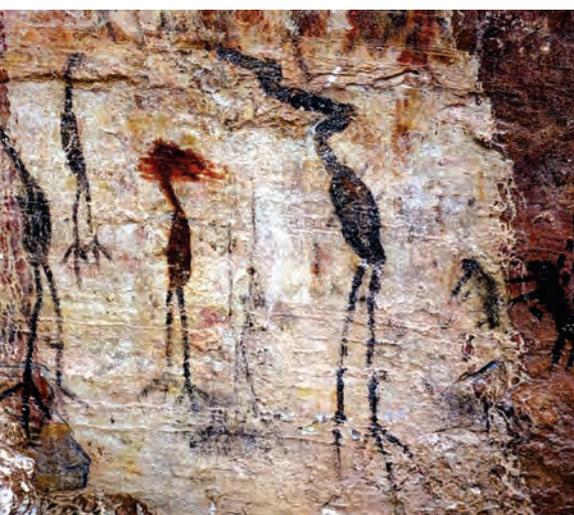


Figura 6: Pintura rupestre. Lapa de Desenhos, MG.
Foto: Rubens Hardt, 1999.

Figura 7: Uso cultural. Grutinha Piedade, MG. Foto: Luciano Faria, 2011.
Figura 8: Uso Turístico. Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira - PETAR. Foto: Rubens Hardt, 2006.

Desde um ponto de vista científico, o cadastro do governo é inadequado e insuficiente. Por outro lado, possui um maior número de registro pela facilidade de organizar os dados referentes aos trabalhos de levantamento levado a cabo pelas equipes do órgão e pelo recebimento de relatórios de empreendedores interessados em desenvolver alguma atividade em área de ocorrência de caverna.

Já o cadastro da SBE apresenta uma estrutura mais rica e interessante para a ciência, mas possui menos registros e em muitos casos, a grande maioria dos campos está em branco. A solução, neste caso, seria a elaboração de uma bibliografia que descreva os passos necessários ao cadastramento, inclusive noções básicas sobre cada área da ciência, escrita de forma compreensível para o público leigo, sobre o que deve ser observado em campo e como registrar.

Houve um ensaio de produzir tal manual de referência na década de 90 do sec. XX, mas por discrepância entre alguns dos autores e a direção da Sociedade, tal iniciativa acabou não sendo publicada. Hoje, uma nova elaboração nesse sentido seria necessária. Este livro, pode vir a ser a primeira referência sobre os elementos essenciais e complementares em um levantamento espeleológico, embora focado no ferro, muitos dos conceitos aplicados aqui são universais.

Se o que deve constar em um cadastro é no mínimo complexo de se discutir e não se tem, ainda, uma posição definitiva, com problemas a resolver e critérios ainda não totalmente estabelecidos, um outro problema diz respeito à fonte de dados. O cadastro da Sociedade Brasileira de Espeleologia é mantido pela atividade voluntária de seus associados, e como já discutido, nem sempre entre as pessoas de um grupo que descobre e explora uma caverna, existem especialistas nos assuntos diversos que devem constar no cadastro.

Sem ter como verificar se a pessoa ou o grupo que realizou o cadastro foi capaz de avaliar corretamente as condições locais, os dados recebidos pela SBE são cadastrados com a referência de quem os forneceu, esperando-se, com isso, que estejam corretos, ou que, em caso de dúvidas, que os interessados possam entrar em contato com o responsável pela informação e tentar dirimir as

questões em aberto.

O importante é que, mesmo que os dados não estejam perfeitamente avaliados, eles ao menos levantem questões que provoquem novas investidas às cavernas em estudo, visando a complementar dados e/ou dirimir dúvidas; ou, no caso de a caverna ser alvo de um empreendimento, que se possa verificar se o estudo citou e esclareceu os elementos dúbios do cadastro, o que já demonstraria que os levantamentos foram feitos com algum critério e qualidade.

Supostamente, um cadastro mantido pela União deveria ser correto, pois, em princípio, a União deveria manter especialistas capazes de verificar cada caverna e confirmar a precisão dos dados. Existem campos “Validado” que, segundo o site do CECAV, correspondem aos valores 1, para a confirmação de que a caverna cai no município e litologia predominantes; 2, se teve as coordenadas conferidas “in loco” de acordo com os critérios do CECAV; e 3, se a caverna foi topografada. Supostamente, uma caverna deveria ter os 3 itens validados, e as que não os possuem, dependem de novas investidas e verificações.

No entanto, sendo o cadastro o resultado de levantamentos de bens da União, seu acesso público e irrestrito deveria ser permitido e facilitado. Se o cadastro do CECAV é mais detalhado ou complexo do que vem a público, não se sabe.

Muitas dessas questões não têm uma resposta simples e, possivelmente, tanto a Sociedade Brasileira de Espeleologia quanto o CECAV poderiam usufruir de um cadastro mais confiável e completo, se um convênio fosse estabelecido entre as entidades.

Além disso, seria extremamente interessante que a Sociedade Civil sempre mantivesse um cadastro paralelo ao do Governo, como garantia de integridade dos dados do Governo e como forma de fiscalização do órgão responsável, tendo assim, uma forma de cobrar que o CECAV, ou qualquer futuro órgão que o substitua, realize o trabalho a ele designado de manter e zelar pelo patrimônio espeleológico. A duplicidade dos dados em entidades não governamentais é fundamental para a garantia de que a lei seja seguida, no caso de uso ou supressão de cavidades.

OS PROBLEMAS DE UM INVENTÁRIO

A construção de um inventário passa por critérios que precisam ser estabelecidos com clareza, permitindo, desta forma, que uma pessoa seguindo estes critérios, possa realizar o cadastramento de uma caverna sem maiores complicações.

Com essa finalidade, a Sociedade Brasileira de Espeleologia desenvolveu, ao longo da existência do seu cadastro, fichas que foram constantemente atualizadas, sempre visando a permitir a consistência dos dados inseridos, mas, dependendo também, que a pessoa ou grupo associado preencha corretamente os campos, sob pena de haver inconsistência de alguns (ou mesmo de muitos dados) tornando a tarefa complexa. Também foi produzida publicação, visando a padronizar ao menos os critérios de topografia (SBE, 1991), denominada “Normas e Convenções Espeleométricas”. Tal publicação ainda pode ser encontrada em versão digital, mas carece de atualizações.

A primeira questão é o que cadastrar. Definir quais são as informações mínimas para que uma caverna tenha sua existência reconhecida é fundamental, e ainda é objeto de discussões por parte de pesquisadores e empreendedores. A primeira abordagem é a minimalista, ou seja, estabelece-se uma entrada no cadastro desde que se tenha um conjunto mínimo de dados e o cadastro é composto apenas por esses dados e um campo descritivo aberto.

Essa parece ser a solução adotada pelo cadastro governamental (ao menos do que foi divulgado publicamente dele), em que o cadastro é composto de um número de registro, da sigla do estado, o nome da caverna, o município em que se encontra, as coordenadas geográficas e dois campos descritivos, um relacionado a litologia e outro se os dados foram validados ou não (supõe-se que validados signifique que o CECAV verificou a veracidade dos dados daquela cavidade, mas isso não aparece explícito em nenhuma área de disponibilidade pública).

A solução minimalista tem a vantagem de facilitar o registro de uma ocorrência, mas não auxilia ou acrescenta nenhuma informação útil para uma pesquisa científica, exceto talvez a litologia, no caso do cadastro governamental. Como o interesse é, sobretudo, ligado ao licenciamento ou não de áreas de mineração, ou ao uso turístico, o cadastro cumprir parcialmente a função de obrigar estudos deta-

lhados na área, quando um empreendimento lá pretende se estabelecer. O problema é que não se tem noção da dimensão que essa caverna ocupa no espaço, se ela apresenta características hidrológicas, biológicas, culturais ou qualquer outra, fazendo com que uma pesquisa superficial, carente de maiores informações, feita por algum empreendedor mal intencionado ou por consultores despreparados, possa ser facilmente aceita, e se torne a “verdade” sobre a caverna, não havendo qualquer contraponto em que se possa verificar a qualidade do documento, resultando em destruição do patrimônio da União pela ausência ou inadequação de maiores informações.

A solução detalhada se encontra em outro extremo, ou seja, tenta registrar o maior número de informações disponíveis para cada caverna, pretendendo, com isso, ser uma referência completa e dinâmica da caverna em questão, contendo dados sobre a extensão da cavidade, elementos de geologia, de biologia, arqueologia, paleontologia, de usos e costumes culturais, de exploração, fotos, mapas, referências bibliográficas, pessoa ou instituição responsável pelo cadastramento, pessoa ou instituição responsável por atualizações e, ainda, campos de comentários e observações que permitam complementar as informações e que porventura não possuam um campo específico para isso.

A dificuldade, nesses casos, é que dificilmente uma única pessoa tem condição de avaliar todos os parâmetros, e dificilmente um grupo de pessoas possui elementos qualificados para avaliar todos os parâmetros, e muitas vezes um cadastro extremamente detalhado intimida o leigo e faz com que este deixe de informar a ocorrência, por insegurança ao preencher a ficha de cadastro.

Busca-se, normalmente, uma solução intermediária, onde se mantém um sistema computadorizado extensivo, com grande número de campos para o registro de detalhes, mas cuja exigência para realização do cadastro é minimalista, ou seja, para que uma caverna seja reconhecida em sua existência, basta ter um nome e uma localização geográfica. O problema, neste caso, é que quem insere os dados na ficha normalmente é um ser humano, que nem sempre se sente confortável com a utilização do sistema e pode se confundir, não conseguindo definir se um dado é essencial ou não.

O INVENTÁRIO ATUAL: CONSIDERAÇÕES E PROBLEMAS

Não vai ser discutido aqui, o cadastro do CECAV, pelo simples motivo de que, enquanto este capítulo era escrito, o Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (Canie), mantido pelo CECAV, não se encontrava totalmente disponível, com restrições nos sistemas de busca. Como o único Cadastro Nacional existente atualmente com acesso aos associados da SBE e pesquisadores sob demanda e justificativa, o Cadastro Nacional de Cavernas (CNC) é a referência atualmente funcional.

A Sociedade Brasileira de Espeleologia estabeleceu, nos últimos anos, um convênio com instituições privadas, notadamente no que diz respeito à atualização e validação dos dados do cadastro, e o estabelecimento de uma plataforma WEB para acesso direto dos associados via nome de usuário e senha. Como resultado, já é acessível uma base de dados bastante rica em campos de fácil entendimento (embora com a ressalva de que são poucas as cavernas que possuem todos os campos preenchidos) que permite buscas e pesquisas diretamente pela internet, tornando-a uma referência para a sociedade civil e a comunidade científica.

A riqueza de campos torna essa base um inventário extenso, onde se pretende contemplar tanto quanto possível, os elementos de interesse científico e cultural da cavidade lá constante. No entanto, assume-se que uma caverna possa ser cadastrada se existirem os dados essenciais para sua localização e individualização em relação a outras cavidades.

A grande dificuldade na elaboração desse cadastro é que ele é construído apenas pelos sócios indivi-

duais e pelos grupos de espeleologia afiliados à SBE, cuja atividade é voluntária e praticada, na maioria das vezes, por hobby. Não sendo a atividade principal da maioria dos associados, conseqüentemente, ele recebe dados de forma esporádica, embora a SBE procure estimular e promover ações para que os sócios continuem a produzir esses dados. Nesse sentido, a concorrência é quase “desleal” com o CECAV e com empresas de consultoria que designam profissionais pagos para executar o levantamento, conseguindo com isso, um aporte muito mais constante e numeroso que o cadastro da Sociedade Brasileira de Espeleologia.

Portanto, muitos dados de cavidades ficam restritos a círculos fechados da empresa de consultoria, da empresa contratante, e também, por parte do cadastro governamental que não disponibiliza toda a informação que possui sobre as cavernas por eles cadastradas. Talvez uma mudança na legislação seja necessária para viabilizar, ou mesmo exigir o acesso a essa documentação.

Também a espeleologia brasileira vem passando por um período de baixa atividade, onde grupos bastante ativos no passado já não mantêm o mesmo ritmo, e a renovação ou acréscimo de novos espeleólogos vêm diminuindo a cada ano; não se sabe se é um fenômeno do acaso ou uma tendência moderna em função dos jovens de hoje cada vez se interessarem mais por atividades urbanas ou diversões eletrônicas, ao invés de atividades na natureza.

Isso pode ser constatado nos relatórios anuais da Sociedade Brasileira de Espeleologia, onde se



CNC
Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil

Olá Visitante | Login | Novo Usuário

Home CNC Estatística Regiões

CNC - Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil
Atualmente o CNC possui 6035 caverna(s) registrad(a)s.

O Cadastro Nacional de Cavernas foi criado pela SBE - Sociedade Brasileira de Espeleologia, com o objetivo de compilar todas as informações disponíveis sobre as cavernas brasileiras. Atualmente, o CNC é uma ferramenta importante para pesquisas em diversas áreas e disponibilizado para estudos e projetos de preservação das cavernas e do meio ambiente.

Últimas atualizações ?	As 10 maiores ?	As 10 mais profundas ?
Rio Tapajós 04/09/2014	Boa Vista 107.000,00m	Guy Collet 670,00m
Minotauro II 03/09/2014	Barriguda 33.000,00m	Centenário 481,00m
Faro de Cabeçadas 02/09/2014	Padre 16.400,00m	Bocaina 404,00m
Praia da Solidão 02/09/2014	Boqueirão 15.170,00m	Altaouf 294,00m
Morcego 02/09/2014	Angélica 14.100,00m	Casa de Pedra 282,00m
Pseudomatriona 25/08/2014	Água Clara 13.880,00m	Lago Azul 274,00m
do Tramandaí 25/08/2014	São Mateus III 10.828,00m	Juvenal 241,00m
dos Orizás 25/08/2014	São Vicente I 10.130,00m	Lagoa Misteriosa 220,00m
Pedra Furada II 25/08/2014	Tarimba 10.040,00m	Água Suja 202,00m
Raposinha 25/08/2014	Doce II 9.700,00m	Los Três Amigos 200,00m

Figura 9: Tela de abertura do CNC. (Fonte: www.cavernas.org.br/cnc, consultado em 16 de setembro de 2014)

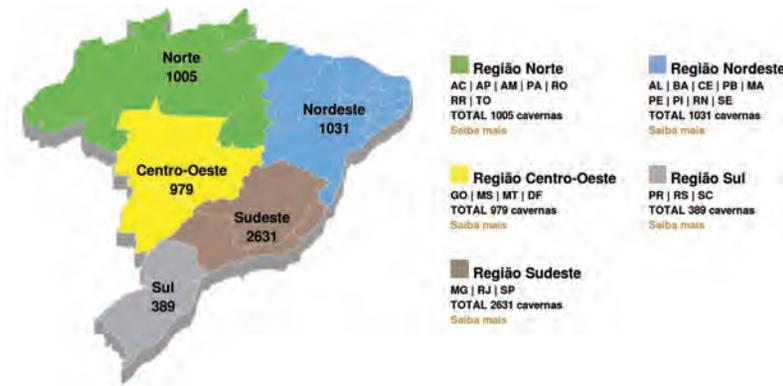


Figura 10: Cavernas por região conforme o CNC. (Fonte: www.cavernas.org.br/cnc, consultado em 16 de setembro de 2014)

As 10 primeiras - Ranking por Litologia

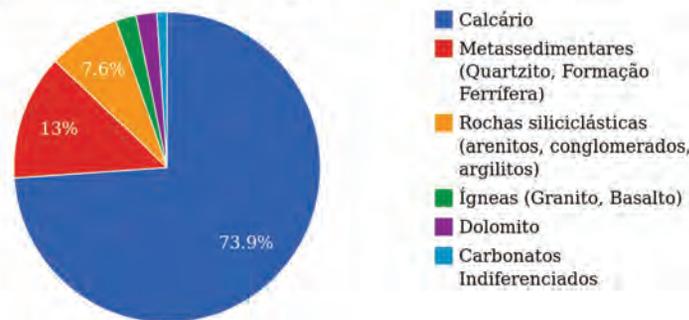


Figura 11: Cavernas por litologia conforme o CNC. (Fonte: www.cavernas.org.br/cnc, consultado em 16 de setembro de 2014)

observa uma diminuição nas novas afiliações ano a ano e também, uma menor atividade dos grupos no envio de novas cavidades e atualizações à base de dados.

Após todas essas ressalvas, vamos verificar algumas informações do patrimônio espeleológico brasileiro constantes no CNC. Já na página de abertura, tem-se acesso às cavernas que se destacam por algum fator, ou as que foram recentemente cadastradas (Figura 9).

Também são acessíveis algumas estatísticas, como número de cavernas por estado ou por região (Figura 10).

Uma estatística interessante disponível é o agrupamento por litologia, que, embora bastante genérico e aglutinando certos grupos rochosos, nos dá a percepção de que o calcário ainda é a principal litologia explorada e estudada (Figura 11).

Além disso, é possível fazer pesquisas por campos e buscar grupos de cavernas específicas. Como exemplo, tem-se um mapa elaborado em SIG (Sistema de Informações Geográficas) com base nas cavernas encontradas em canga/ minério de ferro (Figura 12), a partir dos dados do CNC.

Cavernas em Canga

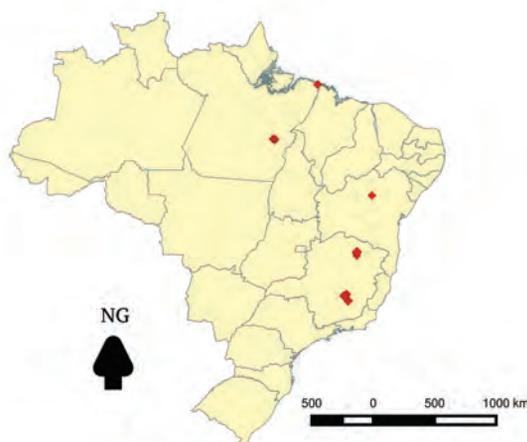


Figura 12: Cavernas em canga conforme o CNC. (Fonte: www.cavernas.org.br/cnc, consultado em 20 de junho de 2014, elaborado por Rubens Hardt)

PROVÍNCIAS ESPELEOLÓGICAS DO BRASIL

Em 1979, foi publicado um trabalho (Karmann & Sánchez, 1979) que se tornou referência quando se discute a ocorrência de cavernas em território Brasileiro. Baseou-se nas ocorrências de rochas carbonáticas no Brasil, e foi feito com base em mapas geológicos e os dados disponíveis sobre as cavernas conhecidas até então. Embora com as restrições associadas ao tipo de rocha e ao conhecimento sobre as cavernas na época, muito inferior ao de hoje, ainda é um trabalho fundamental ao definir termos como “província espeleológica”, “distrito espeleológico” e sistemas regionais de cavernas.

Define-se “província espeleológica” como sendo uma região pertencente a uma mesma formação geológica, com a ocorrência de grandes corpos de rochas suscetíveis a ação cárstica. Na definição original, esses termos eram aplicados exclusivamente a rochas carbonáticas, no entanto, a evolução do conhecimento mostra que outras rochas são suscetíveis de carstificação, motivo pelo qual optou-se por omitir o tipo de rocha na definição aqui apresentada.

Identificam-se, em uma província, setores onde existe uma maior ocorrência de cavernas em detrimento de outros, mostrando uma descontinuidade dos processos de formação de cavernas ao longo da província. Esses setores de maior ocorrência são denominados “distritos espeleológicos”.

Evidentemente, esses conceitos foram elaborados com base nas rochas carbonáticas, mas hoje são utilizados para a ocorrência de cavernas em outras litologias, motivo pelo qual, neste trabalho, omite-se da definição original o tipo de rocha.

Como neste capítulo pretende-se dar uma noção do patrimônio espeleológico brasileiro, comenta-se, a seguir, as províncias carbonáticas identificadas na época e as principais cavernas conhecidas em rochas carbonáticas, sendo que, em trabalhos mais recentes (Suguio 1999; Auler et al. 2001), sugestões

foram feitas visando a incorporação e considerações de novas áreas, inclusive em rochas não carbonáticas.

Na época, foram identificadas 5 províncias espeleológicas: I Vale do Ribeira; II Bambuí; III Serra da Bodoquena; IV Alto Paraguai e V Chapada da Ibiapaba. Nestas regiões são encontradas as principais cavernas carbonáticas do país, tanto em dimensão quanto em riqueza de espeleotemas, vestígios arqueológicos e paleontológicos, variedade de espeleotemas, entre outros.

Citam-se como exemplos as cavernas de Santana e Caverna do Diabo, na província do Vale do Ribeira; Maquiné, Lagoa Santa e as cavernas do Vale do Peruaçu, notadamente a gruta do Janelão, em Minas Gerais e da Mangabeira, Lapa Doce e Torrinha, na Bahia, São Mateus/Imbira, em Goiás, entre outras, na província do Bambuí.

Na província Serra da Bodoquena, temos a famosa gruta do Lago Azul, em Bonito. Já no Alto Paraguai, temos em Nobres e Rosário Oeste as principais ocorrências de cavernas, muitas ainda pouco conhecidas e exploradas. Na Chapada de Ibiapaba, temos a Gruta de Ubajara como a mais conhecida, que motivou a criação do Parque Nacional de mesmo nome.

A riqueza desse patrimônio não é mensurável financeiramente, e muitas vezes é questionada por pessoas cuja visão econômica não consegue compreender o valor científico e cultural inserido nele, o que gera conflitos entre uso sustentável e consumo dos bens minerais. Tais problemas se apresentam também nas litologias ferríferas, embora em termos de beleza cênica, as cavernas em ferro sejam menos consideradas que as em calcário.

Possivelmente, em função do que se conhece do patrimônio espeleológico em canga, já se pode falar em, ao menos, duas províncias espeleológicas em ferro, a do quadrilátero ferrífero em Minas Gerais e a província espeleológica ferrífera do Pará.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O patrimônio espeleológico brasileiro recebeu maior atenção após a constituição de 1988 em função de passar a constar como bens da União, colocando em confronto direto preservacionistas e empreendedores.

Para que se possa desenvolver um trabalho sério, é necessário conhecer esse patrimônio, o que vem sendo feito pela SBE desde a década de 60, quando da sua fundação, e por grupos e pesquisadores muito antes disso.

É importante a participação governamental na identificação e inventariação desse patrimônio, mas essa atividade não pode ser feita à margem da sociedade e os dados ficarem disponíveis apenas parcialmente ou em relatórios fragmentados em diversos sites pela Internet, tornando quase impossível organizá-los. Exemplo claro disso pode ser visto com base no cadastro da Sociedade Brasileira de Espeleologia. Consta no CNC apenas 39 cavernas em minério de ferro, quando um levantamento preliminar nos trabalhos disponíveis na Internet revela a existência conhecida de mais de 2.000 cavernas nesta litologia. Alguns consultores falam em aproximadamente 4.000 cavernas, o que tornaria esta litologia ainda mais importante na espeleogênese que os calcários!

Por outro lado, é fundamental a existência de um cadastro civil não governamental como garantia que os dados estejam disponíveis, pois governos e políticas mudam, e muitas vezes informações disponíveis hoje, amanhã podem não estar. Seria de extremo interesse da sociedade que os cadastros governamental e civil trabalhassem lado a lado, garantindo a duplicidade e a segurança dos dados, ao tornar mais difícil e complexa a ação de fraude, destruição ou perda de informação.

REFERÊNCIAS

- AULER, A.; RUBBIOLI, E.; BRANDI, R. *As grandes cavernas do Brasil*. Belo Horizonte: Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, 2001. 228p.
- COMISSÃO DE CADASTRO, ESPELEOMETRIA E PROVÍNCIAS ESPELEOLÓGICAS. *Cadastro Nacional de Cavernas Naturais: Índice de dados sobre as cavernas do Brasil*. Reedição 1990. São Paulo: SBE, 1990. 222p.
- FOSTER, JOHN (Org.). *Valuing Nature?* Nova Iorque: Routledge, 1997. 274p.
- KARMANN I. SÁNCHEZ, L. E. Distribuição de rochas carbonáticas e províncias espeleológicas do Brasil. *Espeleo-Tema* 13, São Paulo: 1979. Pag. 105-167.
- PEREIRA, MANUELA CORREA. *Aspectos genéticos e morfológicos das cavernas naturais da Serra da Piedade - Quadrilátero Ferrífero/MG*. 2012. 149 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA. *Normas e convenções espeleométricas*. Curitiba: 1991. 14 p.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA. Cadastro das cavernas do Estado de São Paulo. *Espeleo-Tema* 4, São Paulo: 1971. Pag. 4-5.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA. *Cadastro Nacional de Cavernas*. Disponível em <<http://www.cavernas.org.br/cnc>>, consultado em 20 de junho de 2014.
- SUGUIO, K. *Geologia do Quaternário e mudanças ambientais*. São Paulo: Paulo's Editora, 1999. 366p.

PROTEÇÃO JURÍDICA DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO



MARCOS PAULO SOUZA MIRANDA

Promotor de Justiça
Coordenador da Promotoria Estadual de Defesa do
Patrimônio Cultural e Turístico de Minas Gerais

CRISTINA KISTEMANN CHIODI

Assessora Jurídica do Núcleo de Apoio ao Licenciamento
Ambiental do Ministério Público de Minas Gerais



INTRODUÇÃO

O patrimônio espeleológico (do grego *spelaiion* = caverna), no qual se incluem as cavidades naturais subterrâneas, é constituído pelo conjunto de ocorrências geológicas que criam formações especiais, tais como vales fechados, dolinas, paredões verticais, *canyons*, sumidouros, abismos, drenagens subterrâneas, furnas, tocas, grutas, lapas, cavernas e abrigos sob rochas, incluindo os elementos bióticos e abióticos, socioeconômicos e histórico-culturais, subterrâneos ou superficiais, a ele associados.

A proteção desses locais é de fundamental importância em razão de sua relevância para o meio ambiente natural e cultural.

Com efeito, as cavidades naturais subterrâneas compõem ecossistemas de intensa complexidade e de grande fragilidade ambiental, com significativo endemismo faunístico, beleza cênica, multiplicidade de feições morfológicas, deposições minerais de diversos formatos (espeleotemas) e estratégicos reservatórios de água, além de comumente guardarem vestígios paleontológicos (v.g., megafauna extinta), arqueológicos (v.g., pinturas rupestres, acampamentos e sepultamentos pré-históricos) e de mudanças climáticas (paleoclima), de fundamental importância para melhor compreensão da evolução da vida sobre a terra.

Acresça-se que os sítios espeleológicos possuem natural aptidão para o turismo, em razão da beleza de suas formações, rios e lagos subterrâneos de águas cristalinas, o que, com os devidos planejamento e gestão, pode contribuir para o desenvolvimento socioeconômico das regiões de ocorrência de cavidades.

Em termos legais, entende-se por cavidade natural subterrânea todo e qualquer espaço subterrâneo acessível pelo ser humano, com ou sem abertura identificada, popularmente conhecido como caverna, gruta, lapa, toca, abismo, furna ou buraco, incluindo seu ambiente, conteúdo mineral e hídrico, a fauna e a flora ali encontrados e o corpo rochoso onde os mesmos se inserem, desde que tenham sido formados por processos naturais, independentemente de suas dimensões ou tipo de

rocha encaixante (art. 1º, parágrafo único, do Decreto 99.556/ 90).

Para fins jurídicos, as cavidades naturais subterrâneas e suas áreas de influência¹ são consideradas espaços territoriais especialmente protegidos, cujo regime jurídico depende da avaliação do seu grau de relevância, sendo vedada a utilização que comprometa a integridade dos atributos que justifiquem sua proteção.

As cavernas em geossistemas ferruginosos também são regidas pelo regime jurídico geral de proteção do patrimônio espeleológico brasileiro. Tal proteção não é absoluta, sendo permitida a intervenção e supressão de cavernas em função da presença ou ausência de atributos formalmente definidos.

A especial proteção jurídica conferida ao patrimônio espeleológico justifica-se em razão da sua alta vulnerabilidade a alterações ambientais, em virtude do elevado grau de endemismo de muito de seus componentes (troglóbios), em geral pouco tolerantes a fatores de estresse (alteração de habitat, poluição química, flutuações ambientais não-naturais, eutrofização), da dependência de nutrientes importados do meio epígeo, e do fato das populações serem frequentemente pequenas e com baixa capacidade de recuperação, como consequência de suas estratégias de ciclo de vida. A Serra do Gandarela (Figura 1), localizada na Região Metropolitana de Belo Horizonte, por exemplo, concentra diversas dessas características especiais, o que evidencia sua vocação para conservação.

Na prática, no entanto, a dilapidação desse patrimônio vem ocorrendo em ritmo acelerado, seja através de danos autorizados por licenças ambientais, seja por meio de intervenções irregulares.

É fundamental, como veremos, a busca de maiores salvaguardas para conservação do patrimônio espeleológico brasileiro, incluindo as cavernas ferruginosas, através da integração e aplicação efetiva de normas de proteção relativas a outros atributos ambientais, como a água, o solo, a flora e a fauna.



Figura 1 : Panorama de Canga na Serra do Gandarela. Foto: Flávio Fonseca do Carmo.

NATUREZA JURÍDICA DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO

Quanto à dominialidade, nos termos do art. 20, X, da CF/88 as cavidades naturais subterrâneas são consideradas bens de propriedade da União. Como salienta Paulo Affonso Leme Machado (2001), não há necessidade de cada cavidade natural subterrânea ser declarada como bem da União. A norma é autoaplicável. Vale chamar a atenção para o fato que não se exigiu excepcional ou notável interesse científico ou turístico para que a cavidade natural subterrânea seja bem público.

Mas para além do aspecto da dominialidade do suporte físico (*corpus*), o patrimônio espeleológico constitui-se de um complexo de valores ambientais e culturais, que o coloca sob a proteção dos arts. 216 e 225 da Constituição Federal, tornando-o bem de natureza difusa (pertence a todos ao mesmo tempo em que não pertence, de forma individualizada, a qualquer pessoa) e de conteúdo não-patrimonial.

Conforme assevera Ana Maria Moreira Marchesan:

Os valores – materiais e imateriais – ligados à nossa cultura são essencialmente bens difusos,

porquanto não são passíveis, como tais, de dominialidade exclusiva; são indivisíveis e de titularidade indeterminada e indeterminável, utilizando-se como parâmetro a conceituação legal do artigo 81, parágrafo único, inciso I, do CDC. Esses bens estão dotados de uma vinculação pública por vezes pouco compatível com a titularidade privada do bem. Produz-se uma duplicidade de regimes: pertencem à esfera privada do sujeito e são suscetíveis de fruição pelo resto da comunidade, o que os torna coisa pública não em razão de seu domínio, mas no tocante a seu desfrute. (MARCHESAN, 2004, p.126)

Assim, podemos concluir que o patrimônio espeleológico é um bem público, sob a ótica da propriedade, e um bem de natureza difusa em razão dos valores naturais e culturais que o constituem.

Por isso, o patrimônio espeleológico pode ser considerado como um bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida, de natureza indisponível, devendo ser protegido em benefício das presentes e futuras gerações.

PRINCÍPIOS JURÍDICOS INFORMADORES DA PROTEÇÃO AO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO

Enquanto parcela integrante do meio ambiente natural e cultural, o patrimônio espeleológico brasileiro está submetido a princípios informadores específicos, entre os quais destacamos os seguintes:

a. Princípio da proteção

A proteção do patrimônio espeleológico, que abrange atributos ambientais e culturais, é uma obrigação constitucionalmente imposta ao Poder Público, com a colaboração da comunidade, por força do que dispõe a Constituição Federal em seus arts. 23, III, IV, VI e VII, 216, V, § 1º e 225, § 1º, I, III, IV e VII. Em nível infraconstitucional, a proteção está prevista no art. 1º, caput, e 5-B do Decreto 99.556/90.

Desta forma, a ação protetiva em prol do patrimônio espeleológico não se trata de mera opção ou de faculdade discricionária do Poder Público, mas sim de imposição cogente, que obriga juridicamente todos os entes federativos.

Destaque-se que a proteção não se resume apenas à área da cavidade natural subterrânea, mas, ao contrário, abrange a sua área de influência (princípio da proteção do entorno).

O dever de proteção toca também aos cidadãos, nos termos do art. 216, § 1º, da Constituição Federal.

b. Princípio da prevenção

A prevenção de danos ao patrimônio cultural é uma das mais importantes imposições no que tange à matéria sob análise, sendo de se lembrar que nosso legislador constituinte estatuiu que meras ameaças (e não necessariamente danos) ao patrimônio cultural devem ser punidas na forma da lei (art. 216, § 4º). Ou seja, em termos de preservação do meio ambiente e do patrimônio cultural nosso ordenamento está orientado para uma posição de caráter fundamentalmente preventiva, voltada para o momento anterior à consumação do dano – o do mero risco.

Como salientado por Benjamin (2007): “Evitar a realização do dano passa a ser a regra e a meta

preponderantes; compensar ou recompor o dano torna-se um dever acessório, para a hipótese de falência ou insuficiência das medidas preventivas. Abandona-se o 'Direito de Danos' para chegar-se ao 'Direito de Riscos'”.

Pelo princípio da prevenção, toda e qualquer cavidade que ainda não foi objeto de avaliação de relevância (art. 2º do Decreto 99.556/90) deve ser presumida como de relevância máxima, de forma que a ela se aplica o regime jurídico do art. 3º do mesmo Decreto, que veda a ocorrência de impactos negativos em seu detrimento.

c. Princípio da precaução

De acordo com esse princípio, previsto expressamente no art. 15 da Declaração do Rio de Janeiro de 1992, onde existam ameaças de riscos sérios ou irreversíveis, não será utilizada a falta de certeza científica total como razão para o adiamento de medidas eficazes para se evitar a degradação ambiental.

O princípio impõe que não sejam tomadas decisões arriscadas, enquanto não sejam bem conhecidas cientificamente as possíveis consequências. Aplica-se, ainda, quando existir dúvidas sobre a efetividade das medidas de remediação, ou se os riscos envolvidos forem muito grandes, como no caso de energia nuclear (MATEO, 2003).

No caso, por exemplo, de dúvidas científicas sobre os impactos reais ao aquífero ou sobre a possibilidade de disponibilização de gases tóxicos ou radiativos em decorrência de atividades em áreas de ocorrências de cavidades, a atividade não deverá ser permitida.

d. Princípio da responsabilização

Além das medidas de prevenção, que nem sempre conseguem obstar a ocorrência de danos ao patrimônio espeleológico, necessária se faz a responsabilização dos causadores de prejuízos ao referido bem jurídico nos âmbitos administrativo, cível e criminal. O princípio da responsabilização decorre do que dispõe a Constituição Federal

em seu art. 216, § 4º, e art. 225 § 3º: “As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados”.

A destruição de uma cavidade natural subterrânea, por exemplo, implicará em sanções de ordem criminal (art. 62 da Lei 9.605/98), administrativa (art. 72 do Decreto 6.514/2008) e civil (art. 14, § 1º da Lei 6.938/81).

e. Princípio da conservação *in situ*

A regra é a conservação do patrimônio espeleológico em seu local de origem, a salvo de impactos negativos decorrentes de ações antrópicas ou atividades econômicas. A sua destruição só se justifica quando legalmente possível, por imperativos de interesse público, observado o necessário licenciamento ambiental.

Segundo o art. 19 da IN 02/2009 do MMA:

Art. 19. Qualquer impacto negativo irreversível deverá ser precedido de registro e armazenamento cartográfico e fotográfico, bem como de inventário e coleta de espeleotemas e elementos geológicos e biológicos representativos do ecossistema cavernícola, compreendendo o resgate, transporte adequado e a destinação a coleções científicas institucionais.

Na impossibilidade da conservação *in situ*, as respectivas medidas compensatórias devem ser direcionadas para o mais próximo possível do local da ocorrência do dano, pois a compensação deve guardar relação de proximidade geográfica com a área impactada e gerar benefícios concretos para o ecossistema lesado (STEIGLEDER, 2011).

f. Princípio da gestão racional

A gestão do patrimônio espeleológico (que tem origem em processos químicos ou físicos complexos, raros e demorados) deve ser feita não somente prevenindo danos, como veiculando o aproveitamento de recursos essenciais à vida humana e ao progresso tecnológico, com respeito pela sua fragilidade e tendencial finitude. Há

necessidade de se encontrar um ponto de equilíbrio entre a necessidade de continuar a utilizar o recurso e a necessidade – muitas vezes imperiosa – da sua preservação (GOMES, 2012).

Não por outra razão que a Constituição Federal estatui (art. 170, VI) que a ordem econômica deve observar a defesa do meio ambiente, inclusive mediante tratamento diferenciado conforme o impacto ambiental dos produtos e serviços e de seus processos de elaboração e prestação.

g. Princípio do Poluidor Pagador

O princípio “quem polui paga” constitui uma autêntica pedra angular do direito ambiental. A sua aplicação pretende evitar que sejam produzidos danos ambientais ao se impor custos desmotivadores de ambições econômicas desmedidas (MATEO, 2003).

Assim, o empreendedor que desenvolver atividade potencialmente degradadora do patrimônio espeleológico deverá assumir todos os custos relacionados à pesquisa e à gestão dos bens, além da divulgação e publicação dos estudos científicos, resgate, guarda e socialização dos elementos retirados do ambiente cavernícola e seu entorno (responsabilidade pós-licenciamento). Também deve ser responsabilizado pelas obrigações de preservação, proteção e gestão permanentes das cavidades testemunho (aquelas apontadas como salvo-conduto para liberação de impactos a outra cavidade).

h. Princípio da solidariedade intergeracional

A defesa adequada dos direitos massificados pressupõe o reconhecimento da ética de alteridade, do respeito, do cuidado e da conservação dos interesses das gerações futuras, impondo uma atuação responsável em face do outro ainda não existente, dos ainda não nascidos, dos titulares de interesses sem rosto.

Enquanto integrante do meio ambiente e do patrimônio cultural, o patrimônio espeleológico é um bem de natureza difusa, transgeracional e indisponível, que deve ser preservado não só em benefício das presentes, mas, sobretudo, para as futuras gerações.

Segundo John Ruskin:

Deus nos emprestou a terra para a nossa vida; é uma grande responsabilidade. Ela pertence tanto àqueles que virão depois de nós, e cujos nomes já estão escritos no livro da criação, como a nós; e não temos direito, por qualquer coisa que façamos ou negligenciemos, de envolvê-los em prejuízos desnecessários, ou privá-los de benefícios cujo legado nos compete. Os homens não são capazes de beneficiar aqueles que estão com eles tanto quanto podem beneficiar os que virão depois deles; e de todos os púlpitos a partir dos quais a voz humana se faz ouvir, de nenhum ela alcança tão longe quanto do túmulo. (RUSKIN, 2008, p.67)

Mais do que mera exortação ética, o princípio da solidariedade intergeracional tem previsão constitucional expressa (art. 225, caput), impondo a reflexão, na tomada de decisões, sobre os impactos àqueles que ainda estão por vir.

i. Princípio da informação pública

Não é possível assegurar transparência na gestão, nem tampouco a participação e o controle social na tomada de decisões envolvendo o patrimônio espeleológico, sem que se tenha acesso pleno às informações ambientais, permitindo uma ampla divulgação dos dados existentes e a possibilidade de conhecimento e controle por parte da sociedade em geral.

O direito à informação sobre as políticas, atos e ações envolvendo o patrimônio espeleológico é circunstância essencial ao controle social do Poder Público, de forma a assegurar a atuação consciente e eficaz da sociedade em tal área. Esse princípio decorre dos arts. 5º, XXXII, 216, 1º, *in fine*, c/c 225, da CF/88, do art. XIX da Declaração Universal dos Direitos Humanos e do art. 13.1 da Convenção Americana de Direitos Humanos.

A gestão do patrimônio espeleológico deve ser democrática e transparente, pautando-se pela mais ampla publicidade, permitindo a promoção, reprodução e difusão das informações. O Poder Público deve assegurar que as informações sobre o patrimônio espeleológico, mais do que públicas, sejam atualizadas, completas, claras e verazes.

Somente com informação adequada poderá ser assegurada a efetiva participação popular na definição e controle de ações envolvendo o patrimônio espeleológico.

j. Princípio da participação popular

Decorrente do Princípio Democrático, o Princípio da participação popular expressa a ideia de que para a resolução dos problemas atinentes ao meio ambiente, deve ser dada especial ênfase à cooperação entre o Estado e a sociedade, através da participação dos diferentes grupos sociais na formulação e na execução da política de preservação dos bens naturais ou culturais.

Este princípio tem por fundamentos constitucionais o art. 1º, parágrafo único, o art. 216, § 1º e o art. 225, caput, da Carta vigente, que, conjugados, prescrevem à coletividade o direito e o dever de defender e preservar o meio ambiente para as presentes e futuras gerações.

No que tange ao patrimônio espeleológico, as audiências e consultas públicas que garantem participação em órgãos colegiados de gestão e deliberação e o direito de petição e de representação em relação a abusos ou desvios na proteção das cavidades naturais subterrâneas, são alguns dos instrumentos que podem materializar a aplicação do princípio da participação popular.

k. Princípio da educação espeleológica

A difusão do conhecimento sobre a importância da preservação do patrimônio espeleológico e a sensibilização da sociedade para a temática são corolários do princípio da educação ambiental, que tem assento em nossa Constituição Federal.

Há necessidade de que todos tenham consciência da importância da preservação do patrimônio espeleológico, despertando a noção de que também somos responsáveis pela sua preservação.

O princípio decorre do art. 216, § 1º, *in fine*, c/c 225 § 1º, VI da Constituição Federal de 1988. Ademais, o art. 27 da Convenção para a Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural, promulgada no Brasil pelo Decreto 80.978/77, decorrente da Conferência Geral da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura,

realizada em Paris, em 1972, estabeleceu que: “Os Estados-partes da presente Convenção esforçar-se-ão por todos os meios apropriados, especialmente por intermédio dos programas de educação e de informação, em intensificar o respeito e o apreço de seu povo pelo patrimônio cultural e natural”.

A educação ambiental e patrimonial deve estar presente em todos os projetos que envolvam a gestão do patrimônio espeleológico.

l. Princípio da cooperação internacional

A Constituição Federal do Brasil, em seu art. 4º, IX, estabelece como princípio nas suas relações internacionais a “cooperação entre os povos para o progresso da humanidade”. A cooperação deve ser entendida como uma política solidária dos diversos países, inclusive em razão da necessidade intergeracional de proteção dos bens ambientais e de valor cultural.

A Lei 9.605/98 dispôs em seu Capítulo VII sobre a cooperação internacional para a preservação do meio ambiente, estabelecendo no art. 77 que resguardados a soberania nacional, a ordem pública e os bons costumes, o Governo brasileiro prestará, no que concerne ao meio ambiente, a necessária cooperação a outro país, sem qualquer

ônus, quando solicitado para: I - produção de prova; II - exame de objetos e lugares; III - informações sobre pessoas e coisas; IV - presença temporária da pessoa presa, cujas declarações tenham relevância para a decisão de uma causa; e V - outras formas de assistência permitidas pela legislação em vigor ou pelos tratados de que o Brasil seja parte.

m. Princípio da neutralidade

Os atentados perpetrados contra os bens de valor científico ou cultural, qualquer que seja o povo a quem eles pertençam, constituem atentados contra o patrimônio cultural de toda a humanidade, uma vez que cada povo dá a sua contribuição à cultura mundial. A noção de respeito ao patrimônio cultural sintetiza o modo de comportamento legal em tempo de guerra e é uma obrigação presente em diversas convenções e no direito consuetudinário internacional (BORIES, 2005).

Enquanto bens de alto potencial científico para a explicação do surgimento e da evolução dos seres vivos (sobretudo do ser humano) sobre a terra, os sítios espeleológicos devem ser considerados como territórios neutros durante os tempos de paz ou de guerra (Figura 2).



Figura 2: Paleotoca na Serra do Gandarela. Foto: Flávio Fonseca do Carmo.

IMPACTOS AO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO

Impactado por fatores naturais, mas, sobretudo, por atividades antrópicas (desmatamento, agropecuária, mineração, urbanização, industrialização, obras de infraestrutura, etc.), o patrimônio espeleológico, de natureza frágil e irrepetível, vem sofrendo danos decorrentes das mais diversas atividades sociais e econômicas, o que impõe a necessidade de definição de instrumentos e estratégias de preservação por parte do poder público e da coletividade.

No caso de cavernas em geossistemas ferrugi-

nosos, é notório que a atividade que mais causa impactos é a mineração de ferro (Figura 3). É importante destacar que a degradação do patrimônio espeleológico acarreta também danos à flora, fauna, bens arqueológicos e paleontológicos, bem como aos diversos serviços ecossistêmicos associados. Atualmente, predomina a ausência de uma avaliação estratégica de médio e longo prazo das implicações ambientais que afetam e afetarão, cada vez mais, a vida daqueles que dependem direta ou indiretamente desses geossistemas.



Figura 3: Furos de sondagem em canga no município de Ouro Preto. Foto: Flávio Fonseca do Carmo.

BREVE HISTÓRICO DO REGIME JURÍDICO DE PROTEÇÃO DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO NO BRASIL

As primeiras regras de proteção ao patrimônio espeleológico brasileiro foram estabelecidas pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) que, em 1986, por meio de sua Resolução n°. 09, criou uma Comissão Especial para tratar do tema. Os trabalhos da Comissão culminaram na publicação da Resolução CONAMA n°. 05/1987, que aprovou o Programa Nacional de Proteção do Patrimônio Espeleológico.

A norma lançou as bases do cadastramento sistemático do Patrimônio Espeleológico e previu a inclusão, na Resolução CONAMA n°. 01/86, de obrigatoriedade de apresentação de Estudo de Impacto ambiental no caso de empreendimentos potencialmente lesivos ao Patrimônio Espeleológico Nacional. Também determinou a inclusão dos troglóbios (Figura 4) na relação de animais em perigo de extinção.

Na sequência, a própria Constituição Federal de 1988 instituiu as cavidades naturais subterrâneas e os sítios arqueológicos e pré-históricos como bens da União (art. 20, X), elevando o status do patrimônio espeleológico.

Em 15 de junho de 1990, o IBAMA publicou a Portaria nº. 887, que instituiu, em seu art. 3º, a desafiadora limitação de uso das cavidades naturais subterrâneas apenas aos estudos de ordem técnico-científica, bem como às atividades de cunho espeleológico, étnico-cultural, turístico, recreativo e educativo. A portaria reafirmou, em seu art. 4º, a obrigatoriedade de elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) para atividades ou empreendimentos em áreas de potencial espeleológico, que direta ou indiretamente pudessem ser lesivos às cavernas.

Numa visão mais ecossistêmica, a Portaria nº. 887/90 também proibiu intervenções de qualquer natureza que pudessem comprometer cavidades naturais subterrâneas, tais como queimadas e desmatamentos (art. 5º), além de instituir a figura da “área de influência” de cavidades naturais subterrâneas (art. 6º), a qual seria definida caso a caso, com fundamento em estudos técnicos específicos. Até a conclusão dos referidos estudos, foi instituído um raio de proteção mínimo de 250

metros a partir da projeção em superfície do desenvolvimento linear da cavidade.

A publicação do Decreto Federal nº. 99.556, de 1º de outubro de 1990, revestiu de maior segurança jurídica algumas das regras da Portaria IBAMA nº. 887/90, especialmente no que tange à limitação de utilização das cavidades naturais subterrâneas dentro de condições que assegurassem sua integridade física. A norma foi um importante marco na conservação do patrimônio espeleológico, elevando as cavidades naturais subterrâneas à condição de “patrimônio cultural brasileiro”.

É importante mencionar, ainda, a Resolução CONAMA nº. 347/2004, decorrente da necessidade de incorporação de instrumentos de gestão do patrimônio espeleológico aos processos de licenciamento ambiental. A norma instituiu o Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE), que deveria constituir até hoje importante ferramenta de gestão e conservação de cavidades naturais subterrâneas, sendo sua operacionalização atribuição do IBAMA.

O regime estabelecido pelo Decreto Federal nº. 99.556/1990 perdurou até as alterações introduzidas pelo polêmico Decreto Federal nº. 6.640/2008.



Figura 4: Caramujo troglomórfico encontrado em caverna no município de Santa Bárbara.
Foto: Flávio Fonseca do Carmo

REGIME JURÍDICO ATUAL DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO

O regime jurídico de proteção do patrimônio espeleológico brasileiro está previsto, basicamente, na Portaria - IBAMA nº. 887/90, no Decreto 99.556/90 (alterado pelo Decreto nº. 6.640, de 2008), na Resolução CONAMA 347/2004 e nas Instruções Normativas MMA 02/2009 e 30/2012.

Até o advento do Decreto 6.640/2008, não havia normatização a respeito da classificação do grau de relevância das cavidades (seletividade), o que implicava na obrigação de proteção integral de todas elas, gerando alta conflituosidade em face de interesses de grandes empreendimentos, sobretudo das áreas de mineração e produção de energia elétrica.

Atualmente, como veremos adiante, as cavidades naturais subterrâneas devem ser classificadas segundo atributos fixados na normatização e, dependendo do seu grau de relevância, poderão ou não sofrer impactos negativos.

Abaixo, apontamos os principais aspectos do regime jurídico do patrimônio espeleológico brasileiro.

a. Necessidade de licenciamento ambiental

As áreas de ocorrência de patrimônio espeleológico, em geral presentes em zonas de rochas solúveis, são espaços extremamente frágeis sob a ótica ambiental.

Nesse sentido, a publicação “Biodiversidade em Minas Gerais: um Atlas para sua Conservação” (DRUMMOND, 2005) as reconheceu como áreas de extrema vulnerabilidade, recomendando expressamente² a exigência, no licenciamento ambiental de atividades modificadoras do meio ambiente a serem desenvolvidas em áreas de ocorrência de rochas solúveis, avaliação específica de seus impactos sobre o patrimônio cultural, arqueológico, paleontológico e espeleológico nelas existente, bem como a subordinação das autorizações ambientais a estudo prévio que demonstre a viabilidade ambiental da intervenção e avalie seus impactos sobre o aquífero. Tal estudo deverá necessariamente: a) estabelecer a recarga do aquífero cárstico por meio de técnicas de hidrogeologia; b) estabelecer a possível existência de vazios endocársticos por meio dos métodos e técnicas de geofísica aplicáveis; c) verificar a capacidade de exploração de água do sistema cárstico;

d) limitar as interferências sobre o aquífero à capacidade de exploração do sistema cárstico.

No mesmo sentido, o art. 50-A do Decreto 99.556/90 dispõe que a localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos e atividades, considerados efetiva ou potencialmente poluidores ou degradadores de cavidades naturais subterrâneas, bem como de sua área de influência, dependerão de prévio licenciamento ambiental.

Veja que, em conformidade com o princípio da prevenção, a norma exige o licenciamento ambiental clássico, de forma que estudos e procedimentos ambientais simplificados (tais como Plano de Controle Ambiental, Plano Ambiental Básico e Autorização Ambiental de Funcionamento) não podem fazer as vezes do Estudo de Impacto Ambiental formalmente definido, em se tratando de empreendimentos potencialmente degradadores de áreas de ocorrência de patrimônio espeleológico, sob pena de nulidade do ato praticado e da responsabilização do servidor público pela prática do crime tipificado no art. 67 da Lei 9.605/98³.

Com efeito, em casos tais, qualquer licença ou autorização concedida sem a elaboração e aprovação prévia do Estudo de Impacto Ambiental constitui-se ato inquinado de ilegalidade e, portanto, nulo de pleno direito.

Nesse sentido:

Preservação de cavernas e grutas – Exploração de jazida de calcário – Atividade que põe em risco as cavernas e grutas situadas nas proximidades da jazida e localizadas em propriedade do Estado – Ausência de Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, exigido pelo Decreto n. 99.556/90 – Cavernas e grutas preservadas e protegidas pelo Decreto Federal n. 99.274/90 e pela Resolução Conama – Impedimento legal para a atividade extrativa – Mantida sentença que julgou ação improcedente – Recurso improvido. (TJSP- Ap.Civ.008.661.5/2-00 -- Rel. Ribeiro Machado – j. 09/12/1997)

A seguir (Quadro 1), apresenta-se um resumo das fases do licenciamento ambiental quando o empreendimento envolver impactos ao patrimônio espeleológico.

Etapa do Licenciamento	Etapas dos estudos espeleológicos
<p>Licença Prévia – LP É concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade, aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Levantamento bibliográfico; • Avaliação do potencial espeleológico e prospecção espeleológica; • Topografia das cavernas; • Estudos geoespeleológicos; • Estudos bioespeleológicos; • Estudos socioeconômicos, históricos e culturais; • Análise de relevância; • Estudos para definição da área de influência das cavernas; • Avaliação dos impactos, medidas mitigadoras, monitoramento e medidas compensatórias.
<p>Licença de Instalação – LI Autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento de sítios espeleológicos; • Medidas para proteção de sítios espeleológicos; • Manejo de sítios espeleológicos; • Salvamento espeleológico; • Detalhamento de medidas compensatórias.
<p>Licença de Operação – LO Autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinadas para a operação.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aprovação de estudos específicos desenvolvidos na fase de instalação – medidas condicionantes e compensatórias poderão ter vigência após a concessão da LO, sendo necessário o estabelecimento de um cronograma de execução e acompanhamento do órgão ambiental.

Quadro 1 - Fases do licenciamento ambiental

b. Conteúdo mínimo dos estudos de impacto ao patrimônio espeleológico

Quanto ao conteúdo mínimo dos estudos sobre o patrimônio espeleológico, o Centro Nacional de Estudo, Proteção e manejo de Cavernas (CECAV), que integra a estrutura do Instituto Chico Mendes de Proteção à Biodiversidade, editou as seguintes orientações básicas⁴:

1. Essas orientações estabelecem diretrizes básicas para a realização do levantamento espeleológico da área de influência de empreendimentos potencialmente lesivos ao Patrimônio Espeleológico, levando-se em consideração o princípio da precaução.
2. A prospecção exocárstica deverá ser realizada em toda a extensão da área afetada pelo empreendimento, para avaliar a ocorrência ou não de cavidades.

3. Os caminhamentos realizados para a prospecção devem contemplar todas as feições geomorfológicas típicas associadas às cavernas (geomorfologia cárstica), além de serem registrados e comprovados por meio das rotas armazenadas no GPS.

4. Caso ocorram cavidades nessas áreas, elas deverão ser identificadas, com suas características básicas descritas:

- Coordenadas geográficas das cavidades existentes obtidos com equipamento de GPS, em graus decimais, datum WGS 84 e a partir da captura de sinais advindos de um mínimo de 4 unidades bem distribuídas na constelação dos satélites, no ponto onde localiza-se as bases topográficas “zero” das entradas da cavidade;
- Denominação local;

- Município, nome da fazenda ou da região em que se insere;
 - Dados de identificação do proprietário da área onde a caverna está inserida;
 - Altitude;
 - Topografia detalhada da cavidade;
 - Projeção horizontal da área de influência (mínimo 250 metros);
 - Descrição das entradas e formas de acessos;
 - Classificação da caverna quanto aos aspectos hidrológicos e morfológicos;
 - Registro fotográfico.
5. Para a realização do Diagnóstico Ambiental da área de ocorrência de cavernas deverão ser realizados estudos temáticos para os meios bióticos e abióticos como:
- Caracterização das unidades estratigráficas onde se insere a caverna;
 - Caracterização estrutural, com referência e identificação da ocorrência de falhas, dobras, fraturas e planos de acamamento;
 - Sedimentologia clástica e química da rocha encaixante;
 - Identificação de áreas de risco geotécnico, com ênfase nas zonas de ocorrência de blocos abatidos e tetos ou paredes com rachaduras (locais passíveis de monitoramento);
 - Identificação de processos erosivos nas áreas próximas ao patrimônio espeleológico e que apresentem potencial de risco à sua integridade;
 - Descrição e caracterização dos espeleotemas (frágeis, raros) e demais depósitos sedimentares (aluviais e coluviais);
 - Caracterização das feições exocársticas ou pseudo-cársticas;
 - Descrição da dinâmica dos processos geomorfológicos ativos na cavidade;
 - Caracterização da morfologia endocárstica;
 - Descrição da área de ocorrência, tipo, geometria, litologia, estrutura geológica, propriedade física, hidrodinâmica e outros aspectos do(s) aquífero(s);
 - Caracterização das áreas e dos processos de recarga, circulação e descarga do(s) aquífero(s);
 - Inventário dos pontos de absorção d'água;
 - Indicação da direção dos fluxos das águas subterrâneas;
 - Descrição e controle altimétrico dos corpos d'água, lago subterrâneo, sumidouro, surgência, ressurgência, com identificação de hipóteses de origem;
 - Avaliação das relações existentes entre as águas subterrâneas e superficiais, assim como as de outros aquíferos;
 - Identificação dos níveis de poluição e de prováveis fontes poluidoras (locais passíveis de monitoramento);
 - Drenagens superficiais identificáveis (perene / intermitente);
 - Levantamento de informações fluviométricas;
 - Caracterização do sistema hidrodinâmico, identificando: as áreas com diferentes comportamentos frente às enchentes (risco de enchentes, elevação do nível de base);
 - Caracterização físico-química e bacteriológica dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, em cavernas utilizadas para turismo;
 - Descrição e caracterização dos jazimentos e respectivos fósseis encontrados no interior e/ou na área de influência da caverna;
 - Riscos potenciais à integridade dos fósseis ou jazimentos, principalmente, em relação às atividades hidrelétricas;
 - Dados climáticos das áreas externas com dados históricos das estações mais próximas;
 - Levantamento fisionômico e florístico na área de influência da caverna, com detalhamento às proximidades das entradas e clarrabóias, dolinas;
 - Levantamento qualitativo e quantitativo da fauna cavernícola considerando a sazonalidade;

dade climática, utilizando técnicas consagradas (busca ativa, puçá e covão);

- Levantamento da quiropterofauna, por amostragem, utilizando, no mínimo, rede de neblina;
- Identificação de espécies migratórias, ameaçadas, raras, endêmicas e nocivas ao ser humano;
- Caracterização das interações ecológicas da fauna cavernícola e desta com o ambiente externo.

Na existência de uma ou mais comunidades na área de estudo que mantenha inter-relação com as cavidades naturais existentes, deverão ser levantados e analisados de forma integrada os seguintes estudos:

- Apresentar descrição dessa comunidade;
 - Descrição das condições atuais de uso e ocupação do solo, das águas superficiais e subterrâneas;
 - Descrição do potencial econômico, científico, educacional, turístico e/ou recreativo das cavidades;
 - Descrição das manifestações culturais que ocorram nas proximidades e no interior da caverna como: cultos religiosos, vestígios de caça e pesca, visitação turística;
 - Na existência de sítios arqueológicos na área de estudo, esses deverão ser caracterizados e descritos, indicando provável dinâmica deposicional, seguindo as normas e diretrizes do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – IPHAN.
6. Como produto desse levantamento deverá ser apresentado, em escala de detalhe que permitam uma visualização:
- Mapa de Situação do Empreendimento contemplado no mínimo, os seguintes dados:
 - Topografia detalhada da área do empreendimento com indicação das curvas de nível;
 - Caminhamentos percorridos;
 - Feições geológicas e geomorfológicas (cársticas e/ou pseudo-cársticas) como

dolinas, sumidouros, ressurgências;

- Vias de acesso e os corpos d' gua;
- Indícios arqueológicos e paleontológicos;
- Cota de máxima de inundação, localização da barragem, da câmara de carga e da casa de forçá, no caso de empreendimentos hidrelétricos;
- Linha do empreendimento e poligonal da área de estudo; no caso de empreendimentos lineares;
- Lavra atual, pit final, área do polígono do Decreto de Lavra; no caso de empreendimentos minerários;
-  rea do receptivo e demais estruturas turísticas como banheiros, estacionamentos, restaurantes, entre outros.

c. Equipe multidisciplinar

Para a análise adequada dos impactos ao patrimônio espeleológico no âmbito dos estudos ambientais, necessário se faz a presenç a de profissionais habilitados e capacitados para o desenvolvimento a contento desses trabalhos, tais como biólogos, geólogos, arqueólogos, paleontólogos, geógrafos, etc. A equipe multidisciplinar deve contar com profissionais habilitados e com comprovada experiência nas diversas disciplinas envolvidas na classificação das cavidades naturais, sob pena de nulidade dos estudos.

Herman Benjamin (1992) assinala a multidisciplinaridade como um dos princípios reitores dos Estudos Ambientais, registrando que o Estudo de Impacto Ambiental exige, na sua elaboração, um trabalho conjunto e sistemático de diversas ciências, com vários especialistas de diferentes disciplinas. E acrescenta: “atentaria contra a multidisciplinaridade o predomínio de uma determinada especialidade na equipe, com lacunas sensíveis em campos do conhecimento necessários a serem abordados” (BENJAMIN, 1992, p. 45).

Sobre a responsabilidade da equipe incumbida dos estudos,  lvaro Mirra (2005) adverte que o sistema normativo vigente impõe a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental por profissionais legalmente habilitados, os quais, pelas características

das análises técnicas a serem efetuadas e pela amplitude do estudo, devem se reunir e formar uma equipe multidisciplinar. Tais profissionais, ainda que vinculados ou dependentes do empreendedor e com seu trabalho pago por este, pela influência que exercem sobre a seriedade e a moralidade do Estudo de Impacto Ambiental e do processo de licenciamento respectivo, são mais do que nunca responsáveis pelas informações e conclusões apresentadas, inclusive sobre o prisma jurídico, nas esferas civil, penal e administrativa.

d. Classificação segundo o grau de relevância

De acordo com o Decreto 99.556/90 (alterado pelo Decreto 6.640/2008), o órgão ambiental competente, no âmbito do processo de licenciamento ambiental, deverá classificar o grau de relevância da cavidade natural subterrânea, observando os

critérios estabelecidos pelo Ministério do Meio Ambiente.

A classificação das cavernas nos graus de relevância máximo, alto, médio e baixo são determinados “pela análise de atributos ecológicos, biológicos, geológicos, hidrológicos, paleontológicos, cênicos, histórico-culturais e socioeconômicos, avaliados sob enfoque regional e local” (art. 2º). Para cada atributo, deverão ser observados os graus de importância, divididos em acentuados, significativos ou baixos (art. 2º, § 3º).

O grau de relevância de uma cavidade natural subterrânea (que reúne um complexo de valores de diferentes matizes) deve ser definido pela análise integrada e conglobante de todos os seus atributos, não se admitindo avaliações fracionadas que, obviamente, comprometem a visão do todo e a adequada tomada de decisão sobre o seu destino, que pode variar entre a destruição total ou a preservação permanente (Quadro 2).

Grau de relevância	Atributos para classificação	Regime Jurídico	Medida Compensatória
Máximo	A cavidade deve possuir pelo menos um dos seguintes atributos: I - gênese única ou rara; II - morfologia única; III - dimensões notáveis em extensão, área ou volume; IV - espeleotemas únicos; V - isolamento geográfico; VI - abrigo essencial para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais; VII - hábitat essencial para preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de troglóbios endêmicos ou relíctos; VIII - hábitat de troglóbio raro; IX - interações ecológicas únicas; X - cavidade testemunho; ou XI - destacada relevância histórico-cultural ou religiosa.	A cavidade natural subterrânea com grau de relevância máximo e sua área de influência não podem ser objeto de impactos negativos irreversíveis, sendo que sua utilização deve fazer-se somente dentro de condições que assegurem sua integridade física e a manutenção do seu equilíbrio ecológico.	Não se aplica.

Quadro 2 - Quadro-síntese do regime jurídico das cavidades naturais subterrâneas, de acordo com o Decreto 99.556/90

Grau de relevância	Atributos para classificação	Regime Jurídico	Medida Compensatória
Alto	Cavidade cuja importância de seus atributos seja considerada, nos termos do ato normativo: I - acentuada sob enfoque local e regional; ou II - acentuada sob enfoque local e significativa sob enfoque regional.	A cavidade natural subterrânea, classificada com grau de relevância alto, poderá ser objeto de impactos negativos irreversíveis, mediante licenciamento ambiental.	No caso de empreendimento que ocasione impacto negativo irreversível em cavidade natural subterrânea com grau de relevância alto, o empreendedor deverá adotar, como condição para o licenciamento ambiental, medidas e ações para assegurar a preservação, em caráter permanente, de duas cavidades naturais subterrâneas, com o mesmo grau de relevância, de mesma litologia e com atributos similares à que sofreu o impacto, que serão consideradas cavidades testemunho. A preservação das cavidades naturais deverá, sempre que possível, ser efetivada em área contínua e no mesmo grupo geológico da cavidade que sofreu o impacto. Não havendo, na área do empreendimento, outras cavidades representativas que possam ser preservadas sob a forma de cavidades testemunho, o Instituto Chico Mendes poderá definir, de comum acordo com o empreendedor, outras formas de compensação.
Médio	Cavidade cuja importância de seus atributos seja considerada, nos termos do ato normativo: I - acentuada sob enfoque local e baixa sob enfoque regional; ou II - significativa sob enfoque local e regional.	A cavidade natural subterrânea, classificada com grau de relevância médio, poderá ser objeto de impactos negativos irreversíveis, mediante licenciamento ambiental.	No caso de empreendimento que ocasione impacto negativo irreversível em cavidade natural subterrânea com grau de relevância médio, o empreendedor deverá adotar medidas e financiar ações, nos termos definidos pelo órgão ambiental competente, que contribuam para a conservação e o uso adequado do patrimônio espeleológico brasileiro, especialmente das cavidades naturais subterrâneas com grau de relevância máximo e alto.
Baixo	Cavidade cuja importância de seus atributos seja considerada, nos termos do ato normativo: I - significativa sob enfoque local e baixa sob enfoque regional; ou II - baixa sob enfoque local e regional.	A cavidade natural subterrânea, classificada com grau de relevância baixo, poderá ser objeto de impactos negativos irreversíveis, mediante licenciamento ambiental.	No caso de empreendimento que ocasione impacto negativo irreversível em cavidade natural subterrânea com grau de relevância baixo, o empreendedor não estará obrigado a adotar medidas e ações para assegurar a preservação de outras cavidades naturais subterrâneas.

Quadro 2 - Quadro-síntese do regime jurídico das cavidades naturais subterrâneas, de acordo com o Decreto 99.556/90

A classificação de cavidades naturais subterâneas a serem impactadas por empreendimentos e atividades de qualquer natureza deve preceder a análise de viabilidade do empreendimento, ou seja, deve ocorrer na fase de licença prévia. Tal afirmação decorre da própria lógica, já que a viabilidade do empreendimento só poderá ser atestada diante da ausência de impeditivos técnicos e normativos.

Caso ocorra caverna de relevância máxima ou diante da impossibilidade técnica e financeira de compensação pela supressão de cavidades de graus de relevância alto ou médio, ficaria inviabilizado o empreendimento. No mesmo sentido, é fundamental que o raio de influência da cavidade seja definido na fase de licença prévia, já que suas dimensões podem afetar e tornar inviável o projeto proposto.



Figura 5: Caverna destruída nas obras de implantação da estrada MG-129, no município de Catas Altas. Foto: Flávio Fonseca do Carmo.

GEOSSISTEMAS FERRUGINOSOS

De acordo com Carmo (2010), vários trabalhos reconhecem a importância das áreas metalíferas, ou seja, que contêm altas concentrações de metais no solo/substrato, para a conservação da diversidade biológica, sendo consideradas centros de endemismo e especiação de plantas metalófitas. Cerca de 10% de todas as plantas raras catalogadas para o Brasil ocorrem em áreas metalíferas, sendo que 80% desse patrimônio biológico está associado às cangas e às formações ferríferas (JACOBI et al., 2011).

Em Minas Gerais, o Quadrilátero Ferrífero, reconhecido pela riqueza florística e elevado grau de endemismo e ameaça, é marcado pela ocorrência dos campos ferruginosos sobre canga⁵, com elevada ocorrência de cavernas, tendo sido classificado como área de importância biológica especial para conservação da flora (DRUMMOND et al., 2005).

A mineração é o principal agente de alteração ambiental nas áreas metalíferas. Em pouco mais de 40 anos já foram irreversivelmente perdidos aproximadamente 7.340 ha de cangas no Quadrilátero Ferrífero, cerca de 40% da área de referência total, sendo a mineração responsável pela eliminação de 6.243 ha. A ameaça a esses ecossistemas únicos é reforçada pela sobreposição praticamente total de títulos minerários de ferro às cangas do Quadrilátero Ferrífero (CARMO, op. cit.).

Ainda segundo Carmo,

O esboço inicial para atribuir um valor para os serviços ambientais das formações ferreiras bandadas - cujas couraças de cangas funcionam como importantes áreas de recarga hídrica - resultou em valores anuais superiores a um bilhão de reais, quando estimados a partir da vazão específica, e a

valores superiores a nove bilhões de reais quando estimados a partir da reserva explotável. Estes atributos, quando analisados em conjunto aos ecossistemas subterrâneos, ambientes alagáveis (lagoas e brejos) e ao patrimônio geoambiental, histórico e arqueológico ratificam a importância intrínseca, material e imaterial das áreas de cangas para a conservação ambiental em Minas Gerais. (CARMO, op. cit, p.66).



Figura 6 - Platô de canga no Parque Estadual da Serra do Rola Moça, município de Ibirité. Foto: Flávio Fonseca do Carmo

Os geossistemas ferruginosos são objeto de grande preocupação. Uma vez que sofrem exploração ou intervenção, não é possível a “reestruturação” do substrato que permitiu o desenvolvimento de seus fatores bióticos e abióticos. A perda associada à remoção da canga é irreversível, e não pode ser mitigada ou compensada pela recuperação de áreas equivalentes, justamente pela impossibilidade de reconstituição daquelas características únicas de um geossistema que evoluiu por bilhões de anos (CARMO, op. cit.).

OUTROS INSTRUMENTOS GERAIS DE PROTEÇÃO DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO

Conquanto os bens espeleológicos sejam protegidos genericamente *ex vi legis*, ou seja, por força do Decreto 99.556/90, existem outros instrumentos jurídicos que podem robustecer a sua proteção, submetendo-os a regimes jurídicos mais restritivos.

Abaixo elencamos alguns deles.

a) Unidades de conservação

As unidades de conservação são espaços territoriais com limites definidos e características ambientais (naturais, culturais ou artificiais) relevantes, formalmente reconhecidos pelo Poder Público, com objetivos de conservação. Elas se submetem a um regime especial de administração e são objeto de medidas administrativas específicas de proteção.

Um dos objetivos expressos do Sistema Nacional de Unidades de Conservação, regulamentado pela Lei 9.985/2000, é exatamente “proteger as características relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica, paleontológica e cultural” (art. 4º, VII).

b) Ocorrência de Mata Atlântica e ecossistemas associados

A verificação de ocorrência de vegetação protegida sobre áreas de relevância espeleológica pode ser uma importante estratégia de conservação de cavernas.

Os geossistemas ferruginosos, por exemplo, abrigam diversos fatores bióticos e abióticos pecu-

liares. Tais fatores, individualmente, podem ser objeto de proteção legal específica, que acaba se aplicando ao local onde ocorrem como um todo.

A flora, caracterizada nessas áreas pelo elevado grau de endemismo, é alvo de proteção da Lei Federal n. 11.428/2006, já que a vegetação campestre ocorre de forma associada às áreas de Mata Atlântica.

A Lei n.º. 11.428/2006 não incluiu a mineração em seu rol de atividades de utilidade pública ou de interesse social. Previu, porém, a possibilidade de supressão de vegetação secundária, em estágios avançado ou médio de regeneração, para a implantação de atividades minerárias, em regime próprio e excepcional. A atividade só pode ser autorizada mediante licenciamento ambiental, condicionado à apresentação de Estudo Prévio de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), pelo empreendedor, e desde que demonstrada a inexistência de alternativa técnica e locacional ao empreendimento proposto, além da possibilidade técnica de compensação. (CHIODI, 2013)

Essa lei pode ser um instrumento relevante para a conservação de cavernas ferruginosas. A regra é a utilização das normas mais protetivas. Assim, quando a legislação relativa ao regime de conservação e uso do patrimônio espeleológico permitir a intervenção pela ausência do grau máximo de relevância, deve ser verificada a possibilidade de aplicação de vedação legal em relação à supressão de vegetação que ocorre sobre a caverna.

c) Proteção de mananciais

É comum a existência de importantes aquíferos associados ao patrimônio espeleológico. É o caso dos geossistemas ferruginosos do Quadrilátero Ferrífero, onde ocorre importante sistema de aquíferos, alguns dos quais fundamentais ao abastecimento público da região metropolitana de Belo Horizonte. A Lei Estadual n.º. 10.793/1992, que dispõe sobre a proteção de mananciais destinados ao abastecimento público no Estado de Minas Gerais, veda a instalação, nas bacias de mananciais, de atividade extrativa mineral que comprometa os padrões mínimos da qualidade das águas (art. 2º, II) e institui que, nestas áreas, o poder público criará incentivos à recuperação e conservação.

d) Corredores Ecológicos

Previstos na Lei 9.985/2000, os corredores ecológicos são porções de ecossistemas naturais ou seminaturais, ligando unidades de conservação, que possibilitam entre elas o fluxo de genes e o movimento da biota, facilitando a dispersão de espécies e a recolonização de áreas degradadas, bem como a manutenção de populações que demandam para sua sobrevivência áreas com extensão maior do que aquela das unidades individuais.

Eles podem ser definidos de forma a integrar áreas de ocorrência de sítios espeleológicos.

e) Tombamento

As cavidades naturais subterrâneas podem ser objeto de tombamento se forem dotadas de elementos culturais ou naturais que justifiquem a sua proteção por tal instrumento, cujo regime jurídico é estabelecido pelo Decreto-lei 25, de 1937.

Uma vez tombada, a cavidade não poderá, em hipótese alguma, ser destruída, demolida ou mutilada (art. 17) e ficará sob a especial vigilância do ente tombador (art. 20).

f) Reserva Legal

De acordo com o Código Florestal (Lei 12.651/2012), a reserva legal é a área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa.

Segundo o art. 14 da Lei 12.651, a localização da área de Reserva Legal no imóvel rural deverá levar em consideração os seguintes estudos e critérios: I - o plano de bacia hidrográfica; II - o Zoneamento Ecológico-Econômico; III - a formação de corredores ecológicos com outra Reserva Legal, com Área de Preservação Permanente, com Unidade de Conservação ou com outra área legalmente protegida; IV - as áreas de maior importância para a conservação da biodiversidade; e V - as áreas de maior fragilidade ambiental. Assim, a reserva legal pode ser instituída a fim de também proteger o patrimônio espeleológico.

g) Área de Preservação Permanente

Nos termos do Código Florestal (Lei 12.651/2012), podem ser declaradas de interesse social por ato do Chefe do Poder Executivo as áreas cobertas com florestas ou outras formas de vegetação destinadas, entre outras finalidades, a proteger sítios de excepcional beleza ou de valor científico, cultural ou histórico, em que se enquadram as cavidades naturais subterrâneas.

Como efeitos da declaração destacam-se a obrigação de conservação da vegetação nativa situada em Área de Preservação Permanente e a limitação de intervenções somente nas hipóteses de utilidade pública, de interesse social ou de baixo impacto ambiental.

h) Área de Proteção Especial

As Áreas de Proteção Especial estão previstas Lei de Parcelamento do Solo Urbano (arts. 13, I e 14 da Lei Federal n.º 6.766/76), que facultou aos Estados, através de Decreto, a sua instituição com o objetivo de se proteger os mananciais, o patrimônio cultural, histórico, paisagístico e arqueológico.

Podemos destacar como exemplo desse instrumento protetivo em Minas Gerais a Área de Proteção Especial (APE), criada pelo Decreto n.º 20.597/80 (alterado Lei Estadual 18.043/2009), que abrangendo parte dos territórios dos Municípios de Lagoa Santa, Pedro Leopoldo e Matozinhos, abriga hidrografia com componentes fluviais de extrema relevância, além de sítios espeleológicos e paleontológicos de grande valor, com componentes da megafauna pleistocênica extinta, além de vestígios da ocupação humana pré-histórica no Brasil, considerados de extrema importância científica, entre os quais ossos de cerca de 12 mil anos.

De acordo com o Decreto:

- V.** ficam declaradas de preservação permanente as áreas:
 - a)** necessárias à proteção de monumentos naturais notáveis, sítios arqueológicos, paleontológicos e espeleológicos;
 - b)** necessárias à proteção de espécies da flora ou da fauna ameaçadas de extinção ou endêmicas;

- c)** necessárias à criação ou à manutenção de corredores ecológicos entre áreas protegidas;
- d)** definidas como prioritárias para a conservação da biodiversidade, nos termos da rede de Áreas Protegidas conforme previsto no Decreto n.º 44.500, de 3 de abril de 2007, observado o zoneamento ecológico econômico da área de proteção ambiental APA Carste Lagoa Santa;
- e)** necessárias à recarga hídrica da área cárstica; e
- f)** de dolinas e as áreas sob sua influência.

VI. a exploração ou a supressão de vegetação nativa nas áreas não declaradas de preservação permanente, quando admissível e executada com observância da legislação florestal pertinente, atenderá aos seguintes critérios:

- a)** implantação de empreendimentos novos, preferencialmente, em áreas já substancialmente alteradas ou degradadas;
- b)** manifestação do órgão gestor da APA Carste Lagoa Santa; e
- c)** compensação ambiental por meio da instituição de Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN - dentro da APE, em área equivalente, em extensão e características ecológicas, à área a ser desmatada.

VII. a concessão de outorga de água e a autorização ou licenciamento de qualquer empreendimento ou atividade modificadora do meio ambiente dependerão de:

- a)** avaliação específica de seus impactos sobre o patrimônio cultural, arqueológico, paleontológico, espeleológico e turístico;
- b)** estudo prévio que demonstre a viabilidade ambiental da intervenção e avalie seus impactos sobre o aquífero cárstico; e
- c)** Estudo de Impacto Ambiental - EIA -, conforme previsto no Decreto Federal n.º 99.556, de 1º de outubro de 1990.

i) *Área Verde Urbana*

Previstas no Código Florestal, as áreas verdes urbanas são espaços, públicos ou privados, com predomínio de vegetação, preferencialmente nativa, natural ou recuperada, previstos no Plano Diretor, nas Leis de Zoneamento Urbano e Uso do Solo do Município, indisponíveis para construção de moradias, destinados aos propósitos de recreação,

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conservação das cavernas ferruginosas, assim como de cavernas ocorrentes em outras litologias, depende do estabelecimento de políticas públicas que incluam a evolução da legislação ambiental, sua correta aplicação, a definição de áreas prioritárias e ecologicamente estratégicas para criação e regularização de Unidades de Conservação de Proteção Integral e a harmonização das políticas ambiental, econômica e social.

Quanto ao aspecto dominial, as cavidades naturais subterrâneas, que integram o patrimônio espeleológico nacional, são bens da União. Entretanto, o patrimônio espeleológico constitui-se de um complexo de valores ambientais e culturais que o caracterizam como bem de natureza difusa (pertence a todos ao mesmo tempo em que não pertence, de forma individualizada, a qualquer pessoa) e de conteúdo não-patrimonial.

A especial proteção jurídica conferida ao patrimônio espeleológico justifica-se em razão da rele-

lazer, melhoria da qualidade ambiental urbana, proteção dos recursos hídricos, manutenção ou melhoria paisagística, proteção de bens e manifestações culturais.

Todo parcelamento do solo urbano deve ter sua área verde, que pode ser alocada com o objetivo de contribuir com a proteção de ocorrências espeleológicas.

vância dos atributos naturais e culturais a ele associados e de sua alta vulnerabilidade a alterações ambientais. Enquanto parcela integrante do meio ambiente natural e cultural, o patrimônio espeleológico brasileiro está submetido a princípios informadores específicos.

No caso de cavernas em cangas localizadas no Quadrilátero Ferrífero, considerando o conhecimento existente acerca da extensão, localização e caracterização dos afloramentos onde ocorrem⁶, o planejamento de seu uso e conservação é viável, mas atinge, de forma direta, o interesse de grandes empreendimentos, principalmente minerários. Nesse sentido, é fundamental que licenciamentos ambientais de empreendimentos de significativo impacto ambiental, inseridos num mesmo contexto regional, sejam avaliados de forma integrada.

O regime jurídico de proteção do patrimônio espeleológico brasileiro está previsto, basicamente, na Portaria - IBAMA nº. 887/90, no Decreto 99.556/90 (alterado pelo Decreto nº. 6.640, de 2008), na Resolução CONAMA 347/2004 e nas Instruções Normativas MMA 02/2009 e 30/2012. Conquanto os bens espeleológicos sejam protegidos genericamente *ex vi legis*, ou seja, por força do Decreto 99.556/90, existem outros instrumentos jurídicos que podem robustecer a sua proteção, submetendo-os a regimes jurídicos mais restritivos. A proteção legal de outros atributos ambientais, como flora, fauna e serviços ecossistêmicos, pode ser utilizada como importante instrumento de conservação dos geossistemas ferruginosos e suas cavidades, especialmente diante da fragilização da legislação, ocorrida com a publicação do Decreto Federal nº 6.640/2008.

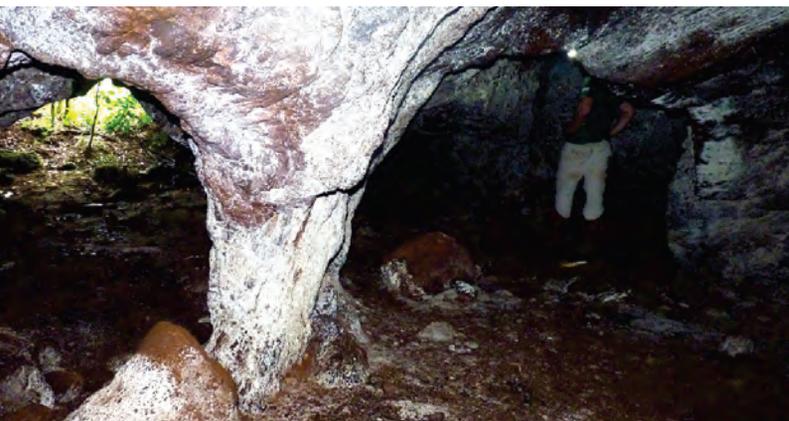


Figura 7 -Caverna desenvolvida em canga no município de Ouro Preto (Foto: Flávio Fonseca do Carmo)

NOTAS

¹ Área que compreende os elementos bióticos e abióticos, superficiais e subterrâneos, necessários à manutenção do equilíbrio ecológico e da integridade física do ambiente cavernícola (Res. CONAMA 347, art. 2º, IV).

² A segunda edição do Atlas dá sequência ao trabalho realizado em 1998, aprovado pelo COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental – por meio da Deliberação Normativa 55 de 13 de junho de 2002, que significou o reconhecimento das informações contidas no Atlas como um instrumento básico para a formulação das políticas estaduais de conservação.

³ Art. 67. Conceder o funcionário público licença, autorização ou permissão em desacordo com as normas ambientais, para as atividades, obras ou serviços cuja realização depende de ato autorizativo do Poder Público: Pena - detenção, de um a três anos, e multa. Parágrafo único. Se o crime é culposo, a pena é de três meses a um ano de detenção, sem prejuízo da multa.

⁴ Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/index.php?id_menu=256>

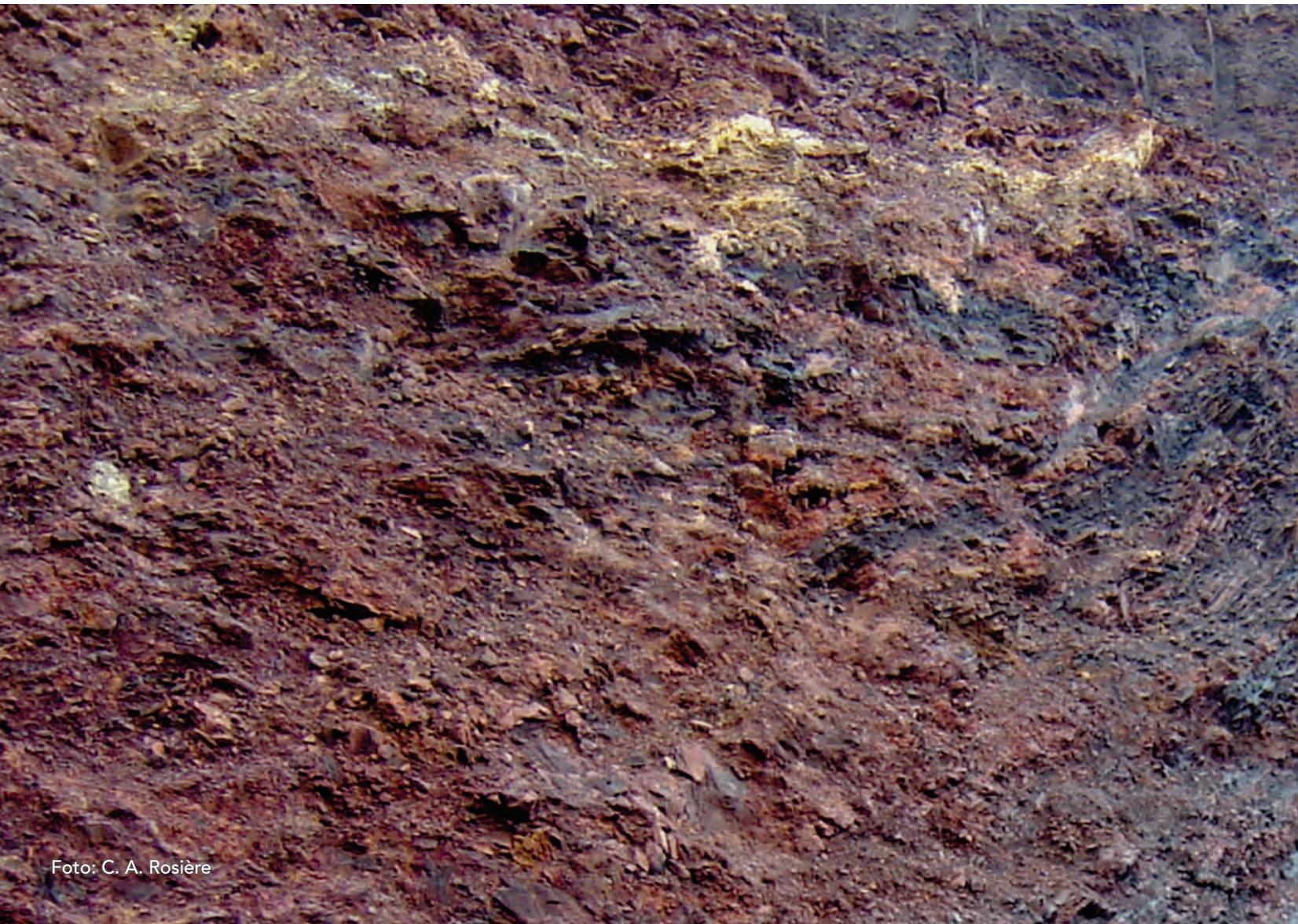
⁵ As cangas constituem uma couraça que recobre insularmente formações ferreiras e, por conseguinte, os depósitos de minério de ferro das maiores províncias minerais do país (CARMO, 2010).

⁶ A área total das cangas atinge, atualmente, cerca de 11.170 ha, distribuídos entre 225 afloramentos com áreas médias de 49,7 ha. Cerca de 80% da área total das cangas (107 afloramentos ferruginosos) estão criticamente ameaçadas de extinção, pois distam menos de 500 m de locais de extração de minério (CARMO, 2010, p.50-57)

REFERÊNCIAS

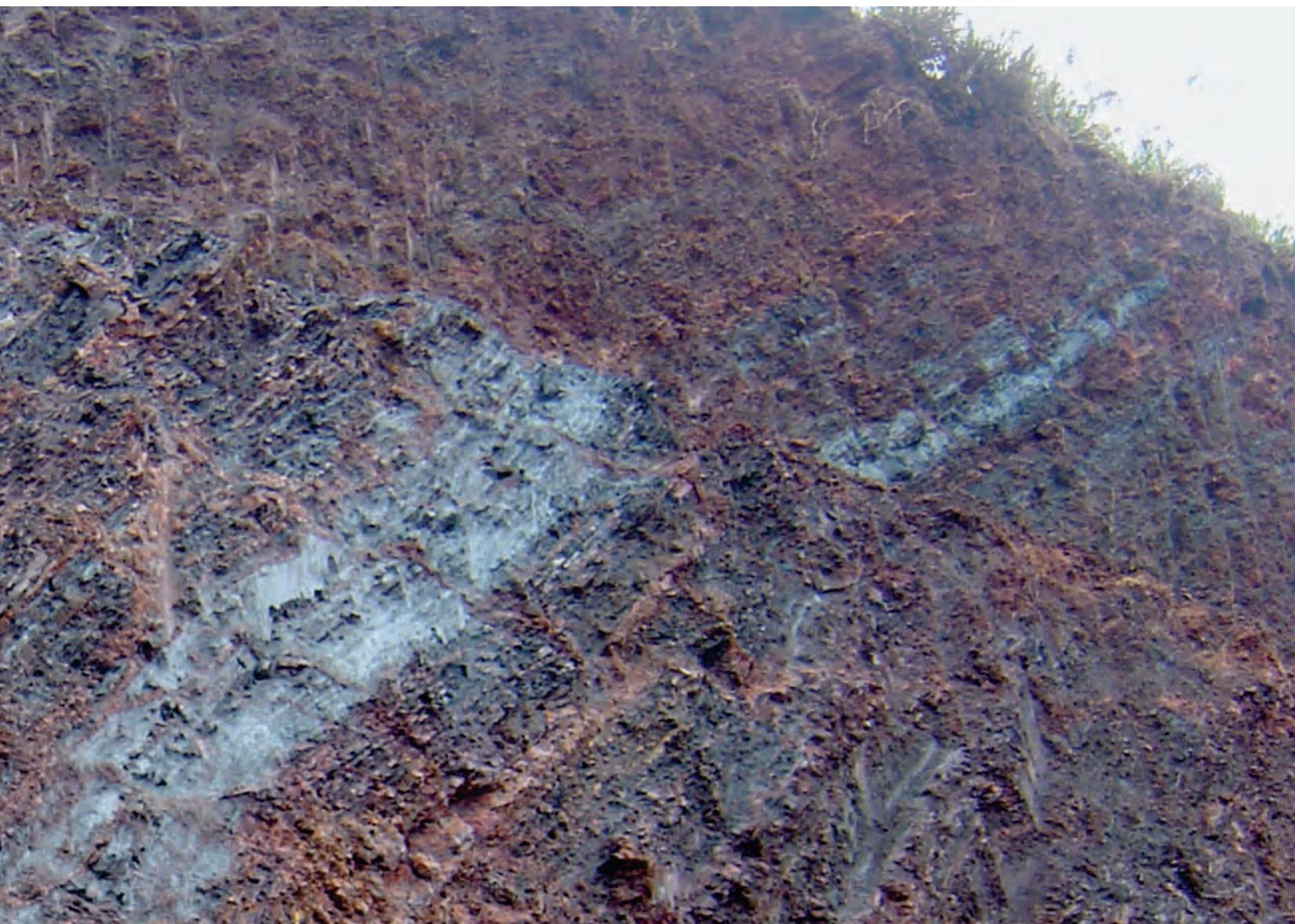
- BENJAMIN, A. H. de V. e. Os estudos de impacto ambiental como limites da discricionariedade administrativa. *Revista Forense*, Rio de Janeiro, n. 317, p. 25-45, jan./mar. 1992.
- BENJAMIN, A. H. V. e. A insurreição da aldeia global contra o processo civil clássico: apontamentos sobre a opressão e a libertação judiciais do meio ambiente e do consumidor. *BDJur*, Brasília, DF. Disponível em: <www.diramb.gov.pt/data/basedoc/TXT_D_9270_1_0001.htm> Acesso em: jan. 2007.
- BORIES, C. *Les bombardements serbes sur la vieille ville de Dubrovnik*. La protection internationale dès biens culturels. Paris. A. Pedone, 2005.
- CARMO, F. F. do. *Importância Ambiental e Estado de Conservação dos Ecossistemas de Cangas no Quadrilátero Ferrífero e Proposta de Áreas-Alvo para a Investigação e Proteção da Biodiversidade em Minas Gerais*. Belo Horizonte, 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Departamento de Biologia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.
- CHIODI, C. K. A aplicação do regime jurídico de proteção da Mata Atlântica aos campos ferruginosos. In: BADINI, L. *Meio Ambiente*. Belo Horizonte: Editora Del Rey, 2013. Cap. 13. 379 p.
- DRUMMOND, G. M. et al. *Biodiversidade de Minas Gerais*. 2. ed. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005.
- GOMES, C. A. *Introdução ao direito do ambiente*. Lisboa: AAFDL, 2012.
- ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade / CECAV – Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas. *3º Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental*, 2011.
- JACOBI, C.M.; CARMO, F.F.; CAMPOS, I.C. Soaring Extinction Threats to Endemic Plants in Brazilian Metal-Rich Regions. *AMBIO*, Oslo, v. 40, n. 5, p. 540-543, 2011.
- MACHADO, P. A. L. *Direito Ambiental Brasileiro*. 9. ed. São Paulo: Malheiros. 2001.
- MARCHESAN, A. M. M. Inquérito civil público e ação civil pública na tutela do patrimônio cultural. In: ANDRADE, R. R. et al. (Orgs.). *Anais do 1º Encontro Nacional do Ministério Público na Defesa do Patrimônio Cultural*. Goiânia: Instituto Centro Brasileiro de Cultura, 2004.
- MATEO, R. M. *Manual de Derecho Ambiental*. Navarra: Aranzandi. 3. ed. 2003.
- MIRANDA, M. P. S. *Tutela jurídica do patrimônio cultural brasileiro*. Belo Horizonte: Del Rey, 2006.
- MIRRA, Á. L. V. O controle judicial do conteúdo dos estudos de impacto ambiental. In: FREITAS, V. P. de. (Coord.). *Direito Ambiental em Evolução 4*. Curitiba: Juruá, 2005.
- RUSKIN, J. *A lâmpada da memória*. Cotia: Ateliê Editorial, 2008.
- STEIGLEDER, A M. *Responsabilidade Civil Ambiental*. As dimensões do dano ambiental no direito brasileiro. 2. ed. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2011.

FORMAÇÕES FERRÍFERAS E MINÉRIOS DE ALTO TEOR ASSOCIADOS



CARLOS ALBERTO ROSIÈRE

Instituto de Geociências
Universidade Federal de Minas Gerais



INTRODUÇÃO

Formações Ferríferas Bandadas são rochas sedimentares químicas, precipitadas diretamente da água do mar e que, por isso, registram as transformações ambientais e a evolução da Terra por um longo período, desde o seu aparecimento, no início do Arqueano até o Proterozóico médio (~3.800 Ma to ~1.800 Ma) (TRENDALL, 2002; CLOUT; SIMONSON, 2005; KLEIN, 2005), quando sua presença no registro geológico diminui progressiva e rapidamente, até seu total desaparecimento no Paleozóico. A presença dessas rochas auxilia no entendimento de importantes transformações nas características da evolução geológica do planeta, tais como mudanças no regime tectônico com geração de crosta continental e alterações na biosfera. Essas transformações levaram a um considerável aumento na concentração de oxigênio livre na atmosfera e nos oceanos dentro de uma série de fenômenos denominados O Grande Evento de Oxigenação – em inglês *The Great*

Oxygenation Event (GEO ou GOE) ~2.500-2.100 Ma. O reaparecimento das formações ferríferas entre 800 e 500 Ma representa outro acontecimento geológico importante cuja origem, em detalhe, é ainda sujeita a debates, mas está associada a novo desequilíbrio ambiental global com formação de extensas geleiras que levaram ao acúmulo de Fe na água do mar e sua subsequente sedimentação.

Além de suas notáveis peculiaridades, essas rochas representam a maior fonte de minério de ferro do mundo, gerando jazidas de grande volume e elevado grau de pureza. Isso ocorre em virtude de suas características primárias (sedimentares e químicas) e dos processos de enriquecimento secundário a que foram submetidas. A sua frequente associação com sequências carbonáticas também tem importantes consequências, tanto nos processos mineralizadores quanto nos esculptores da paisagem.

FORMAÇÕES FERRÍFERAS

Formações ferríferas são rochas sedimentares químicas ricas em ferro e sílica, sem componentes detríticos, tendo o ferro sido precipitado em condições oxidantes ou sub-oxidantes associado à atividade microbiana (KONHAUSER et al., 2002), a partir da água do mar fertilizada com fluídos provenientes de emanções vulcânicas submarinas ricas em ferro. O ferro, em sua forma solúvel (Fe^{2+}), concentra-se nas porções mais profundas e pobres em oxigênio, permanecendo dissolvido até encontrar ambiente apropriado para sua precipitação na forma de óxidos, carbonatos ou silicatos. James (1954) postulou um teor mínimo de 15%Fe em peso para essa rocha, embora ele varie, na maioria dos casos, entre ~20 e 40%. O teor em SiO_2 varia entre 40 e 60 %, CaO e MgO apresentam teores <10%, enquanto a concentração de Al_2O_3 e álcalis (Na, K) é sempre muito baixa (< 2%).

A mineralogia de ferro compreende óxidos (hematita/ Fe_2O_3 , magnetita/ Fe_3O_4), carbonatos (siderita/ $FeCO_3$ e ankerita/ $Ca(Mg, Fe)(CO_3)_2$), silicatos (greenalita/ $(Fe^{+2}, Fe^{+3})_2-3Si_2O_5(OH)_4$) e, localmente, pirita, que é sulfeto de ferro (Fe_2S). Sílica (SiO_2) ocorre na forma microcristalina (denominada chert) ou

cristalina (quartzo). Quase toda a mineralogia encontrada nas formações ferríferas é resultado de transformações sofridas pela rocha durante a história geológica, devido às modificações na pressão e temperatura ambiente. Essas transformações são resultado de reações entre os componentes da rocha sedimentar e são denominadas reações diagenéticas ou metamórficas. Alguns minerais, entretanto, tais como siderita e greenalita, encontrados na região de Hamersley na Austrália Ocidental ou no Transvaal na África do Sul e mesmo na província mineral do Lago Superior (região do Grande Lagos, na fronteira entre os Estados Unidos e o Canadá), são considerados produtos de precipitação e usados para definir o ambiente de deposição sob diferentes graus de oxidação. Hidróxidos férricos foram provavelmente os principais produtos de sedimentação, tendo sido desidratados, recristalizados ou reagiram com outros componentes mineralógicos no decorrer da história geológica, para constituir a mineralogia das formações ferríferas (óxidos, silicatos ou carbonatos), dependendo das condições químicas ambientais dominantes (oxidante/redutora; ácida/básica). Sulfetos primários são raros em for-

FORMAÇÕES FERRÍFERAS E MINÉRIOS DE ALTO TEOR ASSOCIADOS

mações ferríferas, mas ocorrem comumente em rochas filíticas (produto do metamorfismo de argilas) de cor negra, ricas em matéria orgânica, frequentemente subjacentes às formações ferríferas. Folhelhos ou filitos negros são depositados em ambiente anóxico, pela intervenção de atividade microbiana e registram o ambiente redutor em que o elemento ferro se encontrava, solubilizado na forma do cátion Fe^{2+} , previamente à sua oxidação e precipitação. A rara presença de álcalis em formações ferríferas é devido à contaminação ocasional por material de origem vulcânica (cinzas), e sua ocorrência é indicada pelos silicatos riebeckita ($\text{Na}_2(\text{Fe},\text{Mg})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$) e stilpnomelana ($(\text{K}_{0.6}(\text{Fe},\text{Mg})_6(\text{Si}_8\text{Al})(\text{O},\text{OH})_{27.2}-4\text{H}_2\text{O})$).

Características texturais primárias. A característica primária mais proeminente das formações ferríferas é a alternância de bandas claras e escuras, que são finas camadas de minerais de ferro e chert ou quartzo. Essa estruturação, denominada de bandamento, ocorre em diferentes escalas tendo sido classificada por Trendall e Blockley (1970) como macro- meso- e microbandas em função de sua espessura, que pode variar de decimétrica a submilimétrica. Essas rochas são denominadas de Formações Ferríferas Bandadas. Embora as bandas representem planos de deposição dos sedimentos, o

chert cimenta os minerais de ferro e pode ter sido formado por precipitação direta, floculação ou como produto diagenético da decomposição de silicatos primários como a greenalita (Figura 1a). Algumas formações ferríferas apresentam texturas que indicam deposição e erosão de lamelas químicas ricas em ferro, tais como a presença de grânulos arredondados e fragmentos angulosos. Rochas granulares aparecem descontinuamente como lentes de espessura variável de poucos metros, (geralmente <2m) associadas a um ambiente raso e recebem a denominação de Formação Ferrífera Granular. (Figura 1b).

Ambiente deposicional e seqüências com formações ferríferas: Formações ferríferas ocorrem em sucessões marinhas (SIMONSON, 1985; BEUKES, 1983; KLEIN; BEUKES, 1989; PICKARD et al., 2004), invariavelmente com folhelhos negros. Formações ferríferas podem ainda ocorrer associadas a:

- 1) rochas argilosas características de bacias profundas, depositadas a partir de correntes de lama (turbiditos);
- 2) carbonatos depositados nas plataformas submersas dos continentes;
- 3) arenitos em ambientes rasos (raramente);
- 4) seqüências de rochas vulcânicas e sedimentos associados.



Figura 1 - Formações Ferríferas. a) Formação Ferrífera Bandada: Grupo Hamersley, Formação Ferrífera Brockman, Membro Dales Gorge. Austrália Ocidental. Foto: C.A. Rosière. b) Formação Ferrífera Granular. Formação Ferrífera Sokoman, Bacia do Labrador, Canada Foto gentilmente cedida por B. SIMONSON.

Quanto maior a bacia e mais complexo o ambiente de deposição, consequentemente, maior é a variação mineralógica e textural encontrada nas formações ferríferas. Gross (1983) definiu três tipos de ambientes para deposição de formações ferríferas, separando os seguintes tipos faciológicos principais:

- as do **tipo Lago Superior**, que ocorrem em amplas bacias com extensa deposição dessas rochas,
- do **tipo Algoma**, de menor extensão e espes-

sura, associadas a sequências vulcano-sedimentares (sedimentos depositados circundando ou cobrindo edifícios vulcânicos),

- do **tipo Rapitan**, que apresentam mineralogia muito simples (chert e hematita), em comparação às encontradas nos outros tipos e ocorrem em sequências depositadas em fossas continentais, comumente associadas com sedimentos de origem glacial, ou seja, em ambiente de geleira.

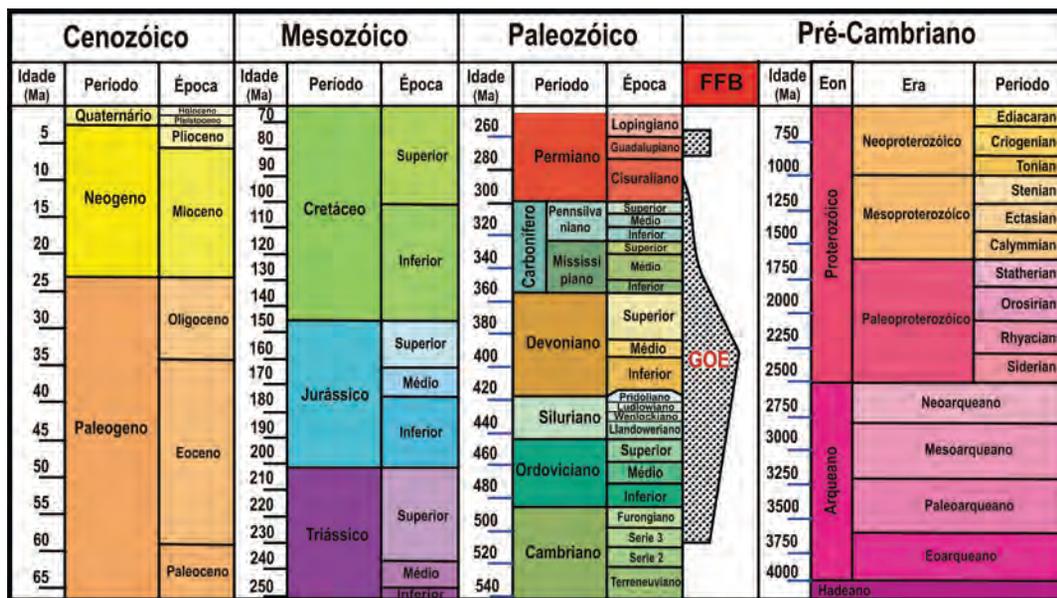


Figura 2 - Escala de Tempo Geológico com localização da ocorrência de formações ferríferas (FFB) e o Grande Evento de Oxigenação (GOE). (Extraído de WALKER et al. (2012), COHEN et. al (2012) GRADSTEIN et al. (2012). Subdivisões de acordo com a International Commission on Stratigraphy/ICS (Comissão Internacional de Estratigrafia), ratificadas pela International Union of Geological Sciences/IUGS, cores segundo a Comissão for the Geological Map of the World (Comissão do Mapa Geológico do Mundo). Disponível em: <www.stratigraphy.org; <https://engineering.purdue.edu/stratigraphy>>.

Época de deposição: A presença de formações ferríferas na coluna geológica registra um amplo período do Pré-Cambriano (Figura 2), mas muito significativo para o entendimento da evolução da atmosfera do planeta. Sua abundância relativa corresponde a um período de introdução na água do mar de grande volume de ferro proveniente do manto através de condutos vulcânicos. As formações ferríferas mais antigas até hoje conhecidas (3,8 bilhões de anos) ocorrem na sequência vulcano-sedimentar de Isua na Groenlândia e, como outras sequências do tipo Algoma, fazem parte das rochas que compõem os crátons (antigos núcleos conti-

mentais) arqueanos, cuja idade varia de 3,5 a 2,5 bilhões de anos. Formações ferríferas do tipo Algoma ocorrem geralmente como corpos descontínuos, geralmente muito deformados. Em virtude das características químicas dessas formações ferríferas e sua associação com rochas vulcânicas/hidrotermais submarinas são a fonte do ferro, embora as condições de precipitação e deposição sejam ainda mal definidas, devido à falta de oxigênio nessa época da evolução da Terra, particularmente em profundidades abissais. Acredita-se que a precipitação do Fe tenha sido causada pela pre-

sença de colônias de micro-organismos. Alternativamente, especula-se ainda que as exalações submarinas produziram microambiente oxidante (BARLEY et al., 1998; HUSTON; LOGAN, 2004; KONHAUSER et al., 2002; BEKKER et al., 2010). Depósitos do tipo Lago Superior, por outro lado, contêm as maiores e mais espessas sequências de formações ferríferas do registro geológico. A sua deposição está associada ao Grande Evento de Oxigenação ou *The Great Oxygenation Event* (GEO ou GOE) ~2.500-2.100 Ma (HOLLAND, 2006), que produziu rápido aumento de O_2 livre na atmosfera e resultou em um aumento na precipitação de ferro sob diversas formas na água do mar. A presença de ferro no mar atingiu seu máximo na idade de 2,5 bilhões de anos, mas desapareceu do registro geológico há 1,7 bilhões de anos, possivelmente após total consumo desse elemento disponível em excesso e acumulado desde o final do Arqueano (Figura 2). Após um longo período de tempo, as formações ferríferas reaparecem no registro geológico no período Neoproterozóico, entre 800 e 600 milhões de anos, sendo denominadas de formações do tipo Rapitan. A aparição dessas rochas está associada às grandes mudanças nas condições ambientais globais, devido à estagnação da água do mar e à criação de extensas zonas anóxicas que resultaram em novo acúmulo de Fe. Essas novas condições submarinas foram provocadas pelo acúmulo de extensas e espessas coberturas de gelo, durante um período glacial global denominado *Snowball Earth*, em que se acredita que toda (ou quase toda) a superfície do planeta estava coberta por geleiras. Após derretimento das geleiras, o contato da água do mar com a atmosfera e o aumento do grau de oxidação das águas teria provocado nova precipitação e acúmulo

de óxido de ferro nas bacias sedimentares, formando novas camadas de formação ferrífera.

Estruturas e características pós-depositivas das formações ferríferas: Após deposição, os sedimentos sofrem uma série de transformações tornando-se rochas sedimentares. Essas transformações estão associadas às mudanças das condições de pressão e temperatura durante o soterramento por camadas mais novas e também devido aos movimentos das placas que constituem a crosta terrestre. O movimento das placas gera tensões internas e aumento de temperatura o que leva a mudanças mineralógicas (metamorfismo), incluindo desidratação dos componentes minerais de origem sedimentar, com liberação de grande volume de água. Essa água reage com as rochas, gerando o que se chama de reações hidrotermais, ou seja, reações com fluidos aquosos quentes. Esses fluidos aquosos lixiviam componentes solúveis e precipitam outros insolúveis e são, por isso, importante fator na mudança das características das rochas e geração de minério. Metamorfismo e alteração hidrotermal resultam na formação de óxidos de Fe (hematita e magnetita), silicatos e carbonatos (KLEIN, 1983). Eventos geológicos/tectônicos em condições de crosta rasa (<~15km de profundidade) promovem pequenas alterações na estrutura interna da rocha e as características do processo mineralizador encontram-se melhor preservadas e passíveis de interpretação. Deformação e reações em níveis crustais mais profundos produzem transformações radicais na estrutura interna da rocha, com obliteração de características primárias e mudança nas propriedades físicas do minério (ROSIÈRE; CHEMALE Jr., 1991; ROSIÈRE et al., 2001).



Figura 3 - Modelo de deposição de formações ferríferas, representando o provável fluxo do Fe em sua forma solúvel, proveniente de chaminés submarinas para seu sítio de deposição, em ambiente oxidante gerado por micro-organismos. A linha que divide o nível raso oxidante do profundo redutor é denominada quimioclínio ou, especificamente, redoxclínio. Desenho: C.A. Rosière, adaptado de GREENE; SLACK, 2005 e KLEIN; BEUKES, 1989.

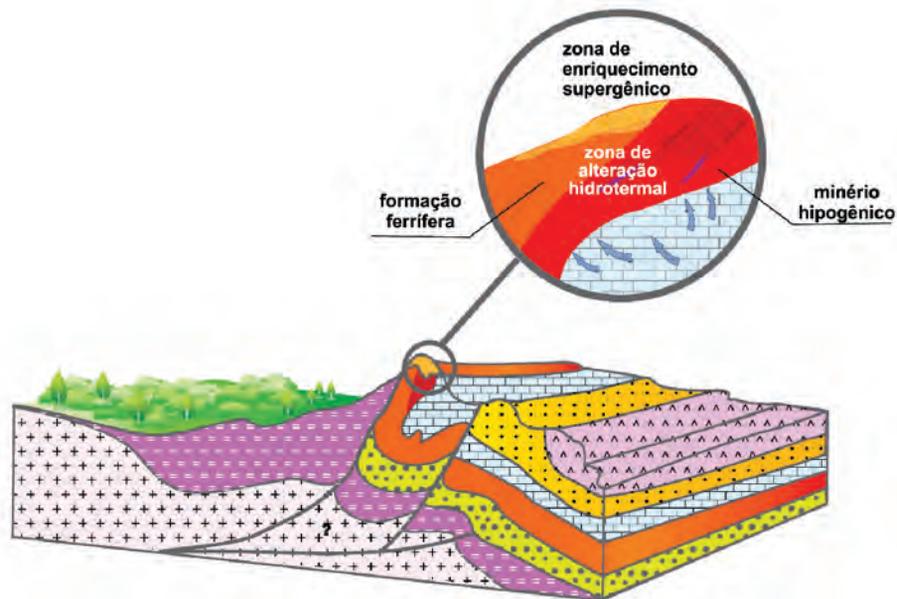


Fig. 4. Representação esquemática dos processos associados à formação de corpos de minério de alto teor. Aqui é representado o caso de jazidas associadas a falhas reversas ou de cavalgamento, como ocorre no Quadrilátero Ferrífero. Os fluidos ascendentes são transportados ao longo das falhas. Ao reagirem com rochas carbonáticas subjacentes, eles promovem a carbonatação e lixiviação de minerais de ganga das formações ferríferas. Nas cristas e zonas elevadas formadas pelas falhas, as rochas mineralizadas são sujeitas ao intemperismo e enriquecidas pela ação das águas meteóricas, que retiram os resíduos dos processos hipogênicos, formando corpos de grandes dimensões. A crista é mantida por longo período na morfologia devido à formação da crosta de canga (ver o texto para detalhes). Desenho: C.A. Rosière; P. Rutkowski.

Processos mineralizadores podem provocar enriquecimento em ferro nas formações ferríferas, de modo a atingir teores entre 60 e 68% Fe. Mineralização das formações ferríferas envolve, principalmente, a remoção, lixiviação dos minerais que não contêm ferro, chamados minerais de ganga e também a oxidação de minerais ferrosos. Os processos envolvidos podem ser:

- Hipogênicos ou hidrotermais, quando a remoção se desenvolve em temperatura elevada pela ação de fluidos gerados durante o metamorfis-

mo, ou mesmo proveniente de fontes magmáticas, ígneas;

- Supergênicos, que se desenvolvem pela ação do intemperismo, quando o principal agente que remove os minerais é a água superficial, do lençol freático, à temperatura ambiente.

Os maiores e mais ricos corpos de minério de ferro foram sujeitos a ambos processos de forma recorrente, em idades geológicas diferentes. Em uma primeira fase de enriquecimento, as formações ferríferas tiveram sua composição original modifi-



Figura 5 - Minério de ferro hipogênico/hidrotermal. a) Lente concordante de minério maciço, envolvida por minério friável. Capitão do Mato, Quadrilátero Ferrífero, Brasil. b) Veio de minério maciço de dimensões decamétricas cortando minério friável de alto teor. Carajás, Corpo N5E, Brasil. c) Banda mineralizada em itabirito intemperizado limonítico (laterítico). Sinclinal de Gandarela, Quadrilátero Ferrífero, Brasil. Fotos: C.A. Rosière.

cada através da ação de fluídos (gases e vapor) a temperaturas e profundidades relativamente elevadas e, ao retornarem à superfície, sofreram a ação de águas superficiais que lixiviaram os componentes solúveis restantes, deixando um resíduo rico em ferro. (GRUNER, 1930; 1937; DORR, 1965; BEUKES et al., 2002).

Quartzo, um dos principais componentes mineralógicos das formações ferríferas é pouco solúvel a temperaturas inferiores a 250°C, especificamente durante a ação intempérica. Durante a fase hipogênica, esse mineral pode ser lixiviado na presença de fluídos quentes, mas também é frequentemente substituído por carbonatos. O enriquecimento torna-se completo por oxidação e decarbonatação de componentes primários e secundários (de substituição) e, finalmente, por laterização (ver abaixo) pela ação de águas meteóricas.

Características do enriquecimento hipogênico e atuação de processos supergênicos. Associações mineralógicas e relações texturais, produzidas durante a substituição de quartzo por carbonatos solúveis (alteração carbonática), são comuns e podem ser observadas na maioria dos grandes depósitos de classe mundial, em profundidades abaixo do nível de intemperismo. A definição dos modelos metalogenéticos se faz através de estudos geológicos, envolvendo a análise das características estruturais/texturais dos minérios e suas encaixantes, associada a estudos microquímicos. Segundo esses estudos, os fluídos quentes, responsáveis pelo enriquecimento de origem hipogênica, podem ter diversas origens, sendo transportados ao longo de

falhas (Figura 4). Tais fluídos são responsáveis por processos que ocorrem em estágios sucessivos, controlados por estruturas tectônicas em diferentes escalas.

A maioria desses modelos demonstra a importância da substituição de quartzo por carbonatos de Ca-Fe-Mg na formação do que se chama um proto-minério (Figura 5e). Nessa fase, em virtude das condições químicas redutoras, o ferro pode ser remobilizado e constituir veios de óxidos (hematita e magnetita) (Figura 5b). Esses minerais podem constituir corpos maciços (Figuras 5a, b), pela substituição de minerais lixiviados (Figura 5c), ou ser reprecipitados em cavidades (Figura 5d). Como resultado final temos corpos zonados, com um núcleo maciço envolvido por minério poroso, ambos com alto teor (60-68%Fe) (Figura 5a) que, por sua vez, são envolvidos parcialmente por zonas ricas em carbonato e com teores variáveis (45-55-60% Fe), mas só reconhecidas em profundidades abaixo do nível freático.

A maioria dos depósitos apresenta características semelhantes, associadas aos processos hipogênicos, embora existam importantes diferenças que dependem das condições ambientais (químicas e físicas) de cada jazida, tais como:

- A existência de camadas carbonáticas;
- Características físico-químicas e origem dos fluídos responsáveis pela mineralização;
- Características estruturais que promovem a preparação física da rocha alterando a sua permeabilidade e reatividade.



Figura 5 - Minério de ferro hipogênico/hidrotermal. d) Minério de ferro hidrotermal poroso com cavidades preenchidas por cristais de hematita lamelar. Tom Price, Hamersley, Austrália Ocidental. e) Minério friável em contato com proto-minério dolomítico (itabirito enriquecido). Águas Claras, Quadrilátero Ferrífero, Brasil. f) Minério xistoso. Andrade, NE do Quadrilátero Ferrífero, Brasil. Fotos: C.A. Rosière.

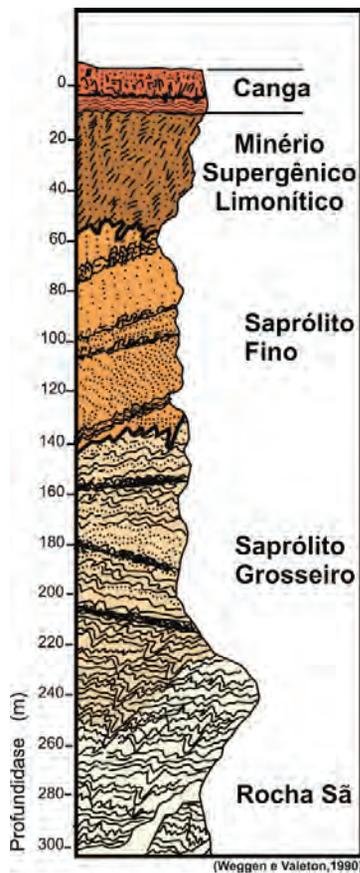


Figura 6 - Representação esquemática de perfil intempérico laterítico em formações ferríferas bandadas. Desenho: C.A. Rosière, modificado de WEGGEN; VALETON, 1990.

A subsequente atuação de agentes intempéricos sobre o proto-minério contribui para o enfraquecimento da ligação entre os grãos e a retirada dos minerais solúveis intersticiais. Os óxidos de Fe, particularmente magnetita, sofrem hidratação, gerando oxihidróxidos de ferro, enquanto carbonatos de manganês são alterados também com a formação de oxihidróxidos desse elemento. Silicatos podem ser alterados em argila ou sofrer substituição por oxihidróxidos de ferro (Figura 4).

Processos Supergênicos:

Para um enriquecimento efetivo por processos supergênicos, a camada de formação ferrífera deve funcionar como um aquífero. O fluxo de águas meteóricas é controlado pela permeabilidade secundária das formações ferríferas causada principalmente pelo fraturamento de origem tectônica, mas também por estruturas induzidas ou gera-

das pela lixiviação progressiva de carbonatos ou carreamento de grãos de quartzo

Alteração laterítica é considerada por um grande número de autores como a principal responsável pela formação dos depósitos gigantes de minério de ferro de alto teor. Um grande volume de formações ferríferas esteve exposto por longo tempo às condições de superfície, favoráveis ao desenvolvimento do intemperismo tropical, com abundância de oxigênio, água e matéria orgânica. Esse fenômeno dá origem ao espesso pacote de minério friável, como identificado por Dorr (1964) na América do Sul. Os principais depósitos de minérios de ferro de alto teor se apresentam, morfologicamente, como elevações sustentadas por crostas ferruginosas maciças a cavernosas, denominadas canga (Figura 4). A espessura da zona de alteração é grande, podendo chegar a 400 m, mas ficando, em geral, abaixo de 220m (DORR, 1964), como consequência da estrutura da rocha, e pela sua composição carbonática, que favorece a infiltração de água e de oxigênio a grandes profundidades. O perfil laterítico (Figura 6), de baixo para cima, compreende uma zona saprolítica inferior grosseira, de espessura que pode atingir mais de 100m, com blocos de formação ferrífera envolvidos por material friável. Acima dessa zona ocorre um nível de saprólito fino, de espessura geralmente inferior a 100m, constituído de material friável, parcialmente cimentado por goethita, onde ainda se reconhece a estruturação da rocha. Esse nível é sucedido por rocha alterada cimentada por oxihidróxidos de ferro amorfos ou microcristalinos, sendo goethita o mineral mais evidente, que ocorre em forma terrosa ou como agregados de hábito coliforme, juntamente com diversos hidróxidos e fosfatos de alumínio e fósforo. O perfil é capeado pela crosta de canga, de espessura métrica. Os teores de SiO_2 diminuem ao longo do perfil, drasticamente na passagem do horizonte saprolítico grosso para o fino, e os teores de Fe_2O_3 aumentam de forma inversa, alcançando os valores mais altos no horizonte fino e goethítico, podendo atingir até 67% Fe. Os teores de Al_2O_3 aumentam gradualmente para o topo, alcançando os valores mais altos já no horizonte goethítico. Os teores de P_2O_5 , embora baixos, são relativamente expressivos para minério de ferro, e experimentam aumento considerável já no horizonte goethítico-gibbsítico e na crosta cavernosa, acompanhado por enriquecimento relativo em Al_2O_3 .

A abundância de carbonatos leva à formação de minérios supergênicos de alto teor por concentração residual, mas sem desenvolvimento de um perfil laterítico. Beukes et al. (2002) associa a formação do minério do depósito de Sishen na África do Sul (Figura 7a) à evolução cárstica dos dolomitos da Formação Campbellrand, durante o desenvolvimento de uma paleosuperfície de erosão de idade Paleoproterozóica, provocando o colapso das camadas de formação ferrífera em dolinas e o seu enriquecimento residual a partir da lixiviação dos carbonatos e hidratação dos óxidos, de forma semelhante à observada em terrenos recentes (Figura 7b). Os minérios martíticos-goethíticos do Cráton do Pilbara (Figura 7c) na Austrália Ocidental são também interpretados como produto de concentração residual supergênica, abaixo da paleo-superfície de erosão desenvolvida entre a era Mesozoica e o período Terciário (HARMSWORTH et al., 1990).

Com o objetivo de explicar por modelo supergênico a grande profundidade de muitos corpos

de minério, Morris (1983) postula uma substituição metassomática do quartzo e componentes silicáticos. De acordo com esse autor, silicatos de ferro ou mesmo carbonatos, seriam substituídos por hidróxidos pela ação de águas do lençol freático que fluiriam em um sistema artesiano ao longo de descontinuidades estruturais. Dessa forma atingiriam grandes profundidades, carregando Fe^{2+} , solubilizado em superfície pela ação de agentes orgânicos.

A maioria dos autores defende, entretanto, que para o desenvolvimento de grandes volumes de minério friável é necessário o pré-enriquecimento das formações ferríferas por processos hidrotermais, onde a carbonatação é o mais importante (BARLEY et al., 1999; HAGEMANN et al., 1999; TAYLOR et al., 2001; SPIER et al., 2003; DALSTRA; GUEDES, 2004; ROSIÈRE; RIOS, 2004). Isso leva ao desenvolvimento de grande número de elementos cársticos que aparecem na paisagem dominada por formações ferríferas.

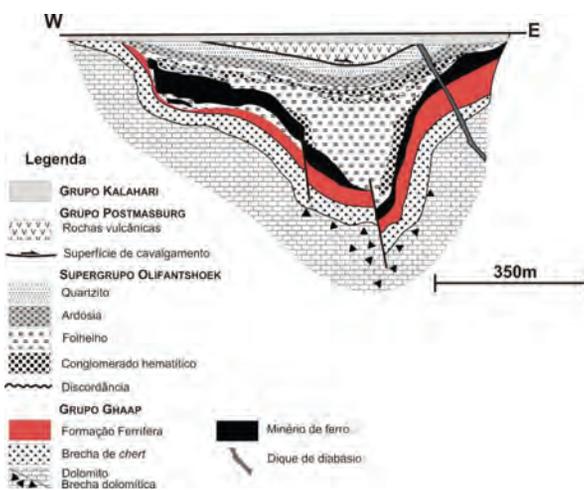


Figura 7 - Minério de ferro supergênico. a) Seção geológica esquemática no depósito supergênico de Sishen, Griqualand Ocidental, África do Sul. Fonte: KUMBA RESOURCES, África do Sul. b) Minério de ferro-manganês em dolinas recentes. A linha vermelha delimita corpos ricos constituídos de detritos e hidróxidos residuais, Transvaal, Griqualand Ocidental, África do Sul. c) Minério macio a medianamente duro de alto teor, constituído por goethita e martita. Goethita substitui as bandas originalmente constituídas de quartzo. West Angala. Hamersley, Austrália Ocidental. Fotos: C.A. Rosière.



CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO MINÉRIO

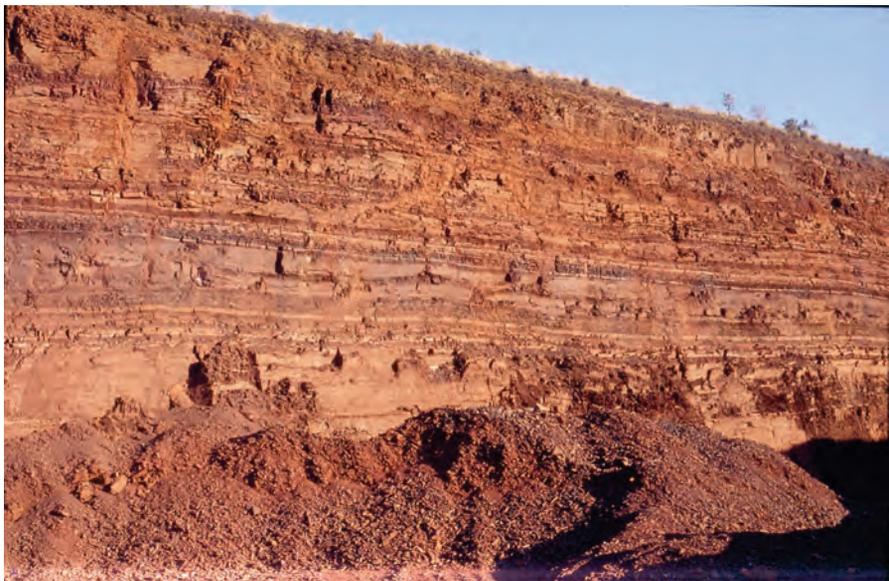
Minério hidrotermal/hipogênico alterado por processos supergênicos: Minérios de alto teor hipogênicos são “azuis” e constituídos principalmente de hematita (Figura 8a), podendo ser classificados em termos de sua resistência física como macios ou friáveis e duros. Uma classificação mais refinada separa duros, semiduros, friáveis, macios e pulverulentos, embora cada empresa de mineração tenha sua própria subdivisão de acordo com o comportamento do minério durante britagem e moagem. Minério duro a médio tem baixa porosidade, com grãos intercrescidos de martita e hematita. Minérios formados a temperaturas mais baixas são geralmente porosos e relativamente pouco tenazes (ou duros) (p.ex. Tom Price na Austrália Ocidental), enquanto minérios recristalizados e veios apresentam uma textura granular e são extremamente resistentes quando submetidos a esforços (como alguns tipos de minério de Carajás e do Quadrilátero Ferrífero). Minérios xistosos (Figura 5f) apresentam uma fissilidade controlada pela orientação de seus grãos, que têm a forma de plaquetas alongadas e orientadas (Fazendão, Andrade e outros depósitos do setor oriental do Quadrilátero Ferrífero).

Minérios friáveis são produtos de alteração

supergênica de formação ferrífera enriquecida, que se desenvolvem geralmente nas porções mais externas do corpo mineralizado. Eles são muito porosos, têm baixa coesão e podem ser facilmente desagregados com a mão, quebrando-se em lascas irregulares de dimensões centimétricas, ou em placas e bastões alongados definidos pela estrutura da rocha. Minérios macios ou pulverulentos possuem baixa coesão, podendo apresentar relictos do bandamento, estrutura brechada, ou mesmo não ter estrutura interna (chamados de *blue dust*), mas não se diferenciam dos minérios duros quanto à sua composição mineralógica.

Minério supergênico: minérios cimentados por goethita são marrons (Figuras 8b e 9a) e apresentam teor variado de Fe, sendo goethita seu principal componente. Goethita é formada principalmente às custas de magnetita que se altera e hidrata com facilidade em condições intempéricas. Minérios supergênicos podem ser duros (cimentados), ou macios e terrosos e não são sempre diretamente associados aos minérios azuis. Os minérios goethíticos de Hamersley são bandados: camadas de silicato e carbonato são substituídas por goethita, enquanto magnetita é oxidada em hematita (martita), com o desenvolvimento de minério de cor ocre, friável a duro.

Figura 8 - Características físicas dos minérios. a) Corpos de minério hidrotermal duro envolvido por minério friável a macio. Paraburdoo, Hamersley, Austrália Ocidental. b) Minério goethítico formado por laterização de formação ferrífera do tipo Rapitan. Urucum, Mato Grosso do Sul, Brasil. Fotos: C.A. Rosière.



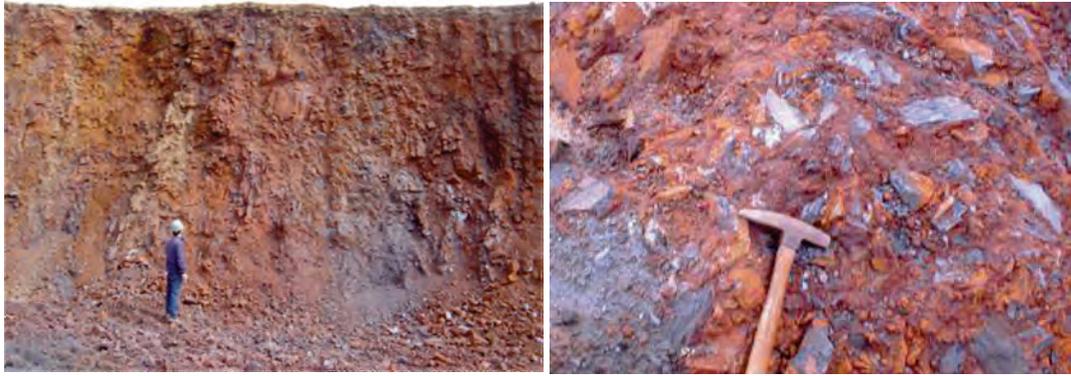


Figura 9 - Produtos de alteração supergênica. a) Minério friável de origem supergênica, parcialmente cimentado por goethita. (pré-Canga) Casa de Pedra, Quadrilátero Ferrífero, Brasil. b) Crosta de canga com fragmentos de formação ferrífera e minério de alto teor, cimentados por goethita. Quadrilátero Ferrífero, Brasil. Fotos: C.A. Rosière.

Canga é um termo de origem indígena, adotado na terminologia geológica internacional, que caracteriza a crosta goethítica dura com fragmentos de formação ferrífera e minério de alto teor, cimentados por hidróxidos de ferro e, eventualmente, de manganês. Essa crosta cobre os perfis de alteração de formações ferríferas (Figura 9) e

minério, podendo se estender além dos limites litológicos das unidades ferríferas, acompanhando a superfície de relevo. A crosta de canga é típica de terrenos de formações ferríferas, ocorrendo igualmente em diferentes províncias minerais como Quadrilátero Ferrífero, Hamersley, Transvaal, Simandou Range etc.

PRINCIPAIS PROVÍNCIAS FERRÍFERAS DO BRASIL

Quadrilátero Ferrífero: O termo Quadrilátero Ferrífero foi introduzido por Dorr (1969) e colaboradores, para dar nome à quadrícula ao sul da cidade de Belo Horizonte, no estado de Minas Gerais, aproximadamente entre as coordenadas 19°-20°S de latitude e 43°-44°W longitude, compreendendo cerca de 15,000 km². Essa região foi mapeada de 1952 a 1969, através de um programa conjunto USGS-DNPM (United States Geological Survey-Departamento Nacional da Produção Mineral). O termo é creditado à abundância na região de corpos de minério de ferro de alto teor. O Quadrilátero Ferrífero (Figura 10) é a principal província mineral ferrífera do Brasil, e as formações ferríferas ali aflorantes pertencem a uma sequência plataformal de idade Paleoproterozóica (~2.4 bilhões de anos), denominada Supergrupo Minas que compreende rochas pelíticas, arenosas e carbonáticas. Nesta região, as formações ferríferas são denominadas itabirito, a partir de termo retirado da língua indígena e introduzido no vocabulário geocientífico pelo geólogo e metalurgista alemão W. L. von

Eschwege, no início do século XIX (1822, 1833), e que tem sido progressivamente aplicado na caracterização de formações ferríferas metamórficas.

Itabiritos apresentam ampla variedade mineralógica, com anfibólios e carbonatos (dolomita, ankerita, calcita) e a presença constante de quartzo. Esta mineralogia reflete, em parte, a composição primária da rocha, mas também a alteração hidrotermal associada à formação de minérios de alto teor. Itabiritos hospedam um grande número de depósitos de minério de alto teor de importância econômica cuja ocorrência é controlada por estruturas tectônicas. Corpos maciços e friáveis de minério compõem tipicamente os depósitos do Quadrilátero, que se formam pela recorrência de processos supergênicos sobre minérios formados por enriquecimento hidrotermal.

Os principais depósitos do QF em produção compreendem o chamado Complexo Itabira (Caue, Conceição, Dois Córregos, Onça, Esmeril, Charinha e Periquito), Minas Centrais (Água Limpa,

Brucutu, Córrego do Meio e Gongo Soco), Complexo Mariana (Alegria, Timbopeba, Fábrica Nova, Fazendão e Morro da Mina) e Minas do Oeste (Córrego do Feijão e Fábrica) todos da VALE, o Complexo de Alegria da sociedade BHP Billiton/VALE, o depósito de Casa de Pedra, que é o maior corpo de alto teor do Quadrilátero Ferrífero da Companhia Siderúrgica Nacional, além de outros. Esses corpos foram intensivamente minerados nos últimos 30 anos, mas estima-se, para a VALE, uma reserva restante da ordem de 600 milhões de toneladas para minérios de alto teor e 2,1 bilhões de toneladas fora das áreas atuais de lavra. As reservas de minério de baixo teor (itabirito friável e semi-friável) estão entre 6,0 e 8,0 bilhões de toneladas, e os recursos inferidos chegam a aprox. 25 bilhões de toneladas (relat. VALE, 2007). A produção total da VALE no Quadrilátero Ferrífero no ano de 2013 foi de 190 milhões de toneladas.

Borda Leste da Serra do Espinhaço: A chamada Borda Leste da Serra do Espinhaço Meridional (Figura 10) corresponde a uma faixa geográfica de orientação geral norte-sul, com cerca de 30 km de largura e 150 km de comprimento, balizada a norte pela cidade de Serra Azul de Minas e a sul por Santa Maria de Itabira, no centro leste do Estado de Minas Gerais. Essa faixa tem como principal referência geográfica a cidade de Conceição do Mato Dentro, incluindo ainda as cidades de Serro, Alvorada de Minas, Morro do Pilar e Santo Antônio do Rio Abaixo.

Nessa região afloram sequências metassedimentares subjacentes às unidades do Supergrupo Espinhaço, entre as quais o Grupo Serra da Serpentina, que contém espessas camadas de formações ferríferas bandadas. O pacote de metassedimentos, onde se incluem as formações ferríferas, foi depositado em um ambiente de plataforma continental com sedimentos argilosos e arenosos e pouco carbonato. A sequência se encontra metamorfisada e fortemente deformada.

As maiores espessuras dessas formações ferríferas estão localizadas na região de Conceição do Mato Dentro, à 150 km a nordeste de Belo Horizonte, na região centro-leste de Minas Gerais. As rochas do Grupo Serra da Serpentina são conhecidas desde o século XIX, quando foram usadas para alimentar o primeiro alto forno da América do Sul,

instalado em 1814 em Morro do Pilar (25 km ao sul de Conceição do Mato Dentro). Já no século XX, no início da década de 80, esses depósitos voltaram a ser pesquisados; porém, foi somente a partir de 2005, com a elevação dos preços internacionais do minério de ferro, que as formações ferríferas bandadas dessa região passaram a ser exploradas de forma intensiva.

Todos os depósitos dessa região têm baixo teor em ferro (formação ferrífera/itabirito com 30-35%Fe_{total}), mas baixos teores de contaminantes. Seu enriquecimento ocorreu, predominantemente, por processos supergênicos, produzindo minério friável, pobre em goethita, com teor médio de 43%, mas que podem atingir 70%Fe. Corpos hipogênicos são poucos e, na maioria das vezes, de dimensões modestas quando comparados com os do Quadrilátero Ferrífero, atingindo no máximo espessura de poucas dezenas e comprimento de poucas centenas de metros. Os três principais depósitos de ferro da região são o da Serra do Sapo, o da Serra da Serpentina e o de Morro do Pilar. A Serra do Sapo, ao norte de Conceição do Mato Dentro, tem 15 km de extensão, direção NNW e as camadas de itabirito atingem 300 m de espessura (100 m em média). A Serra da Serpentina inicia-se em Conceição do Mato Dentro, indo até o sul de Santo Antônio do Rio Abaixo, com 32 Km de comprimento, tendo direção NW a WNW. Os depósitos têm características mineralógicas e químicas muito semelhantes, mantendo uma mineralogia muito simples: quartzo, hematita e magnetita subordinada. Os corpos de alto teor (minério de hematita) restringem-se a lentes de 10 a 30 m de espessura por 200 a 300 m de comprimento e tem teores médios de: 66,93% de ferro total; 3,13% de SiO₂; 0,025% de P; 0,85% de Al₂O₃ e 0,55% de FeO. Os recursos geológicos atualmente estimados para os corpos principais são de 3,5 bilhões de toneladas de minério na Serra do Sapo; 250 milhões de toneladas na Serra de Itapanhoacanga - que é um setor da Serra da Serpentina, ambos explorados dentro do chamado Projeto Minas-Rio da Anglo American, além de 2,0 bilhões de toneladas em Morro do Pilar e 400 milhões de toneladas em Serro. Os principais tipos de minério considerados são itabirito duro e friável. Na primeira fase do Projeto Minas-Rio, será lavrado itabirito friável na Serra do Sapo com teor de 38,8%Fe, cujas reservas calculadas perfazem 1,4 bilhões de toneladas.

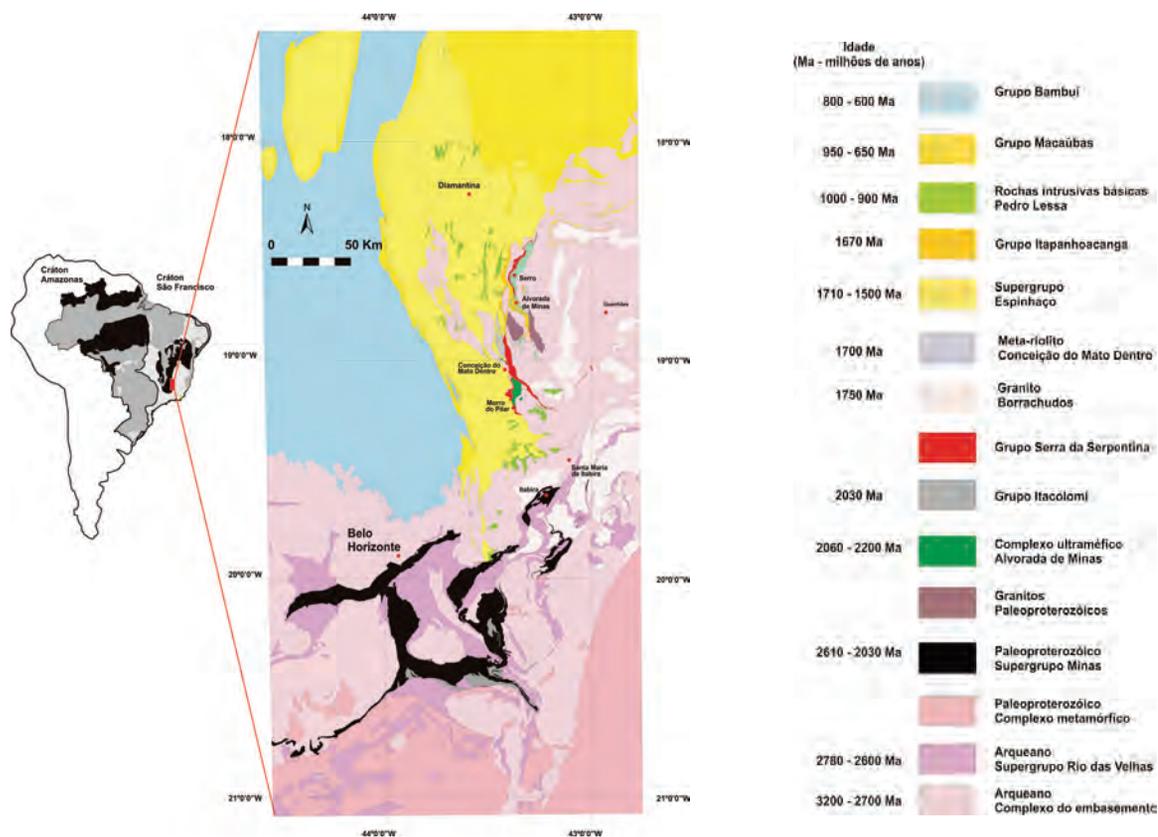


Figura 10 - Mapa geológico com as principais ocorrências de formações ferríferas em Minas Gerais, que abrange o Quadrilátero Ferrífero (Supergrupo Minas) e a borda leste da Serra do Espinhaço meridional (Grupo Serra da Serpentina). Desenho: V.K. Rolim, modificado de PINTO et al. 2003.

Província de Carajás: As ocorrências de minério de ferro da região hoje conhecida como Província Mineral de Carajás foram inicialmente avistadas e reconhecidas em 1962 por B. Santos, geólogo da US Steel, enquanto sobrevoava a região, a partir da observação fortuita de características aparentemente cársticas de um *plateau* de canga. Seu reconhecimento como depósito foi efetivado em 1965. O Projeto Carajás foi iniciado em 1978, pela então Companhia Vale do Rio Doce, tendo a primeira mina entrado em operação oficialmente em 1985, com a inauguração das instalações de transporte e embarque de minério.

A Província Mineral Carajás (Figura 11) situa-se no núcleo de idade arqueana denominado Província Amazônica Central, com idade superior a 2.500 milhões de anos (BIZZI et al., 2001), no centro-norte do Estado do Pará. É considerada a segunda principal província mineral do Brasil, com produção e potencial crescente para Fe, Mn, Cu, Au, Ni, U, Ag, Pd, Pt e Os, entre outros.

Os depósitos de ferro da Província Mineral Carajás são tradicionalmente classificados em três

distritos, a saber: as Serras Norte, Sul e Leste onde ocorrem 39 corpos descontínuos de minério de alto teor. A Serra Norte é um distrito mineiro, contendo as minas N4 e N5, além dos depósitos N1 a N3 e N6 a N9. Sua espessura varia entre 250 e 300m, o comprimento entre 200m (N3, N6, N7 e N9) até 10Km (N4) e a terceira dimensão (extensão em profundidade, segundo o mergulho) pode atingir até 600m. Os depósitos da Serra Norte, estão localizados numa área delimitada pelas coordenadas geográficas: paralelos 6°00'S e 6°15'S e meridianos 50°05'W e 50°15'W. Outros depósitos de ferro também são distribuídos na Serra Sul (S), dentre os quais sobressai S11, cuja operação deverá ampliar consideravelmente a produção de minério na região, havendo a expectativa de sua duplicação (VALE).

Os depósitos estão localizados nas proximidades da cidade de Parauapebas, dentro da área da Floresta Nacional de Carajás (FLONACA). Seu acesso é realizado pela rodovia que liga Belém a Marabá e Cuiabá-MT (PA-150), seguindo a Trans-Carajás (PA-275) até o Núcleo Urbano de Carajás, num total de 700 km de extensão a partir de Belém. Um outro

acesso possível é pela ferrovia instalada pela Companhia Vale do Rio Doce, que liga o depósito de N4E ao Porto de Itaquí em São Luiz-MA, numa extensão de 887 km.

Na Província de Carajás, a unidade que hospeda as formações ferríferas e delinea a estrutura tectônica da região é o Grupo Grão-Pará que representa uma sequência vulcano-sedimentar de idade arqueana (2.751 ± 4 milhões de anos; KRIMSKY et al., 2002). Essa unidade hospeda camadas de formação ferrífera com expressivas intercalações de jaspilito. Jaspilito (ou jaspelito) é o termo usado para nomear formações ferríferas constituídas de jaspe e óxidos de ferro, sendo jaspe uma variedade de chert com finas inclusões de hematita que lhe conferem a cor vermelha. Em Carajás o principal alvo de exploração são grandes corpos de minério de alto teor ($Fe > 65\%$), de composição magnetítica/martítica e hematítica. Os minérios podem ser duros ou friáveis, apresentando estrutura maciça, bandada ou brechada, ocorrendo em diversos corpos e depósitos

ao longo das chamadas Serras Sul e Norte. Os corpos podem ser classificados geneticamente como de enriquecimento hidrotermal e supergênico. Minérios duros ocorrem como corpos descontínuos e veios no meio de grandes massas de minério friável a pulverulento. Localmente, encontram-se associados a rochas dolomíticas, mas a participação de alteração carbonática ainda é subestimada. As rochas vulcânicas subjacentes mostram intensa alteração em clorita e hematita de origem hidrotermal, ao longo do contato com os corpos de minérios, demonstrando a importância dos processos hidrotermais na formação dos corpos mineralizados (FIGUEIREDO e SILVA, 2008; LOBATO et al., 2008).

A produção anual de minério no complexo minerador de Carajás da VALE, a partir dos corpos N4W, N4E e N5, durante o ano de 2013, foi de 105 milhões de toneladas (VALE, 2013). Com a operação de lavra no gigantesco corpo S11 (Serra Sul), a empresa deverá aproximadamente duplicar sua produção.

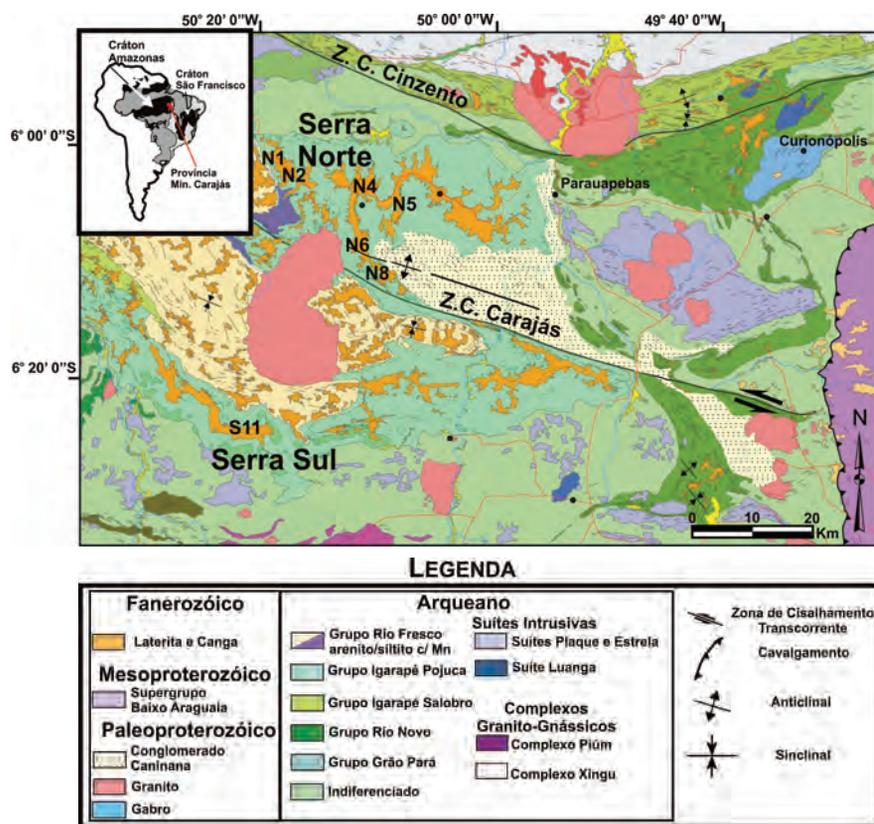


Fig. 11. Mapa geológico da Província Mineral de Carajás com a localização dos principais depósitos nas Serras Norte e Sul (N1, N2, N4, N5, N6 e N8 e S11). Extraído de LOBATO et al, 2005 a partir das interpretações de ROSIÈRE et al (2006) e SEOANE et al. (2004), baseado em imagens Landsat ETM7, RGB 321, 752, PC1-52 e dados de ARAÚJO; MAIA (1991) e CVRD (1996 e 2004). Litoestratigrafia adaptada com dados de campo de COSTA (2007) e PEREIRA(2009). Desenho: J.C.S. Seoane; C.A. Rosière.

Distrito de Urucum: O distrito de Urucum, ou Distrito Ferro-Manganesífero da região de Corumbá-Ladário, como é oficialmente conhecido, está localizado na zona fronteira com a Bolívia, próximo das margens do Rio Paraguai, nas adjacências da localidade de Corumbá, no Mato Grosso do Sul (Figura 12). A mineração começou nessa área em 1930, mas teve maior impulso vinte anos depois, na década de 50 e depois na década de 80, com a criação do Polo Mínero-Siderúrgico de Corumbá. O Distrito compreende os morros (ou morrarias como são regionalmente denominadas) de Tromba dos Macacos, Urucum, Santa Cruz, São Domingos, Grande, Rabichão e Jacadigo. Nesses morros em forma de mesa afloram as camadas sub-horizontais de forma-

ções ferríferas do tipo Rapitan, que compõem a Formação Santa Cruz, Grupo Jacadigo. Essas unidades foram depositadas na Bacia de Jacadigo, do tipo *rift* continental de idade Neoproterozóica, ocorrendo intercaladas com rochas ricas em Mn, associadas a sedimentos de geleiras (arenito e diamictitos) e cobertas por carbonatos. A composição das formações ferríferas é predominantemente hematítica, apresentando uma fina laminação definida pela alternância de *chert*/quartzo e apresenta estruturas primárias (sedimentares/diagenéticas), com concreções de SiO₂. Falhas deslocam as camadas no sentido vertical e contribuem para o desenvolvimento de morros chatos ou *plateaus*, cobertos pelas formações ferríferas.

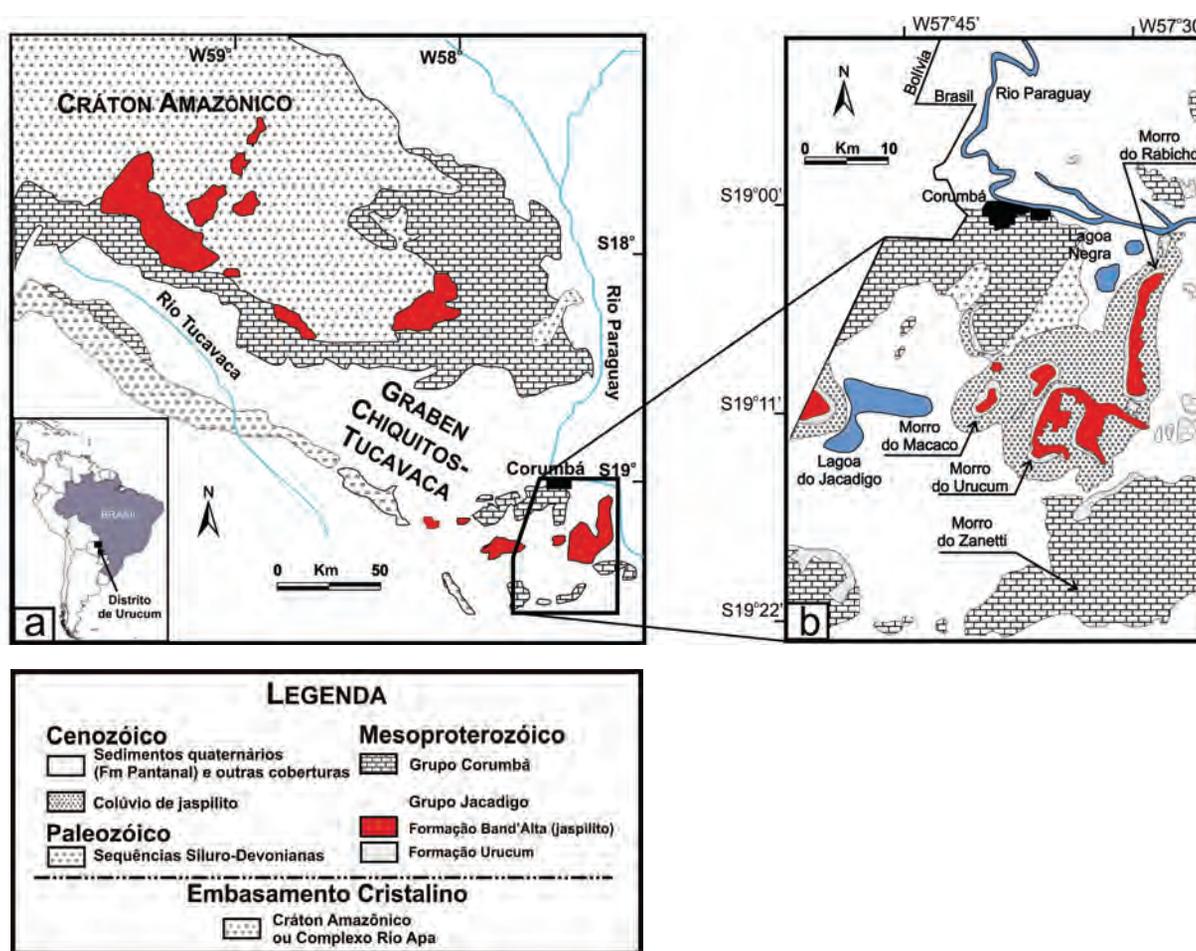


Fig. 12. Mapa geológico do Distrito de Urucum, em Mato Grosso do Sul, fronteira com a Bolívia. (a) mapa com o posicionamento geológico das seqüências metassedimentares com formação ferrífera dentro do quadro geotectônico regional. (b) Mapa de detalhe com a localização das morrarias onde afloram as formações ferríferas e manganesíferas. Em torno dos morros, ocorre um grande acúmulo de detritos, produto da erosão do jaspilito. Extraído de SCHOBENHAUS; OLIVA, (1979), URBAN et al. (1992), TROMPETTE et al. (1998), KLEIN; LADEIRA. (2004) e Mapa Geológico da Embrapa Pantanal, baseado em imagens TM-Landsat-5, WRS 227/73D, em papel fotográfico, composições coloridas bandas 2, 3 e 4 (15/5/1988), e 3, 4 e 5 (23/8/1995), na escala de 1:100.000; TM-Landsat-5, WRS 227/73D, em formato digital, bandas 3, 4 e 5 (21/6/1984); cartas topográficas, Folhas Corumbá (SE.21-Y-D-II, MI 2469) e Albuquerque (SE.21-Y-D-III, MI 2470) e cartas geológicas na escala de 1:1.000.000 (DEL'ARCO et al., 1982) e 1:250.000 (TRINDADE et al., 1997). Desenho: C.A. Rosière.

As formações ferríferas sofreram enriquecimento supergênico no Cenozóico, com o desenvolvimento de níveis de minério de alto teor (60 a 67% Fe) paralelos à atual superfície de erosão, que são lavradas de forma seletiva paralelamente ao acamamento. Enriquecimento supergênico ocorre por lenta lixiviação do *chert* através de águas superficiais e concentração do Fe na zona de oxidação durante longos períodos de soerguimento epirogênico (ascensão lenta dos continentes devido à sua baixa densidade). Especula-se a influência de um pré-enriquecimento de origem hipogênica/hidrotermal, mas evidências definitivas não puderam ser documentadas até o momento (URBAN et al., 1992; WALDE; HAGEMANN, 2007). Segundo o Anuário Mineral Brasileiro de 2010, editado pelo Departamento Nacional de Produção Mineral, as reservas são superiores a 3 bilhões de toneladas de minério com teor de 55% Fe. Pela sua elevada pureza o minério de alto teor associado tem sido vendido para redução direta. Em 2013 a VALE, principal detentora de direitos minerários na região, apresentou uma produção de 6,5 milhões de toneladas. Outras empresas que exploram o minério de ferro na região são a MMX e Vetria Mineração.

Outras áreas e depósitos em potencial: Diversos corpos menores, mas de considerável importância econômica, ocorrem nas diversas áreas cratônicas. Suas características geológicas e metalogenéticas, entretanto, ainda estão pouco conhecidas. De acordo com os dados do Anuário Mineral Brasileiro (2010), em Minas Gerais, fora do Quadrilátero Ferrífero e da Serra da Serpentina se destacam os depósitos do Grupo Macaúbas (antigo Projeto Porteirinha da VALE, atual Projeto Vale do Rio Pardo da Sul Americana de Metais SA), nas proximidades de Nova Aurora, com reserva de aproximadamente 2,5 bilhões de toneladas em sequência do tipo Rapitan e teor de 37,50%, diversos corpos na região de região de Guanhões com reservas de 345 milhões de toneladas, e os depósitos em Santa Maria de Itabira com 26 milhões de toneladas. Na Bahia os corpos mais expressivos estão em Catité (172 milhões de toneladas) e Sento Sé (234.000 toneladas). No Rio Grande do Norte ocorre o depósito de Jucurutú, onde são lavrados diversos corpos e que possui, segundo o DNPM, reservas de 141 milhões de toneladas de minério de teor de 28,10% Fe, embora os detentores dos direitos minerários informem valor superior a 300 milhões de toneladas. Nas proximidades de Jucu-

rutú, na Paraíba e em outros estados, ocorrem ainda um grande número de corpos de menor porte desmembrados pela tectônica transcorrente que atuou na região. No Amapá destacam-se ainda os corpos de Pedra Branca do Amapari, com reservas de 244 milhões de toneladas de minério e teor de 38,2% Fe.

Os principais projetos atualmente em fase de implantação são:

- Projeto Serra do Sul em Carajás (PA) com expectativa de produção inicial de 40,0Mt, chegando a 90,0Mt/ano em 2017.
- Projeto Minas Rio, da Anglo American, na Borda Leste da Serra do Espinhaço, em Conceição do Mato Dentro e Alvorada de Minas, Minas Gerais; com capacidade de produção inicial de 26,5Mt/ano.
- Projetos de Exploração da Manabi S.A., nos municípios de Morro do Pilar (capacidade de produção de 25,0Mt/ano) e Santa Maria de Itabira (6,0Mt/ano), em Minas Gerais.
- Projeto de ampliação da Vetria Mineração em Corumbá (MS) para atingir a produção de 27,5Mt/ano em 2016 com escoamento por ferrovia até Santos.
- Várias outras empresas de minério de ferro estão atualmente desenvolvendo projetos, tais como MMX, Ferrous Resources, além de empresas siderúrgicas como a Gerdau S.A., Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), Vallourec do Brasil S.A, Usiminas e Arcelor Mittal. Nesse cenário aparecem ainda empresas de pequeno a médio porte, tais como Crusader, Centaurus e outras. As reservas lavráveis de minério de ferro do Brasil, calculadas para o ano 2012, perfazem aproximadamente 20 bilhões de toneladas (DNPM/DIPLAM; USGS - Mineral Commodity Summaries – 2013), o que representa 11,7% das reservas mundiais, tendo a produção anual total durante aquele ano atingido 400,8 milhões de toneladas, com um teor médio de 64,4% Fe. Os principais estados brasileiros detentores de reservas de minério de ferro são: Minas Gerais (70,0% das reservas, teor médio de 46,9% Fe, e 69,2% da produção total do país), Mato Grosso do Sul (15,3%, teor médio de 55,4% Fe e 2,2% da produção) e Pará (13,1%, teor médio de 64,8% e 26,8% da produção). O Amapá produz 1,7% do minério de Fe do Brasil, embora suas reservas não sejam expressivas em relação aos outros estados.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece V. Rolim, L. Lobato, B. Simonson, M. Lima da Costa pelas valiosas contribuições. P. Rutkowski aperfeiçoou o desenho da Fig. 4. L. Travassos teve a infinita paciência de adequar as referências às normas da ABNT.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, O. J. B.; MAIA, R. G. N. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. Projeto especial mapas de recursos minerais, de solos e de vegetação para a área do Programa Grande Carajás: Subprojeto Recursos Minerais, Serra dos Carajás, Folha SB.22-Z-A. Brasília: DNPM/Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais-CPRM, 1991. 152 p.
- COHEN, K. M.; FINNEY, S.; GIBBARD, P. L. International Chronostratigraphic Chart. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 34, 2012.
- BARLEY, M. E.; KERRICH R.; KRAPEŽ, B.; GROVES D.I. The 2.72 2.60 Ga bonanza: Metallogenic and environmental consequences of the interaction between mantle plumes, lithospheric tectonics and global cyclicity. *Precambrian Research*, v. 91, p. 65-90, 1998.
- BARLEY, M. E.; PICKARD, A. L.; HAGEMANN, S. C.; FOLKERT, S. L. Hydrothermal origin for the 2 billion year old Mount Tom Price giant iron ore deposit, Hamersley province, Western Australia. *Mineralium Deposita*, v. 34, p. 784-789, 1999.
- BEKKER, A.; SLACK, J. F.; PLANAVSKY, N.; KRAPEZ, B.; HOFMANN, A.; KONHAUSER, K. O.; ROUXEL, O. J. Iron Formation: The Sedimentary Product of a Complex Interplay among Mantle, Tectonic, Oceanic, and Biospheric Processes. *Economic Geology*, v. 105, p. 467-508, 2010.
- BEUKES, N. J. Palaeoenvironmental setting of iron-formations in the depositional basin of the Transvaal Supergroup, South Africa. In: TRENDALL, A. F.; MORRIS, R. C. (Eds.) *Iron-formation: facts and problems*. Amsterdam: Elsevier, 1983. p. 131-209.
- BEUKES, N. J. The Transvaal Sequence in Griqualand West. In: ANHAEUSSER, C.R.; MASKE, S. (Eds.) *Mineral Deposits of Southern Africa*. Johannesburg: Geological Society of S. Africa, 1986. p. 819-828.
- BEUKES, N. J.; GUTZMER, J.; MUKHOPADHYAY, J. The geology and genesis of high-grade iron ore deposits. In: IRON ORE CONFERENCE, 2002, Perth, Western Australia. *Proceedings... Perth, Western Australia: Special AusIMM Publication Series n.7, /2002. p.23-29.*
- BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J. H.; BAARS, F. J.; DELGADO, I. M.; ABRAM, M. B.; LEÃO NETO, R. de; MATOS, G. M. M.; SANTOS, J. O. S. *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Sistema de Informações Geográficas - SIG e Mapas na Escala 1: 2.500.000*. 4.ed. Brasília: CPRM, 2001. 4 CDs-ROM.
- CLOUT, J.M.F.; SIMONSON, B.M., Precambrian iron formation and iron formation-hosted iron ore deposits: *Economic Geology*, v. 100, p. 643-679, 2005.
- COSTA, L. P. Caracterização das seqüências metavulcanossedimentares da porção leste da Província Mineral Carajás, Pará. 2007. 113f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- CVRD - Companhia Vale do Rio Doce. Resumo dos aspectos geológicos da Província Mineral Carajás. In: *Guia de Excursão. DIGEB/DEPAB/GIMB/SUMIC*, p.392-403, 1996.
- CVRD - Companhia Vale do Rio Doce. Atualização dos recursos e reservas provadas e prováveis das minas de N4 e N5. In: *Relatório de pesquisa. Departamento Nacional de Produção Mineral-DNPM*, v. 1, 2004, 197p.
- DALSTRA, H. J.; GUEDES, S. C. Giant hydrothermal hematite deposits with Mg-Fe metasomatism: a comparison of the Carajás, Hamersley and other ores. *Economic Geology*, v. 99, p. 1793-1800, 2004.
- DEL'ARCO, J. O.; SILVA, R. H.; TARAPANOFF, I., FREIRE, E. A., PEREIRA, L. G.; SOUZA, S. L., LUZ, D. S.; PALMEIRA, R. C. B.; TASSINARI, C. C. G. *Geologia. Projeto RADAMBRASIL, Folha SE.21 Corumbá. DNPM: Rio de Janeiro*, p.25-160, 1982 (Levantamento de Recursos Naturais, 27).
- DORR, J. V. N. Supergene ores of Minas Gerais, Brazil. *Economic Geology*, v. 59, p. 1203-1240, 1964.
- DORR, J. V. N. Nature and origin of the high-grade hematite ores of Minas Gerais, Brazil. *Economic Geology*, v. 60, p.1-46, 1965.
- DORR, J. V. N. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *USGS Professional Paper*, p.110-641, 1969. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/pp/0641a/report.pdf>>.
- EMBRAPA PANTANAL. Mapa de Geologia. Laboratório de Geoprocessamento, s./d. Disponível em: <www.cpap.embrapa.br/agencia/001bdado1.htm>.

ESCHWEGE, W. L. von. Geognostisches Gemälde von Brasilien und wahrscheinliches Muttergestein der Diamanten. Weimar: Landes-Industrie-Comptoir, 1822.

ESCHWEGE, W. L. v. Pluto brasiliensis Berlin: G. Reimer, 622 p., 1833

FIGUEIREDO E SILVA, R.C.; LOBATO, L.M.; ROSIÈRE, C.A.; GUEDES, S.C.; MONTEIRO, A.M.; MEIRELES, H.; MATIAS, P.H. Estudos petrográficos microscópicos e geoquímicos em jaspilites e minérios de ferro dos depósitos N1, N4E, N4W e N5E, Província Mineral Carajás, Pará. Anais... 1. Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral, Ouro Preto, Brazil, Agência para o Desenvolvimento Tecnológico da Indústria Mineral Brasileira (ADIMB), 2004, CD-ROM.

FIGUEIREDO E SILVA, R.; LOBATO, L. M.; ROSIÈRE, C. A.; ZUCCHETTI, M.; HAGEMANN, S.; ZUCCHETTI, M.; BAARS, F. J.; MORAIS, R.; ANDRADE, I. Hydrothermal origin for the jaspilite-hosted, giant Serra Norte iron ore deposits in the Carajás mineral province, Para State, Brazil. *Reviews in Economic Geology*, v.15, p. 255-290, 2008.

GRADSTEIN, F. M.; OGG, J. G.; SCHMITZ, M. D. et al. *The Geologic Time Scale*. Boston/USA: Elsevier, 2012.

GRENNE, T.; SLACK, J. F. Geochemistry of Jasper Beds from the Ordovician Løkken Ophiolite, Norway: Origin of Proximal and Distal Siliceous Exhalites. *Economic Geology*, n.100, p. 1511-1527, 2005.

GROSS, G. A. Tectonic systems and the deposition of iron-formation. *Precambrian Research*, v. 20, p. 171-187, 1983.

GRUNER, J. W. Hydrothermal oxidation and leaching experiments: Their bearing on the origin of Lake Superior hematite-limonite ores: Part II. *Economic Geology*, v. 25, p. 837-867, 1930.

GRUNER, J.W. Hydrothermal leaching of iron ores of the Lake Superior type—a modified theory. *Economic Geology*, v.32, p.121-130, 1937.

HAGEMANN, S. G.; BARLEY, M. E.; FOLKERT, S. L.; YARDLEY, B. W.; BANKS, D. A. A hydrothermal origin for the giant Tom Price iron ore deposit. In: STANLEY, C. J. et al. (Eds.). *Mineral deposits: Processes to processing*. Rotterdam: A.A. Balkema, p. 41-44, 1999.

HOLLAND, H. D. The oxygenation of the atmosphere and oceans. *Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological Sciences*, n.361, p. 903-915, 2006.

HUSTON, D. L.; LOGAN, G. A. Barite, BIF and bugs: Evidence for the evolution of the Earth's early hydrosphere. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 220, p. 41-55, 2004.

HARMSWORTH, R.A.; KNEESHAW, M.; MORRIS, R.C.; ROBINSON, C.J.; SHRIVASTAVA, P.K. BIF-Derived iron ores of the Hamersley Province. In: HUGHES, F.E. (Ed.). *Geology of the mineral deposits of Australia and Papua New Guinea*. Melbourne: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 1990. p. 617-642.

JAMES, H.L., Sedimentary facies of iron-formation: *Economic Geology*, v. 49, p. 235-293, 1954.

KLEIN, C. Diagenesis and metamorphism of Precambrian iron-formations. In: TRENDALL, A. F.; MORRIS, R. C. (Eds.). *Iron-formations: facts and problems*. Amsterdam/New York: Elsevier, 1983. p. 417-490.

KLEIN, C., Some Precambrian banded iron-formations (BIFs) from around the world: Their age, geologic setting, mineralogy, metamorphism, geochemistry, and origin: *American Mineralogist*, v. 90, p. 1473-1499, 2005.

KLEIN, C.; BEUKES, N. J. Geochemistry and sedimentology of a facies transition from limestone to iron-formation deposition in the Early Proterozoic Transvaal Supergroup, South Africa. *Economic Geology*, v. 84, p. 1733-1774, 1989.

KLEIN, C.; LADEIRA, E. A. Geochemistry and mineralogy of Neoproterozoic banded iron-formations and some selected, siliceous manganese formations from the Urucum District, Mato Grosso do Sul Brazil. *Economic Geology*, v.99, p.1233-1244, 2004.

KONHAUSER, K. O.; HAMADE, T.; RAISWELL, R.; MORRIS, R. C.; FERRIS, F. C.; SOUTHAM, C.; CANFIELD, D. Could bacteria have formed the Precambrian banded iron formations? *Geology*, v.30, p. 1079-1082, 2002.

KRYMSKY, R. Sh.; MACAMBIRA, J. B.; MACAMBIRA, M. B. J. Geocronologia U-Pb em zircão de rochas vulcânicas da Formação Carajás, Estado do Pará. In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 2, 2002, Belém. Anais... 2002, p.41.

LOBATO, L. M.; FIGUEIREDO E SILVA, R. C.; HAGEMANN, S.; THORNE, W.; ZUCCHETTI, M. Hypogene alteration associated with high-grade banded iron formation-related iron ore. *Reviews in Economic Geology*, v. 15, p. 107-128, 2008.

LOBATO, L. M.; ROSIÈRE, C. A.; FIGUEIREDO E SILVA, R. C.; ZUCCHETTI, M.; BAARS, F. J.; SEOANE, J. C. S.; RIOS, F. J.; PIMENTEL, M.; MENDES, G. E.; MONTEIRO, A. M. A mineralização hidrotermal de ferro da Província Mineral de Carajás—Controle estrutural e contexto na evolução metalogenética da província. In: MARINI, O. J.; QUEIROZ, E. T.; RAMOS, B. W. (Eds.). *Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia: Brasília: DNPM/CT-Mineral/FINEP/ ADIMB*, p. 25-92, 2005.

MORRIS, R. C. Supergene alteration of banded-iron formation. In: TRENDALL, A. F.; MORRIS, R. C. (Eds.). *Iron-Formation: facts and problems*. *Developments in Precambrian Geology* 6, Amsterdam: Elsevier, 1983. p. 513-534.

MORRIS, R. C. Genesis of iron ore in banded iron-formation by supergene and supergene-metamorphic processes - A conceptual model. In: WOLF, K. (Ed.). *Handbook of Stratabound and Stratiform Ore Deposits* 13, Amsterdam: Elsevier, 1985. p.73-235.

- PEREIRA, R. M. P. Geologia da Região Sul da Serra Norte e Características do Minério de Ferro do depósito N8, Província Mineral Carajás. 2009. 131f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
- PICKARD, A. L.; BARLEY, M. E.; KRAPEZ, B. Deep-marine depositional setting of banded iron formation: Sedimentological evidence from interbedded clastic sedimentary rocks in the early Palaeoproterozoic Dales Gorge Member of Western Australia: *Sedimentary Geology*, v. 170, p. 37-62, 2004.
- PINTO, C. P.; SILVA, L. C.; LEITE, C. A. Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, 1:1.000.000. Belo Horizonte: CPRM-CODEMIG, 2003. 1 CD-ROM.
- ROSIÈRE, C.A.; CHEMALE Jr. F. Textural and structural aspects of iron ores from the Iron Quadrangle, Brazil. In: PAGEL, M.; LEROY, J. L. (Eds.). Source, transport and deposition of metals: Proceedings of the 25 years Society for Geology Applied to Mineral Deposits Anniversary Meeting, Nancy, Balkema, 1991. p. 485-489.
- ROSIÈRE, C.A.; SIEMES, H.; QUADE, H.; BROKMEIER, H. G.; JANSEN, M. Microstructures, textures and deformation mechanisms in hematite. *Journal of Structural Geology*, v. 2/3, p.142.9-1440, 2001.
- ROSIÈRE, C.A.; RIOS, F.J. The origin of hematite in high-grade iron ores based on infrared microscopy and fluid inclusion studies: the example of the Conceição mine, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Economic Geology*, v. 99, p. 611-624, 2004.
- ROSIÈRE, C. A.; BAARS, F. J.; SEOANE, J. C. S.; LOBATO, L. M.; SILVA, L. L., SOUZA, S. R. C.; MENDES, G. E. Structure and iron mineralization of the Carajás province. *Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy*, sec. B, v.115, p. 126-136, 2006.
- ROSIÈRE, C. A.; SPIER, C. A.; RIOS, F. J.; SUCKAU, V. E. The itabirites of the Quadrilátero Ferrífero and related high-grade iron ore deposits: an overview. In: HAGEMANN, S.; ROSIÈRE, C. A.; GUTZMER, J.; BEUKES, N. (Eds.). Banded Iron Formation- Related High-Grade Iron Ore. *Reviews in Economic Geology* 15, Colorado, p. 223-254, 2008.
- SCHOBENHAUS, C; OLIVA, L.A. Carta geológica do Brasil ao milionésimo: folha Corumbá (SE-21), Brasília: DNPM, 1979. Escala de 1:1.000.000.
- SEOANE, J.C.S.; ROSIÈRE, C.A.; BAARS, F.J.; LOBATO, L.M. Mapeamento litoestrutural 3-D do Grupo Grão Pará, Província Mineral Carajás, PA. Anais... 1. Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral, Ouro Preto, Brazil, Agência para o Desenvolvimento Tecnológico da Indústria Mineral Brasileira (ADIMB), 2004, CD-ROM.
- SIMONSON, B. M. Sedimentological constraints on the origins of Precambrian iron formations. *Geological Society of America Bulletin*, v. 96, p. 244-252, 1985.
- SPIER, C. A.; OLIVEIRA, S. M. B.; ROSIÈRE, C.A. Geology and geochemistry of the Aguas Claras and Pico iron ore mines, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Mineralium Deposita*, v. 38, p. 751-774, 2003.
- TAYLOR, D.; DALSTRA, H. J.; HARDING, A.E.; BROADBENT, G. C.; BARLEY, M. E. Genesis of high-grade hematite orebodies of the Hamerley Province, Western Australia. *Economic Geology*, v. 96, p. 837-873, 2001.
- TRENDALL, A. F. The significance of iron-formation in the Precambrian stratigraphic record. In: ALTERMANN, W; CORCORAN, P.L. (Eds.). *Precambrian Sedimentary Environments: A modern approach to Ancient Depositional Systems*. International Association of Sedimentologists Special Publication 33, Blackwell, 2002. p. 33-66,
- TRENDALL, A. F.; BLOCKLEY, J. G. The Iron Formations of the Precambrian Hamersley Group, Western Australia, with special reference to the associated crocidolite: *Western Australia Geol. Survey Bull.*, v.119, 1970.
- TRINDADE, C.A.H.; TARAPANOFF, I.; POTIGUAR, L. Geologia. In: BRASIL Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal) - PCBAP. Diagnóstico dos meios físico e biótico: meio físico. Brasília: MMA, 1997. v.2, t.1, p.1-75
- TROMPETTE, R.; ALVARENGA, C. J. S.; WALDE, D. Geological evolution of the Neoproterozoic Corumba graben system (Brazil). Depositional context of the stratified Fe and Mn ores of the Jacadigo Group. *Journal of South American Earth Sciences*, v.11, p.587-597, 1998.
- URBAN, H.; STRIBRNY, B.; LIPPOLT, H. J. Iron and manganese deposits of the Urucum district, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Economic Geology*, v. 87, p.1375-1392, 1992.
- WALDE, D. H. G.; HAGEMANN, S. G. The Neoproterozoic Urucum/Mutum Fe and Mn deposits in W-Brazil/SE-Bolivia: Controversy of genetic models. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, v.158, p.45-55, 2007.
- WALKER, J. D.; GEISSMAN, J. W.; BOWRING, S. A.; BABCOCK, L. E. Geologic Time Scale v. 4.0. Geological Society of America, 2012.
- WEGGEN, J.; VALETON, I. Polygenetic lateritic iron ores on BIF's in Minas Gerais/Brazil. *Geologische Rundschau*, v.79, n.2, p.301-318, 1990.

A IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO FERRO



MARIA MÁRCIA MAGELA MACHADO

Universidade Federal de Minas Gerais

ÚRSULA DE AZEVEDO RUCHKYS

Universidade Federal de Minas Gerais



INTRODUÇÃO

O processo de valorização do ferro esteve atrelado inicialmente ao progresso das técnicas de fundição e, depois, da metalurgia em função do surgimento das ligas metálicas de alta resistência, notadamente o aço.

Hoje o ferro representa 95% em peso da produção mundial de metal. Devido ao seu baixo preço e dureza, é utilizado pelos mais diversos

setores da economia. Pode-se afirmar que a sociedade contemporânea é altamente dependente dele. Mas antes de assumir papel preponderante na economia, o ferro foi utilizado na confecção de adornos impregnados de simbolismo e o domínio de como forjá-lo trouxe tantos avanços à civilização humana que nomeou a última fase da Idade dos Metais.

O HOMEM E O FERRO NOS PRIMÓDIOS

Apesar de existir em abundância na crosta terrestre, o ferro só é encontrado em combinação com outros elementos, assim a fusão é essencial à sua utilização. Entretanto, sem conhecer esse processo, povos pré-históricos encontraram e trabalharam o ferro de meteorito, artefatos de ferro encontrados no Norte do Iraque foram datados em 5000 a.C. (TRISTÃO, 2012). Denominado siderito, o meteorito ferroso é constituído essencialmente por uma liga de ferro-níquel que, por ser metálico em seu estado nativo, é passível de ser moldado. A origem celeste do ferro era conhecida, tanto que ficou registrada no vocábulo mais antigo que se tem notícia para designá-lo: AN.BAR. Essa palavra suméria é constituída pelos signos pictográficos “céu” e “fogo” e é traduzida como metal celeste ou metal-estrela (ELIADE, 1983).

A tese de que durante um período longo no Antigo Egito só o ferro de meteorito era conhecido, ganhou força recentemente. Um grupo de cientistas do Reino Unido, mais precisamente da Universidade

Aberta – Campus Milton Keynes e da Universidade de Manchester, analisou uma das nove contas de ferro encontradas em 1911 num cemitério de aproximadamente 3300 a.C., em Gerzeh, cerca de 70 quilômetros ao sul do Cairo e constatou ser ela um fragmento de meteorito de ferro trabalhado a frio. Por meio de combinação de microscopia eletrônica de varredura e micro tomografia de raios-X foi constatado que os fragmentos de metal mantiveram sua química original de aproximadamente 30% em peso de níquel e a análise microestrutural mostrou um padrão conhecido como Widmanstätten, ambas são características do ferro de meteoritos, sendo a segunda resultante de um resfriamento incrivelmente lento durante a trajetória no espaço (Figura 1). Os resultados também permitiram aos cientistas concluir que o fragmento de ferro do meteorito foi golpeado até se tornar uma placa fina, que depois foi curvada ganhando a forma tubular (Figura 2). Esse trabalho a frio foi responsável pela deformação estrutural constatada (JOHNSON et



Figura 1- Imagem da conta de Gerzeh sobre a lâmina que mostra seu padrão estrutural Widmanstätten.
Foto: JOHNSON; TYLDESLEY, 2013.

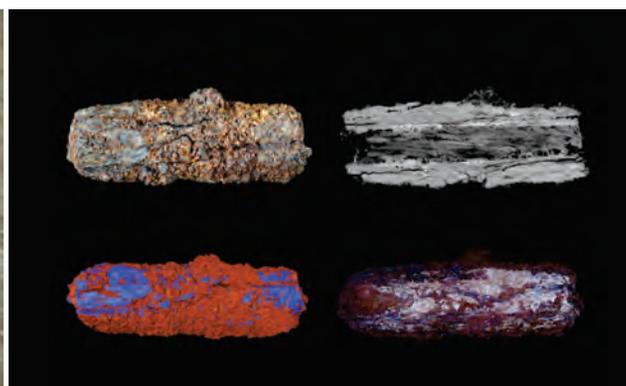


Figura 2 - Imagens da conta de Gerzeh mostrando os resultados dos ensaios. A imagem inferior à direita apresenta as áreas de alto teor de níquel em azul e a superfície oxidada em vermelho. A imagem superior à direita mostra claramente a estrutura tubular. Foto: JOHNSON; TYLDESLEY, 2013.

al., 2013). A relevância dos resultados desse estudo, como os próprios cientistas ressaltam, vai além da conclusão de que o primeiro exemplo conhecido de artefato de ferro no Egito foi produzido a partir de um meteorito, mas que sua origem celestial tem implicações tanto para a sua percepção pelos antigos egípcios, quanto para o entendimento da evolução do conhecimento metalúrgico no Vale do Nilo.

Segundo Johnson e Tyldesley (2013), o céu era muito importante para os antigos egípcios, o que viesse dele era considerado presente dos deuses e, como tal, o ferro devia ser reservado à realeza. Raro, o que lhe imprimia alto valor, o ferro era usado na produção de pequenos objetos religiosos com tal significado que acompanhavam seus donos após a morte, sendo colocados dentro dos túmulos.

O ferro conservou o caráter eminentemente sagrado até que, com a descoberta da fusão de seus minérios, deixou de ser escasso, passou a servir de matéria prima para utilitários e mudou, consideravelmente, o desenvolvimento da civilização de forma a justificar a inauguração da última fase da Idade dos Metais. No entanto, a funcionalidade dos artefatos que passaram a ser produzidos não impede, de modo algum, que muitos deles tenham possuído também caráter simbólico-religioso ou social (TRISTÃO, 2012).

Achados arqueológicos apontam que a produção do ferro começou na região da Anatólia, atual Turquia, a mesma onde se acredita que o cobre foi primeiramente trabalhado. Assim como o cobre e o bronze, a teoria mais aceita é que a descoberta do processo de fusão do minério de ferro também tenha sido acidental. Suspeita-se que nos fornos de fundição de cobre e bronze, onde minerais como a hematita, limonita e magnetita já eram usados para ajudar a eliminar impurezas, tenham sido gerados pequenos resíduos de ferro

quase puro, a partir dos quais começaria o conhecimento da siderurgia. Outras fontes indicam que os chineses já produziam peças de ferro fundido em temperaturas mais elevadas, obtidas em fornos de carvão soprados por foles, por volta de 1000 a.C. (RIBEIRO, 2008). Seja como for, a utilização do ferro como matéria prima trouxe impactos profundos na evolução da civilização.

Atualmente considera-se ferramenta qualquer instrumento que permite realizar determinado ofício ou arte e sua criação vem da necessidade de vencer um obstáculo. Tristão (2012) lembra que esta capacidade de criação de artefatos para tornar mais fácil e rápida a execução de determinada tarefa “encontra-se intrinsecamente associada à própria definição de existência humana e à sua evolução”. Acrescenta que a palavra ferramenta é derivada etimologicamente do latim ferramenta, originalmente utensílio de ferro, e que “esta junção entre utensílio e ferro, em expressão única utilizada ainda hoje, permite compreender a importância que teve na Antiguidade o ferro, enquanto matéria-prima, capaz de proporcionar novos artefatos com importância econômica determinante”. Entre eles, sem dúvida sobressaem os utensílios agrícolas que permitiram o aumento da produção e as armas que “tiveram papel muito significativo na evolução das sociedades, pois com o domínio cada vez maior de determinados recursos e bens, nasceu a necessidade de defesa” (TRISTÃO, 2012). A adição de estanho ou arsênio ao cobre, formando o bronze, havia aumentado a dureza do metal e permitido a produção de armas e armaduras de alta resistência. Entretanto, eram considerados artigos de luxo e seu uso não era estendido a soldados ou plebeus. O ferro democratizou as armas e armaduras, servindo de instrumento de poder e domínio.

O FERRO E AS REVOLUÇÕES TECNOLÓGICAS

O processo de obtenção do ferro, devido ao fato de ser de baixo custo e não haver, em geral, problema para obtenção de minérios, teve aumento significativo e se difundiu. Primeiro no Oriente Próximo com as movimentações populacionais e, depois, por rotas comerciais, chegou à Europa. Inclusive, de forma prematura ao Sul da Península Ibérica presumivelmente em função de sua localização entre o Mediter-

râneo e o Atlântico (SILVA; GOMES, 1992).

Entretanto, durante a Idade Média, não houve avanço nas técnicas de redução do minério de ferro de forma a possibilitar a obtenção do metal em forma líquida para correr para um molde. Um aprimoramento expressivo foi desenvolvido na Espanha, no século VIII, e incorporado notadamente pela Alemanha, Inglaterra e França, dominando a produção do

ferro até o século XV. Considerado o embrião dos altos-fornos, o aperfeiçoamento implementado na fundição que ficou conhecida como forja catalã consistiu basicamente na substituição da ventilação natural por um sistema de foles para bombear o ar para o interior, inicialmente manual e depois por força hidráulica. Esta inovação aumentou de forma significativa tanto a produção quanto a qualidade. Contudo, o ferro continuou sendo obtido em fornalhas e forjas como uma massa pastosa e a produção de bens permaneceu artesanal.

A fabricação dos bens de produção e consumo em escala industrial teve início no século XVIII, gerou grandes transformações econômicas, políticas e sociais que passaram para história como Revolução Industrial. Um fator importante para que esse processo de mecanização da produção tivesse lugar primeiro na Inglaterra foi a existência ali de grandes jazidas de ferro e carvão mineral, matérias-primas indispensáveis à confecção de máquinas e à geração de energia. Entretanto, é certo que as inovações tecnológicas no processamento do minério de ferro e as consequências advindas delas foram preponderantes para a industrialização e supremacia econômica inglesa à época.

De acordo com Conceição (2012), “a profunda relação entre mudança tecnológica e desenvolvimento econômico é amplamente reconhecida na teoria econômica”. Este autor resgata e analisa a teoria de desenvolvimento econômico de Joseph Schumpeterque, segundo ele, entende-se que “o processo de desenvolvimento econômico surge como resultado da introdução progressiva de novas tecnologias que mudam as formas de produzir e exigem o emprego de recursos existentes em novas maneiras”.

A introdução do alto-forno nas fundições; a produção de ferro pelo “refino” do ferro-gusa; a obtenção do ferro-gusa a partir do coque, tecnologia introduzida pela família inglesa Darby; o processo de produção de aço de qualidade, uniforme em razoável quantidade, criado pelo inglês Benjamin Huntsman, por volta de 1740; os aprimoramentos que tornaram o ferro fundido com coque tão trabalhável quanto o ferro fundido com carvão e permitiram a difusão desse processo em todo o Reino Unido libertando a indústria de ferro inglesa da dependência do carvão vegetal, feitos por outro inglês, Henry Cort, que também inventou e patenteou, em 1783, os primeiros

laminadores para a fabricação de perfis redondos, resultaram em saltos de escala de produção, economia de combustível, índices de produtividade antes inimagináveis, e impactando de tal forma a indústria inglesa que, em fins do século XVIII, a Inglaterra passou a exportar, e logo depois, atingiu a supremacia mundial na produção de ferro (NOLDIN Jr., 2002).

As transformações profundas na estrutura produtiva e na economia inglesa proporcionadas pela indústria de transformação do ferro continuaram impactando todo o mundo. Em 1856, o inglês Henry Bessemer, criou um processo que permitiu definitivamente a produção industrial de aço em larga escala. O conversor Bessemer (Figura 3) permitiu a transformação do ferro-gusa fundido, por oxidação, em aço líquido, cujas propriedades e preço viabilizaram a difusão de seu uso e o aparecimento de novas indústrias.

Segundo Perez (2004), existe um insumo chave (*keyfactor*), normalmente uma fonte de energia ou um material fundamental, a cada revolução tecnológica que, ao se tornar de baixo custo e amplamente disponível, abre uma vasta gama de possibilidades, fazendo surgir novas indústrias e infraestruturas. Não há consenso sobre quantas e quais foram as revoluções tecnológicas ocorridas na história da humanidade; pelo contrário, existem várias e consistentes propostas. A visão dessa autora explicita a importância histórica e econômica do ferro. Segundo ela, o processo de desenvolvimento tecnológico, ocorreu em cinco fases e o ferro foi insumo chave na primeira delas, a Revolução Industrial, e na segunda, que ela denominou “era do vapor e ferrovias”. Entretanto, conforme pode ser observado no Quadro 1 apresentado a seguir, sem o ferro as duas revoluções tecnológicas seguintes não aconteceriam: não há aço e nem produção em massa de automóveis sem ferro. O ferro só perde a soberania na última fase, ainda corrente, onde a microeletrônica assume o protagonismo.

As produções de ferro e aço cresceram quase exponencialmente de 1870 até os dias de hoje. Nesse período, vários avanços tecnológicos, possibilitaram maior produtividade. Simultaneamente com o aumento da produtividade, ocorreu uma diversificação dos tipos de aço produzidos e uma melhoria na sua qualidade (CAVALCANTI, 2012).



Figura 3- Conversor Bessemer, Kelham Island Museum, Sheffield,UK.. Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bessemer_5180.JPG?uselang=pt-br#filelinks

Revolução Tecnológica	Insumo-chave	Novas tecnologias e indústrias
1^a Revolução Industrial (1780-1840)	Fio de algodão Ferro	Mecanização da indústria têxtil Maquinário em geral
2^a Era do vapor e ferrovias (1840- 1890)	Carvão Ferro	Motores e máquinas a vapor, feitas de ferro e abastecidas com carvão mineral, construção de ferrovias
3^a Era do aço e engenharia pesada (1890 -1940)	Aço	Barateamento e difusão do uso do aço na indústria pesada, inclusive na construção civil e indústria de equipamentos elétricos, cabos, papel e embalagens.
4^a Era do petróleo, automóveis e produção em massa (1940-1990)	Petróleo Gás Natural	Produção em massa de automóveis, combustíveis de petróleo, motor a combustão interna, eletricidade e eletrodomésticos
5^a Era da informação e comunicação (1990 -?)	Microeletrônica	Computador, chip, softwares, telecomunicações (cabo, fibra ótica, rádio e satélite, internet)

Quadro 1- Revoluções Tecnológicas, insumos chave e novas tecnologias e indústrias, de acordo com Perez, 2004

A ENTRADA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO NO CENÁRIO MUNDIAL

Há muito já se sabia tanto da existência de ferro como de manganês na região centro-sudeste de Minas Gerais, hoje mundialmente conhecida como Quadrilátero Ferrífero. Pesquisadores, que passaram por Minas Gerais durante o século XIX, certificaram a abundância de ferro na região. O alemão Barão de Eschwege, por volta de 1811, identificou a ocorrência desses dois minérios e instalou a “Fábrica Patriótica”, em Congonhas do Campo, que produziu ferro pela primeira vez em 12 de dezembro de 1812 e funcionou até por volta de 1822. Foi o primeiro estabelecimento a produzir ferro em escala industrial no Brasil, o que o distinguiu dos outros empreendimentos desse gênero existentes à época, pequenas forjas que produziam por métodos primitivos e, quase que exclusivamente, por força braçal (SOMMER, 1952).

Na virada do século XIX para o XX, o interesse dos países produtores de aço, principalmente a Inglaterra, pelas jazidas de ferro do Quadrilátero Ferrífero já era patente. Em 1902, o geólogo inglês Herbert Kilburn Scott, depois de uma estada em Minas Gerais fazendo pesquisas, publicou dois artigos sobre os depósitos de ferro de Minas, *The iron ores of Brazil*, em Londres, e *Iron ores of Brazil*, em Nova York. Além de apresentar um mapa localizando alguns dos principais depósitos, descreve as características químicas do minério de ferro e divide o minério primário em “minério de hematita maciça”, para o qual atribui um teor de ferro da ordem de 60 a 70%, e o “xisto micáceo ferrífero ou itabiritos” (Scott, 1902). Outro inglês, J. Thomas Richards, também publicou suas *Notes on the iron ore deposits of Brazil*, em Londres, 1902.

Oliveira (1934) registrou a intensa aquisição de jazidas de minério de ferro por estrangeiros entre 1905 e 1920. A constituição republicana de 1891 havia aberto essa prerrogativa. No que refere ao direito de propriedade das minas, o chamado sistema domínial vigente durante o Império, no qual o subsolo pertence à nação, foi substituído pelo sistema norte-americano, submetendo a propriedade das minas à da superfície. Assim, em 1909, o grupo inglês *Brazilian Hematite Syndicate*,

organizado por capitalistas ingleses, já era proprietário de parte das jazidas de ferro de Itabira e também da maioria das ações da Companhia Estrada de Ferro Vitória a Minas - CEFVM, tanto que alterou completamente o projeto original da tão ambicionada ferrovia de ligação de Minas ao litoral, segundo seu interesse para transporte do minério, diminuindo o custo do frete. Em 1911, o empresário norte-americano Percival Farquhar assumiu o controle acionário do *B. H. Syndicate* e rebatizou a empresa com o nome de *The Itabira Iron Ore Company*. As outras minas de ferro de Itabira pertenciam à norte-americana *Brasilian Iron and Steel Company* (MACHADO, 2008).

Em 1909, foi veiculado no *The Times*, Londres, e no *Eng. Min. Journal*, Nova York, um pequeno artigo do norte americano Orville Adalbert Derby, que residia no Brasil, sobre as reservas de minério de ferro. Foi um prenúncio da comunicação que faria ao mundo, no ano seguinte. Realmente o trabalho que causou mais impacto foi o artigo que Derby submeteu, em 1910, ao XI Congresso Internacional de Geologia, realizado em Estocolmo.

Havia, à época, notadamente por parte dos países produtores de aço, uma grande preocupação com o esgotamento das reservas mundiais de ferro, sendo esse o tema do Congresso. Na publicação organizada pelo Comitê Executivo sob o título *The iron ore resources of the world*, a chamada para os resumos dos trabalhos apresentados não era o título, nem o autor, mas o país. Pelos números exibidos por Derby, o mundo então tomou conhecimento das imensas reservas de minério de ferro de Minas Gerais.

Nesse trabalho, intitulado *The Iron Ores of Brazil*, Derby apresentou uma estimativa para as reservas de minério de ferro da região central em Minas Gerais da ordem de 5710 Mt, enfatizando que esse valor provavelmente seria multiplicado muitas vezes em se tratando de Brasil, uma vez que essa era a única área até então investigada no país. Desse total, 2000 Mt seriam de minério “*in situ*” naturalmente exposto na rocha, ocupando

posições topográficas proeminentes, com baixo fósforo e com teores de ferro de 50 a 70%, ao qual denominou *Quarry ore*; outras 2000 Mt seriam de minério rolado, produto da denudação do *Quarry ore*, o *Rubble ore* (itabiritos), com cerca de 50% de ferro; e o restante, 1710Mt, de *Canga*, o conglomerado ferrífero formado pela cimentação do *Rubble ore* por limonitização. Desconsiderando a categoria por ele designada *Sandy ore*, minério erodido posicionado nos vales.

A comunicação inclui dois mapas. O primeiro é de localização da área em relação ao litoral e das vias de comunicação entre essas duas regiões. Derby detalha no texto os trechos da ferrovia existentes, em construção e projetados, da região até o porto de Vitória - ES, buscando, evidentemente, esclarecer a viabilidade de exportação do minério de ferro (Figura 4). A área de aproxima-

damente 5.700km² coberta por formações ferríferas é apresentada no segundo mapa. Trata-se exatamente da imagem do Quadrilátero Ferrífero com suas feições geológicas principais e os depósitos de minério de ferro localizados até então (Figura 5). Como exemplo de o que poderia se esperar em termos de reservas, Derby apresentou o volume de minério estimado de nove depósitos totalizando 247.000.000 m³. Utilizando uma densidade de 4 g/cm³ para o minério, chegou a reservas da ordem de 988 Mt.

Uma iniciativa semelhante à do Congresso de Estocolmo, um balanço das riquezas de minério de ferro mundiais, foi realizada, em 1952, no XIX Congresso Internacional de Geologia sediado na Argélia. As jazidas de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero foram novamente apresentadas.

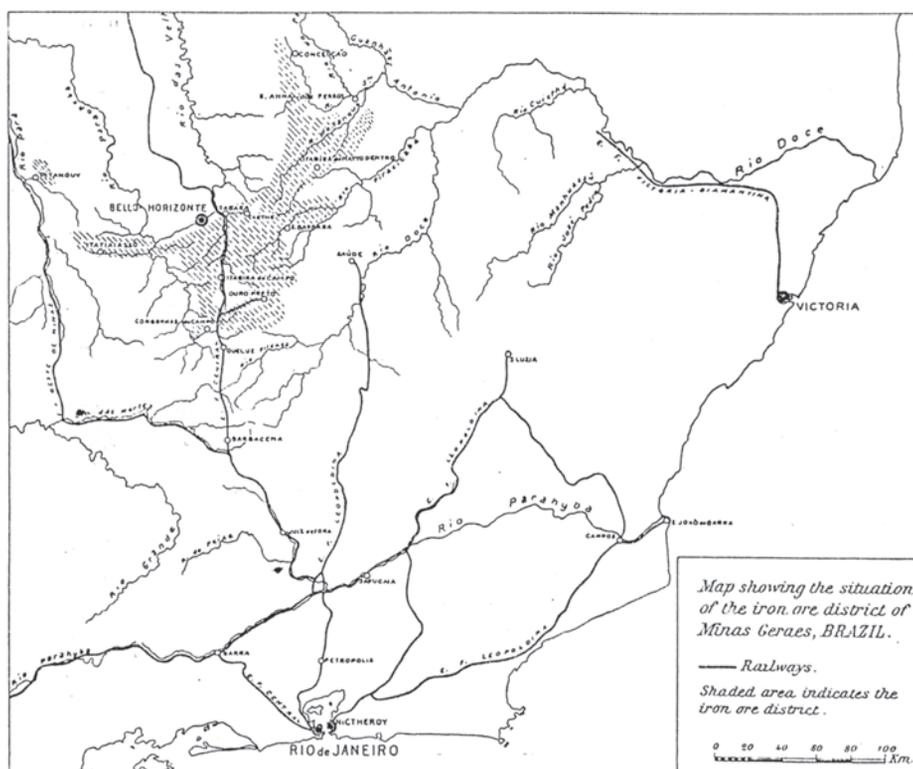


Figura 4 - Mapa de localização da região ferrífera de Minas Gerais em relação ao litoral e dos meios de comunicação entre essas duas regiões (DERBY, 1910).



Figura 5 - Mapa do distrito ferrífero do centro de Minas Gerais com a localização dos maciços de minério de ferro compacto (DERBY, 1910).

O PAPEL DO MINÉRIO DE FERRO NA INDUSTRIALIZAÇÃO BRASILEIRA

Com a intensificação e diversificação do processo de industrialização, principalmente pós-Primeira Grande Guerra e consequente aumento da demanda por combustível e matéria-prima, a questão da siderurgia nacional ganhou outra dimensão. Mais do que uma demanda do setor industrial, a implementação da produção de ferro e aço no Brasil era também uma preocupação do governo por causa do peso das importações desses produtos na balança comercial. Tinha ainda uma antiga reivindicação do setor agrícola, para o qual o ferro é essencial, e que havia crescido na proporção da importância do café na economia.

A questão é que o Brasil não possuía levantamento detalhado de suas reservas e nem dispunha

de recursos para o grande investimento que se fazia necessário para viabilizar a lavra, o processamento e o transporte para exportação ou a implantação de uma grande siderúrgica, nem tampouco tecnologia.

Em 1937, o então presidente Vargas fechou o Congresso e instituiu o Estado Novo — uma nova Constituição foi promulgada. Com relação às atividades de mineração, a Nova Carta reforçou o conteúdo nacionalista da Constituição de 1934 determinando, pelo art. 143 inciso 1º, que as empresas de mineração deveriam ser constituídas por acionistas brasileiros. Logo, ficava impedida a exploração de riquezas minerais por companhias estrangeiras. Nesse sentido, havia um interesse especial de Var-

gas em acabar com o monopólio exercido pelo grupo inglês *Itabira Iron Ore Company*, sucessor do *Brazilian Hematite Syndicate*, proprietário das jazidas de Cauê, Conceição, Sant'Ana e Giraus e sócio majoritário da estrada de ferro Vitória-Minas (EFVM). A *Itabira Iron Company* se adaptou à nova legislação transformando-se na Companhia Brasileira de Mineração e Siderurgia - CBMS.

Em 1940, passados 37 anos do início da construção, com mudanças de traçado e interrupções, os trilhos da EFVM finalmente chegaram a Itabira possibilitando a CBMS negociar boa parte de sua produção com siderúrgicas americanas, iniciando a exploração do minério de ferro no Pico do Cauê, o qual passou a ser exportado pelo porto de Vitória (Figuras 6 e 7).

O advento da Segunda Grande Guerra Mundial acentuou a política de industrialização. As importações se tornaram difíceis, não só pela escassez, como também pelos ataques que os navios mercantes sofriam nos oceanos. Por outro lado, os países envolvidos no conflito demandavam matérias primas, abrindo mercado para certos produtos minerais brasileiros, como manganês, quartzo, muscovita, monazita e, especialmente, minério de ferro e seus produtos industrializados. O Estado passou então a dirigir especial atenção ao setor

mineral e siderúrgico no sentido de viabilizar a produção de matérias-primas básicas, visando suprir o setor industrial nacional e o mercado externo.

A necessidade premente do minério de ferro brasileiro para o esforço de guerra dos aliados viabilizou amplas negociações para implantação da infraestrutura necessária à sua exploração, transporte e beneficiamento. Em 1940, foi assinado o Acordo de Washington entre o Brasil e os países aliados, pelo qual, além de outras regulamentações que não dizem respeito à mineração, houve a cessão ao governo brasileiro das minas de Itabira e da EFVM, compromisso de apoio financeiro para construir uma moderna indústria siderúrgica e, em contrapartida, o Brasil se comprometia a vender toda a sua produção de minério de ferro a americanos e britânicos a um terço do preço internacional (por um prazo de três anos, renováveis) até o final do conflito. Assim, em 1942 nasceram as empresas estatais Companhia Siderúrgica Nacional – CSN (Figura 8) e a Companhia do Vale do Rio Doce – CVRD. Ainda para impulsionar a industrialização, foram criadas pelo Estado Novo, em 1943, a Companhia Nacional de Álcalis e a Fábrica Nacional de Motores e, em 1945, foi constituída a Companhia Hidrelétrica do São Francisco.



Figura 6 - Vista de edificações da Companhia Vale do Rio Doce e do Pico do Cauê, Itabira-MG, 1946. Foto: Autor não identificado - Acervo do Arquivo Público Mineiro



Figura 7 - Vista aérea da mineração no Pico do Cauê, Itabira - MG, 1947. Foto: Autor não identificado - Acervo do Arquivo Público Mineiro



Figura 8 - Vista geral da Companhia Siderúrgica Nacional, Volta Redonda -RJ.
Foto: Tibor Jablonsky
Acervo Iconográfico do IBGE.

CENÁRIO ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS

O ferro, como insumo essencial a praticamente todos os ramos do setor industrial e por ter distribuição irregular na crosta terrestre, tem ao mesmo tempo enorme dimensão econômica e caráter internacional. Como qualquer produto, de forma simplista, pode-se dizer que seu mercado funciona sob a “lei da oferta e demanda”, um dos princípios básicos da teoria econômica.

A oferta pode ser dimensionada sob a ótica das reservas ou da produção. As reservas mundiais de minério de ferro estão estimadas em 170 bilhões de toneladas, concentradas, principalmente, na Austrália, Brasil, China e Rússia. Entretanto, ao se rela-

tivizar as reservas em função do teor médio de ferro contido nos minérios, o Brasil praticamente alcança a Austrália com cada um detendo em torno de 20% das reservas de ferro mundiais. A Rússia assume o terceiro lugar com 17% e as reservas da China passam a representar em torno de 9% do total, contra os 13,5% originais, conforme pode ser observado na Tabela 1 (USGS, 2014). Minas Gerais detém 70% das reservas nacionais com teor médio de ferro de 46,9%, seguido por Mato Grosso do Sul, com 15,3% e teor de 55,4%, e o estado do Pará, cujas reservas representam 13,1% do total brasileiro e têm teor médio de 64,8% (DNPM, 2013).

Tabela 1 – Reservas de minério de ferro por país em 2012.

Reservas Países	Minério Bruto		Conteúdo de Ferro	
	Milhões de toneladas	%	Milhões de toneladas	%
Austrália	35.000	20,6	17.000	20,0
Brasil	31.000	18,2	16.000	19,8
Rússia	25.000	14,7	14.000	17,3
China	23.000	13,5	7.200	8,9
Índia	8.100	4,8	5.200	6,4
Estados Unidos	6.900	4,1	2.100	2,7
Ucrânia	6.500	3,8	2.300	2,8
Canadá	6.300	3,7	2.300	2,8
Venezuela	4.000	2,4	2.400	3,0
Suécia	3.500	2,0	2.200	2,7
Outros	20.700	12,2	10.300	12,7
Total	170.000	100,0	81.000	100,0

Fonte: Adaptado de USGC, 2014.

É interessante mencionar que os valores concernentes às reservas são dinâmicos. Eles podem ser reduzidos à medida que o minério é extraído ou a viabilidade de extração diminui, ou, pelo contrário, eles podem aumentar se novos depósitos são descobertos ou se a conjuntura econômica e o avanço tecnológico possibilitam a exploração de depósitos até então inviáveis. E é exatamente isto que vem ocorrendo nas últimas décadas. Mesmo com a crescente exploração, a magnitude das reservas tem aumentado de modo significativo, seja em função de resultado de pesquisas geológicas, seja pela exploração e beneficiamento de minérios de baixo teor cujo valor de mercado compensa os custos. Por exemplo, entre 1980 e 2005, as reservas brasileiras tiveram aumento de 115%, dobrando as reservas conhecidas no estado de Minas Gerais (MME, 2009).

Os países que detêm as maiores reservas também são os principais produtores. Juntos, Austrália, Brasil, China, Rússia e Índia foram responsáveis por 2,6 bilhões do total de 3 bilhões de toneladas de minério de ferro produzidas em 2012. O Brasil produziu 13,3% desse total, 400 milhões de toneladas, sendo que Minas Gerais foi responsável por, aproximadamente, 70% dessa produção (DNPM, 2013).

Desde 2010, a indústria extrativa de minério de ferro brasileira já havia mostrado forte recuperação da queda provocada pela recessão mundial de 2008/2009 (-15%), com um aumento de 24,7% em relação ao ano anterior. De 2010 para 2011 o crescimento foi menor, mas considerável, 7,0%. Já em 2011, a economia mundial teve um crescimento econômico inferior a 2010, devido principalmente à instabilidade financeira associada à crise das finanças públicas e possíveis perdas do setor bancário na área do euro e afetou, indiretamente, a indústria extrativa mineral brasileira que após crescer 13,6% em 2010, teve em 2011, segundo o IBGE, um aumento de 3,2%. Nesta pequena expansão do setor mineral, o Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, destaca o aumento da extração de minério de ferro (DNPM, 2012).

A variação de 56,22%, entre 2011 e 2010, na arrecadação da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais - CFEM¹ para o minério de ferro evidencia o crescimento da produção. Por sua vez, a análise da arrecadação de 2011, por substância, explicita a proeminência da extração de minério de ferro frente a outras substâncias minerais (Figura 9).

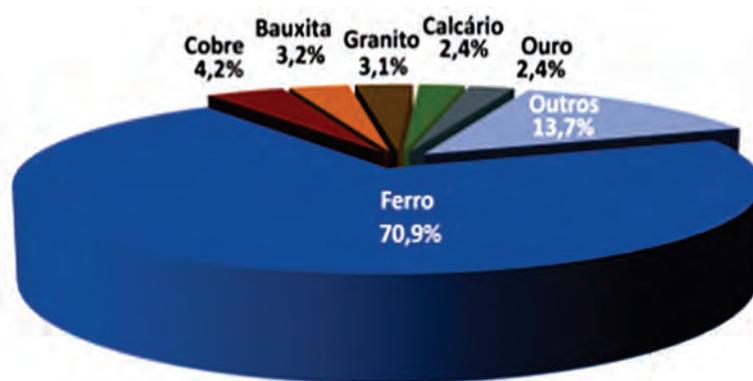


Figura 9 - Arrecadação da CFEM por substância - 2011. Fonte: DNPM 2012.

O Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM prevê um crescimento de 122% para a produção de minério de ferro até 2016. Excluindo o potássio, cuja produção terá expansão extraordinária em função das

reservas de grande porte descobertas, segundo a previsão, a produção de nenhum outro mineral crescerá nem mesmo a metade do estimado para o minério de ferro, conforme pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 - Crescimento da produção mineral até 2016.

Mineral	Produção em 2011 (1.000 ton) (A)	Acréscimos até 2016 (1.000 ton) (B)	Produção Prevista em 2016 (C) = (A+B)	Varição (C/A)
Agregados	673.000	176.000	849.000	26%
Ferro	369.000	451.000	820.000	122%
Bauxita	31.000	7.000	38.000	23%
Manganês	2.600	400	3.000	15%
Fosfato	1.800	700	2.500	39%
Cobre	400	200	600	50%
Potássio	290	2.110	2.400	728%
Zinco	285	55	350	23%
Nióbio	90	30	120	33%
Níquel	70	30	100	43%
Ouro	0,066	0,029	0,095	44%

Fonte: IBRAM Estimativas 2012.

A demanda e o preço de mercado justificam não apenas este aumento da produção de minério de ferro como os altos investimentos previstos para o setor. Dos previstos 75 bilhões de dólares a serem investidos no período 2012/2016, perto de 46 bilhões, 60% do total, deverão ser

investidos na produção de minério de ferro. A supremacia do ferro é de tal ordem que o segundo colocado nesse ranking de investimentos é o potássio que, conforme a estimativa, vai receber aproximadamente seis vezes menos (Figura 10).

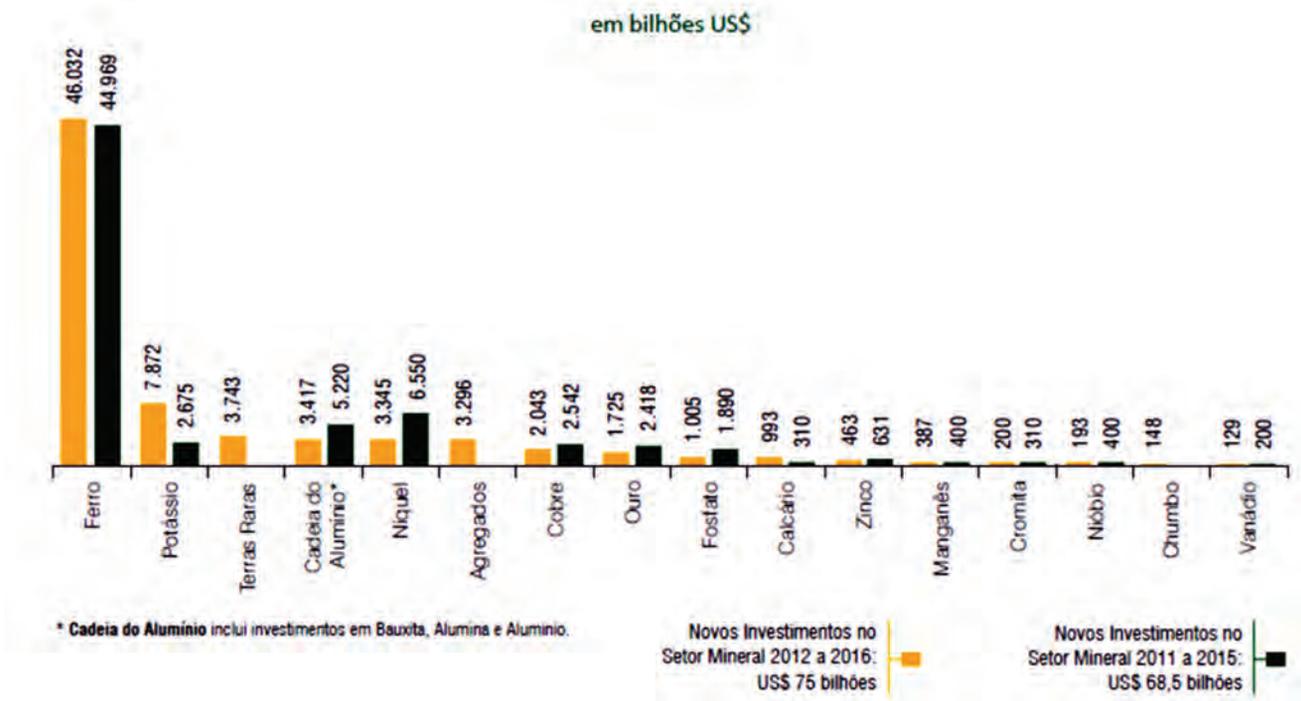


Figura 10 - Investimentos no setor mineral, por minério, de 2012 a 2016.

Fonte: <http://www.ibram.org.br>

A grande demanda pela oferta de minério de ferro vem da indústria do aço. A siderurgia consome, aproximadamente, 90% do total produzido há algum tempo e não existe expectativa de mudança significativa nesse percentual, para os próximos anos. A distribuição regional do consumo também não vai se alterar de forma considerável, com a China representando em torno de 55% do consumo mundial, mantendo-se como determinante na demanda mundial (CARVALHO et al., 2014).

A expectativa de que a demanda por minério de ferro (o que significa dizer demanda por aço) deve continuar aquecida mesmo com a recente desaceleração econômica chinesa é fundamentada no rápido crescimento urbano da Ásia. O Banco de Desenvolvimento Asiático - BAD prevê que as cidades asiáticas continuarão a crescer mais rápido do que as de qualquer outra região do planeta, notadamente na China, Índia, Paquistão, Indonésia e Bangladesh. A China, por exemplo, vive um êxodo rural em massa e, conseqüentemente, uma acelerada urbanização induzida por política governamental. Segundo o Centro de Pesquisas sobre o Desenvolvimento e a População da China, a população urbana do país

representava 26% do total em 1990, 36% em 2000 e, em fins de 2011, alcançou 51,27%. A perspectiva é que o número de habitantes das cidades da China cresça em torno de 16% até 2020, alcançando 800 milhões pessoas (REVISTA VEJA, 2012). Essa é a dimensão da futura demanda pelo minério de ferro como matéria-prima básica para a produção de bens de consumo, o que equivale a dizer produtos com conteúdo em aço.

A China importou, em 2012, 45,78% do minério de ferro produzido no Brasil. O outro grande destino do minério brasileiro foi o Japão (9,71%). A estimativa é de que a China importe no mínimo 400 milhões de toneladas/ano até 2020 e, deste total, pelo menos 30% seriam supridos pelo Brasil (IBRAM, 2012).

A exportação é uma grande característica do setor mineral brasileiro e tem dado grande contribuição à economia do país, tendo o minério de ferro papel preponderante. Em 2012 o minério de ferro correspondeu a 80,1% das exportações dos bens minerais e o saldo da balança mineral foi 52% superior ao da balança comercial total brasileira. Em 2013 essa relação subiu para 1.150% (Figuras 11 e 12).



Figura 11 - Balança Mineral Brasileira - Exportações 2012 (% do valor em dólares). Fonte: www.ibram.org.br

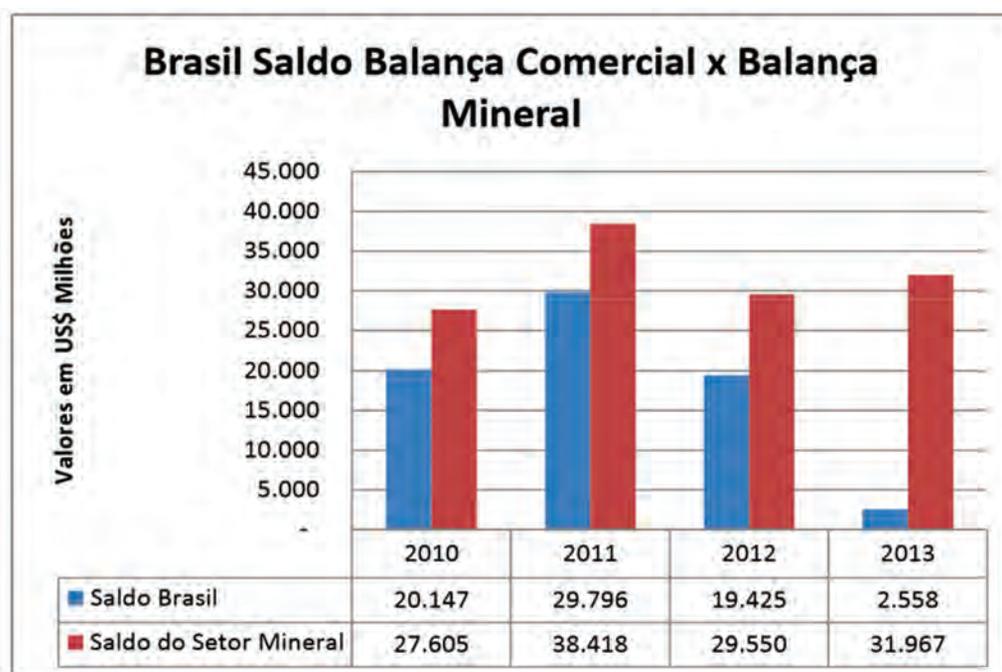


Figura 12 – Saldo das balanças comercial e mineral brasileiras de 2010 a 2013. Fonte: www.ibram.org.br

Dados mais recentes reforçam o peso das exportações de minério de ferro para a geração do superávit da balança comercial brasileira. Em maio de 2014 o superávit de 712 milhões de dólares foi o pior desempenho desde 2002 para o mês de maio. Sobre esse fraco desempenho, o secretário de Comércio Exterior do Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, observou que o minério de ferro, que responde por 13% das exportações brasileiras, registrou os preços mais baixos no ano, sendo exportado, em maio de 2014, a 84 dólares a tonelada, ante 108,6 dólares a tonelada em maio de 2013.

Frente à dependência da balança comercial brasileira da quantidade e do preço da tonelada exportada de minério de ferro para obtenção de um bom desempenho, o fato de ser este um recurso natural não renovável poderia ser alarmante. Entretanto, não em curto prazo. Conforme já registrado aqui, as reservas brasileiras de minério de ferro têm apresentado tendência de crescimen-

to e não de exaustão. O minério de ferro é uma *commodity* altamente lucrativa justificando cada vez mais a exploração de teores mais baixos.

Até fins dos anos 60 a produção de minério de ferro no Brasil era restrita a hematitas com teores de ferro acima de 60%. O aproveitamento sistemático de reservas hematíticas com teores inferiores a 50% e dos itabiritos friáveis e semi-friáveis foi iniciado nos anos 90. Entre 2000 e 2005 foram iniciados os estudos e projetos para aproveitamento de itabiritos friáveis com teor de ferro abaixo de 45% e, a partir daí, passaram a ser objeto de projetos os itabiritos friáveis com teor abaixo de 40% e os itabiritos compactos (CARVALHO, 2012).

Essa realidade está presente, principalmente, em Minas Gerais, onde há projetos em andamento de lavra de teores de ferro de no máximo 40% como o Conceição-Itabiritos em Itabira da empresa Vale, o projeto da Votorantim Novos Negócios em associação com a chinesa *Hombrigde* no norte do estado e a ampliação da vida útil do Complexo da Mina do Pico também da Vale, em Itabirito, para citar apenas alguns (CARVALHO, 2012).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indústria da mineração do ferro tem grande importância econômica por ser base de outras atividades de grande peso na economia, como a indústria automobilística, construção civil e bens de capital.

As reservas de minério de ferro do Brasil, além de estarem entre as maiores do mundo, apresentam teores elevados de ferro. Delas sai uma produção que coloca o país em lugar de destaque no cenário internacional como um dos três maiores produtores, e o minério de ferro como o produto que gera a maior renda para a exportação brasileira. Tendo, portanto, atuação fundamental na balança comercial do país.

A perspectiva é de que a demanda por minério de ferro seja mantida, em longo prazo, no mínimo no nível atual, sustentada, se não pelo crescimento econômico, pela expansão da urbanização, notadamente da China. Essa situação caracteriza uma crescente redução nas reservas de minério de ferro com teores elevados, entretanto, os investimentos previstos para o setor, atestam a viabilidade da participação de minérios de teores cada vez mais baixos na alimentação das usinas. O fato de o Brasil ser o país com o menor custo médio de mineração de ferro (CARVALHO et al., 2014), corrobora essa tese.

Em suma, o cenário futuro que se desenha é de incremento do setor mineral do ferro, com aumento da participação no mercado internacional.

NOTAS

¹ A Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais - CFEM, estabelecida pela Constituição de 1988, em seu Art. 20, § 1o, é devida por quem exerce atividade de mineração em decorrência da exploração ou extração de recursos minerais aos municípios (65% da arrecadação) aos estados ou Distrito Federal (23%), e aos órgãos da administração da União (12%), como contraprestação pela utilização econômica dos recursos minerais em seus respectivos territórios. Constitui fato gerador da CFEM a saída por venda do produto mineral das áreas da jazida, mina, salina ou outros depósitos minerais. E, ainda, a utilização, a transformação industrial do produto mineral ou mesmo o seu consumo por parte do minerador. Ela é calculada sobre o valor do faturamento líquido, obtido por ocasião da venda do produto mineral. Quando o produto mineral é consumido, transformado ou utilizado pelo próprio minerador, considera-se como valor, para efeito do cálculo da CFEM, a soma das despesas diretas e indiretas ocorridas até o momento de sua utilização. Os recursos originados da CFEM só podem ser aplicados em projetos que, direta ou indiretamente, revertam em prol da comunidade local, na forma de melhoria da infraestrutura, da qualidade ambiental, da saúde e educação. (Fonte: DNPM, <http://www.dnpm.gov.br>)

REFERÊNCIAS

- BLANC, S. China conta agora com mais população urbana que rural, Revista Veja, 2012. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/noticia/brasil/china-conta-agora-com-mais-populacao-urbana-que-rural>> Acesso em: 27 jun. 2014.
- CARVALHO, B. C. L. de. Aproveitamento de minérios de ferro de baixo teor: tendências, tecnologias utilizadas e influências no sequenciamento de lavra. 2012. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) - Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.
- CARVALHO, P.S.L. de; SILVA, M.M. da; ROCIO, M.A.R; MOSZKOWICZ, J. 2014. Minério de Ferro. BNDES Setorial 39, p. 197-234, 2014. Disponível em: <www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3906.pdf>. Acesso em 28 jun. 2014.
- CAVALCANTI, P. P.S. Gestão Ambiental na Indústria Siderúrgica – Aspectos relacionados às emissões atmosféricas. 2012. 46f. Monografia (Graduação em Engenharia Metalúrgica) - Escola Politécnica, Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.
- CONCEIÇÃO, C. S. Da Revolução Industrial à Revolução da Informação: uma análise evolucionária da América Latina. 2012. 209f. Tese (Doutorado em Economia) - Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.
- DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral - Coordenadores Thiers Muniz Lima, Carlos Augusto Ramos Neves. Brasília: DNPM, 2012. 136 p.
- DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. 33ª Edição do Sumário Mineral do Ferro, 2013. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2013>>. Acesso em: 30 jun. 2014.
- DERBY, O. A. The iron ores of Brasil. Int. Congr. Geol., Estocolmo, v.2, p.813-822, 1910.
- ELIADE, M. Alquimistas e Ferreiros. Madri: Aliança Editorial S. A., 1983. 191p.
- IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira. 7.ed. IBRAM, 2012. Disponível em: <www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002806.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2014.
- JOHNSON, D.; TYLDESLEY, J.; LOWE, T.; WITHERS, P. J.; GRADY, M. M. Analysis of a prehistoric Egyptian iron besd with implications for the use perception of meteorite iron in ancient Egypt. Meteoritics and Planetary Science, v.48, p. 997-1006, 2013.
- JOHNSON, D.; TYLDESLEY, J. Iron from the sky: Meteorites in ancient Egypt, Meteorite magazine, v.9, n.4, p.8-13, 2013. Disponível em: <www.geolsoc.org.uk>. Acesso em: 02 jun. 2014.

JOHNSON, D.; TYLDESLEY, J. Iron from the sky, *Geoscientist*, v. 24, n.3, p.10-15, 2014. Disponível em: <www.geolsoc.org.uk/-/media/shared/documents/Geoscientist/Geoscientist_Apr14_LR.ashx>. Acesso em: 02 jun. 2014.

MACHADO, Maria Márcia M. Construindo a imagem geológica do Quadrilátero Ferrífero: conceitos e representações. 2009. 238f. Tese (Doutorado em Geologia) - Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

MME - Ministério de Minas e Energia. Perfil da Mineração do Ferro, 2009. (Relatório nº18) Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P09_RT18_Perfil_da_Minerao_de_Ferro.pdf> Acesso em: 02 jul. 2014.

NOLDIM Jr., J. H. Contribuição ao estudo da cinética de redução de briquetes auto-redutores. 2002. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

OLIVEIRA, C. A. de. A Concessão Itabira Iron. Belo Horizonte: IOF/MG, 1934.

PEREZ, C. Revoluciones tecnológicas e capital financeiro: la dinámica grandes burbujas financieras y las épocas bonanza. México: Ed. Siglo XXI, 2004.

RIBEIRO, R. A. C. Desenvolvimento de novos materiais cerâmicos a partir de Resíduos industriais metal-mecânicos. 2008. 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SCOTT, H. K. The iron ores of Brazil. *Journal of the Iron e Steel Institute*, London, Separata, 1902.

SCOTT, H. K. Iron ores of Brazil. *Eng. Min. Journal*, New York, v.74, p.750, 1902.

SILVA, A. C. F.; GOMES, M. V. Proto-História de Portugal. Lisboa: Universidade Aberta, 1992.

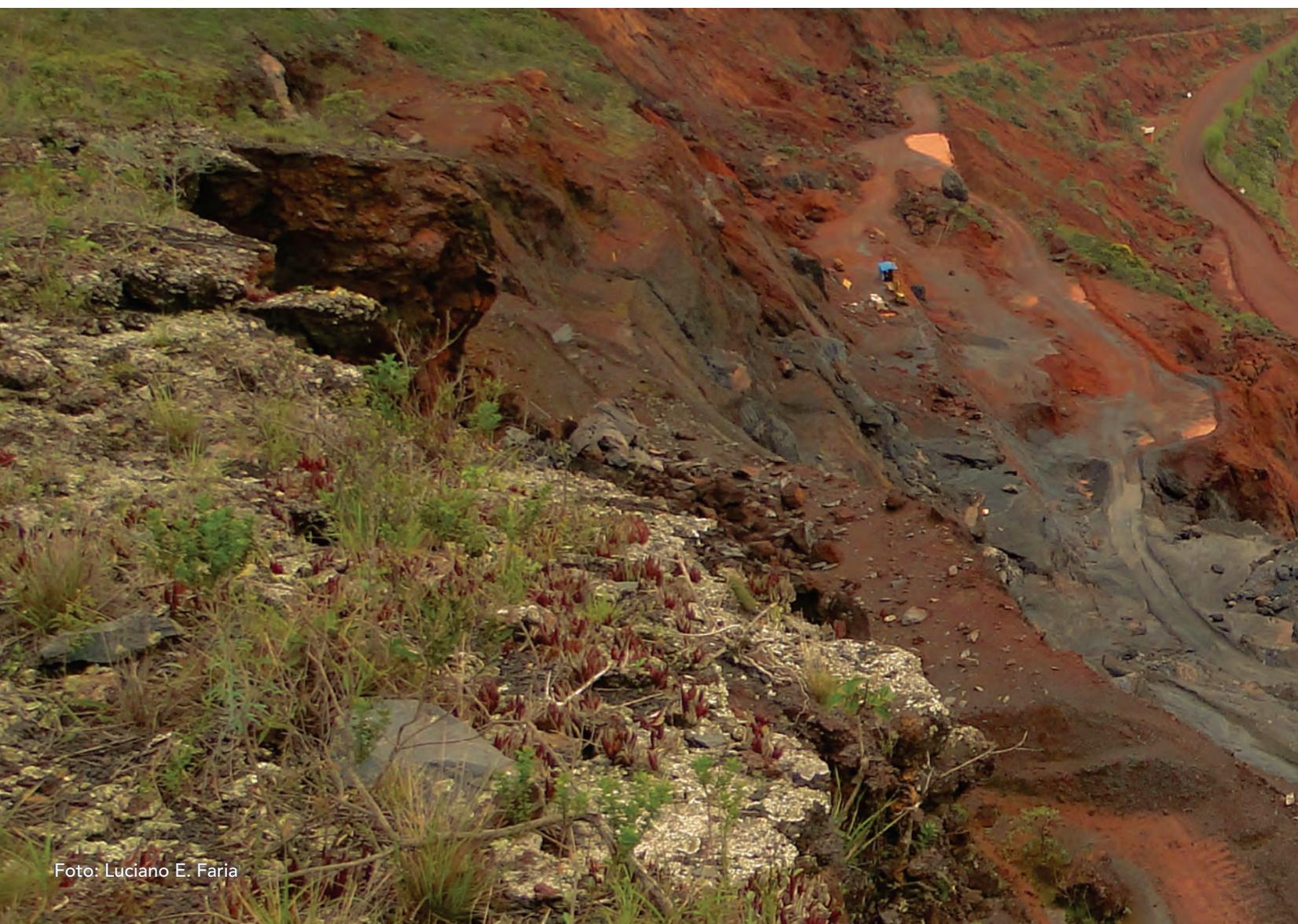
SOMMER, F. Guilherme Luis. Barão de Eschwege. São Paulo: Ed. Melhoramentos, 1952.

SUCKAU, V. E. Minério de Ferro: a Saga do Descobrimento, da Evolução, do Conhecimento Geológico e da Mineração em Minas Gerais, Brasil (Inédito).

TRISTÃO, L.M.L.S. Armas e Ritos na II Idade do Ferro do Ocidente Peninsular. 2012. 165f. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) - Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

USGS - US GEOLOGICAL SURVEY. Mineral Commodity Summaries, 2014. Disponível em: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/>> Acesso em: 26 jun. 2014.

Os CONFLITOS RESULTANTES DA PRODUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO



PAULO DE TARSO AMORIM CASTRO

Departamento de Geologia - Escola de Minas - Universidade Federal de Ouro Preto

MARIA MÁRCIA MAGELA MACHADO

Departamento de Cartografia - Instituto de Geociências - Universidade Federal de Minas Gerais



INTRODUÇÃO

A mineração ou produção de qualquer recurso mineral requer, em princípio, a ocorrência concentrada de um material geológico, uma rocha ou mineral, em uma região e que seja passiva de ser utilizada como recurso pela sociedade. Desde tempos remotos da história humana, a capacidade de reconhecer o material geológico adequado, o conhecimento de sua localização em um território e a capacidade de transformá-lo em objetos úteis e/ou valorizados e aceitos pelo grupo social compunham parte do acervo cultural de uma sociedade.

Por exemplo, argilas que tivessem comportamento plástico o suficiente para serem modeladas e torneadas eram entendidas como recurso pelas sociedades que tinham conhecimento e habilidades para utilizá-las na confecção de utensílios e peças de significado cultural. O reconhecimento desse recurso e de sua localização, em um território em conjunto às habilidades artesanais de um povo fazia parte de sua cultura. Além disso, os intercâmbios entre povos vizinhos envolviam trocas de objetos manufaturados, animais, vegetais e minerais. A disseminação de costumes, hábitos e culturas culminaram por aumentar as demandas de objetos geológicos como recursos, bem como o saber reconhecer e manusear esses objetos.

Ao longo da história humana, a destreza e a habilidade no manuseio do material geológico estão culturalmente ligadas ao uso como recurso. De outro lado, a facilidade com que os materiais geológicos podem ser manuseados, fruto de suas propriedades naturais, ou transformados pela engenhosidade humana, os tornam mais procurados e disseminados. Assim, a utilização de materiais geológicos como recursos depende de suas propriedades

naturais, bem como da cultura ou do conhecimento que uma sociedade tem de sua utilização.

Em um mundo globalizado, onde os fluxos de pessoas, de saberes e de informações são muito intensos, o uso de determinados materiais geológicos como recursos de ampla utilização, universal, faz com que tanto esse recurso seja comercializado “*in natura*” quanto transformado. Desse modo, rochas e minerais tidos como recursos têm importância não somente local e regional, como também continental e global.

Os materiais geológicos são considerados como recursos em diferentes níveis de utilização e envolvem relações políticas e econômicas em diferentes estágios de complexidade. Portanto, ao falarmos dos objetos geológicos como recursos que a humanidade demanda, estamos enfocando uma ampla variedade de rochas e minerais transformados e utilizados com emprego de diversas tecnologias formadoras de cadeias produtivas locais, regionais, nacionais e globais.

O uso de recursos naturais em uma região, via de regra, produz impactos ambientais e sociais. Além disso, conflitos no uso do território e de seus recursos são gerados em função da ocupação e usos antecedentes, da dimensão do uso pretendido e de sua destinação no que tange à cadeia produtiva. Este capítulo discorre sobre impactos e conflitos relacionados à cadeia produtiva do ferro, em especial à mineração no Brasil. Serão vistas algumas características gerais dos conflitos no uso de recursos e os impactos característicos da extração do ferro em função das características naturais e sociais das regiões em que as jazidas se localizam.

ASPECTOS GERAIS DA MINERAÇÃO E EM ESPECIAL O FERRO

Duas características são inerentes aos recursos minerais: serem recursos não renováveis e apresentarem rigidez locacional, ou seja, serem recursos que tem ocorrência geograficamente limitada, não sendo passíveis de serem realocados. As concentrações minerais têm sua distribuição, dimensões e disponibilidades determinadas pelos processos geológicos que as geraram. No entanto, a sua utilização como recurso depende do conhecimento e

capacidade de realização de um conjunto de atividades encadeadas que inclui extrair, transportar e processar a sua transformação para ser utilizado pela humanidade.

Para alguns materiais geológicos, o conhecimento da cadeia de atividades, por diversos motivos, pode ser aplicado na dimensão local. Por exemplo, as argilas, britas e areias utilizadas na construção civil compõem cadeias de processos de dimen-

OS CONFLITOS RESULTANTES DA PRODUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO

sões locais e regionais. Outros materiais geológicos, em especial os metais, para serem utilizados como recursos, demandam conhecimentos mais sofisticados e a utilização significativa de energia, além de outros materiais geológicos em sua transformação até ser utilizado pela humanidade. Nesses casos, as dimensões regionais, nacionais e globais dos processos são as mais comuns.

O ferro é o exemplo e enfoque desse capítulo. A cadeia produtiva do ferro, culminando no aço, envolve a sua extração e de outros recursos como a água, manganês e cromo, o transporte e a sua transformação em aço nas fábricas. A cadeia produtiva do ferro se apresenta composta em níveis regionais, nacionais e globais.

O conceito de minério se difere da simples ocorrência de um material geológico, pois a ele está associada, necessariamente, viabilidade econômica de produção. São considerados os custos das etapas de pesquisa das ocorrências de ferro, de extração, de processamento e transporte até as usinas de transformação em ferro-gusa ou aço. Inseridos nos custos devem estar aqueles relacionados ao abrandamento

ou mitigação dos impactos ambientais e sociais. Se os custos de todas essas etapas forem menores do que o preço de venda do recurso, a mina é viável economicamente. Assim, satisfeitas essas condições, uma ocorrência de ferro pode ser objeto de mineração. Um aspecto importante na mineração é o tempo de maturação de projeto, isto é, o tempo decorrido entre os estudos de avaliação iniciais até a mina entrar em operação. Para a mineração de ferro, o tempo de maturação é estimado entre 10 e 15 anos por Freire (2014).

Outro aspecto relacionado ao ferro é que ele é uma *commodity* mineral, ou seja, é um produto cujo preço está relacionado ao mercado internacional. O seu valor pode flutuar de acordo com a demanda internacional. A figura 1 mostra a evolução do preço do ferro. O preço da tonelada de ferro começou um rápido crescimento a partir de 2005 aumentando em até sete vezes o valor no início da década atual. Segundo analistas de mercado, esse incremento é devido ao aumento da demanda por parte da China, em parte, associado ao acelerado processo de urbanização da sua população.

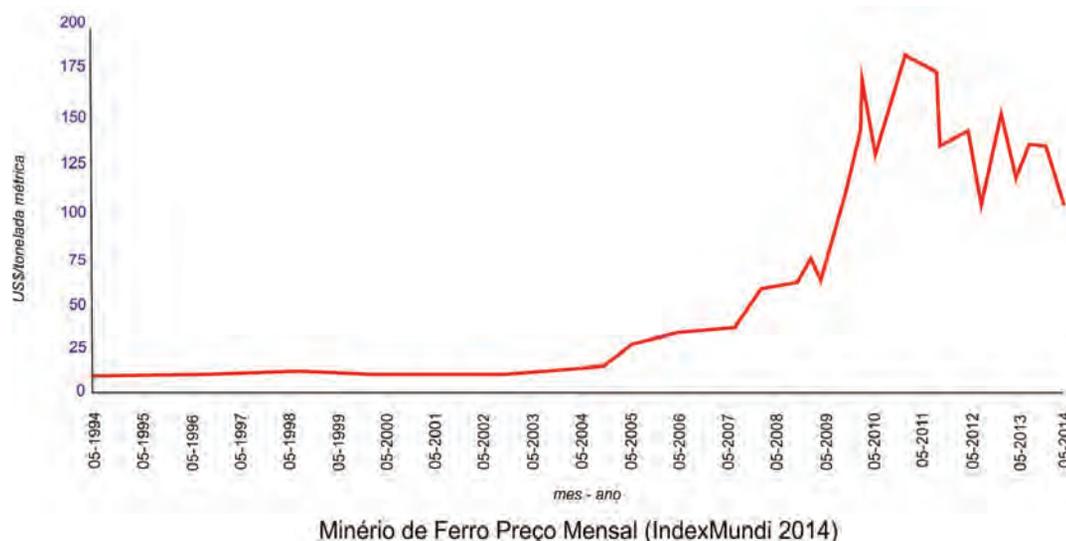


Figura 1 - Variação do preço do minério de ferro nos últimos 20 anos.

Fonte: IndexMundi, 2014.

Com esse aumento substancial do preço do ferro, ocorrências minerais já conhecidas passaram a ser revistas e reavaliadas em seu potencial econômico, fundamentando investimentos para a implantação de minas.

O mapa da figura 2 apresenta as principais jazidas e direitos minerários de ferro no Brasil, englobando o período do aumento expressivo do preço do minério, ocorrido na primeira década do século XXI.



Figura 2 - Principais jazidas e processos de minerários associados ao ferro no Brasil. As jazidas que estão numeradas correspondem às províncias minerais com produção de ferro, como o Quadrilátero Ferrífero e Carajás bem como aos principais projetos em implantação como é o caso de Serro, Porteirinha e Caetité. Modificado de Heider (2014)

A produção de ferro do Brasil evoluiu rapidamente em consequência do aumento da demanda mundial. Porém a produção de aço não seguiu a mesma tendência internacional (Figura 3). Portanto, o incremento à produção de ferro no Brasil é

fortemente influenciado pela demanda internacional, implicando em que as etapas da cadeia produtiva do ferro no Brasil se restrinjam à mineração, beneficiamento e transporte do ferro até os portos de embarque.



Figura 3 - Produção brasileira de minério de ferro e de aço entre 2000 e 2012. O crescimento da produção de aço não seguiu o ritmo de crescimento da produção de ferro no país. Fonte: DNPM, Sindiextra, Instituto AçoBrasil, IBRAM.

Como o Brasil é um exportador de ferro, ocupando atualmente o segundo lugar entre os demais, o transporte do minério até os locais de embarque constitui importante segmento nos projetos de mineração. A maior empresa de mineração de ferro e a principal exportadora no país, a Vale, tem a concessão de ferrovias pelas quais escoar sua produção até os portos de embarque. Na concepção dos novos projetos de desenvolvimento de minas de ferro no Brasil, sobretudo em Minas Gerais e Bahia, a alter-

nativa encontrada para o transporte de minério de ferro até as instalações junto aos portos de embarque para exportação é a construção de minerodutos, utilizando a água como veículo. A Samarco, situada no Quadrilátero Ferrífero, escoar sua produção de minério de ferro por minerodutos desde 1977, sendo pioneira no país.

As principais jazidas de ferro no país ocorrem em todos os biomas do Brasil à exceção do Pampa (figura 4). As interações entre a biota, o clima e as

rochas e solos presentes modelam as feições geomorfológicas presentes em cada situação. Embora as altitudes variem bastante entre as jazidas de ferro, as principais se localizam em regiões serranas e bordas de planaltos regionais, destacando-se na paisagem (quadro 1). Devido à permeabilidade das rochas ricas em ferro e ao contexto geomorfológico em que se encontram, elas tendem a ser zonas de recarga e aquíferos importantes, como é o caso do

Quadrilátero Ferrífero. Isso faz com que a elas estejam associadas nascentes e cursos de água. Em algumas regiões, em função do clima reinante ao longo do Cenozoico, carapaças ferruginosas são formadas, denominadas em Minas Gerais de cangas, substrato onde se estabelecem os campos ferruginosos (JACOBI, 2008; CASTRO, 2008). Microclimas se instalam junto às serras contribuindo para a diversificação das fitofisionomias.



Figura 4 - A distribuição das principais jazidas de ferro nos biomas brasileiros.

Região	Altitude aproximada (m)	Aspectos Geomorfológicos	Rochas e minerais
Quadrilátero Ferrífero	1200 - 1500	serras /platôs	itabirito - hematita, magnetita
Carajás	700	serras	itabirito - hematita, magnetita
Corumbá	1000	serras	diamictito e jaspilito
Serro	1100	serras	itabirito - hematita, magnetita
Porteirinha	800	serras	diamictito hematítico
Tartarugalzinho	100	morrote /platôs	itabirito - hematita, magnetita
Jucurutu	360	serra	magnetitito / magnetita
Caetité	800	serra /platô	itabirito - hematita, magnetita

Quadro 1 - Altitude e principais constituintes do minério nas principais jazidas de ferro do Brasil

CONCEITUANDO IMPACTO E CONFLITO

O Brasil possui uma ampla legislação ambiental, construída após o processo de democratização do país na década de 1980 e que vem incorporando avanços nos procedimentos de estudos prévios e preventivos dos impactos ambientais da instalação de empreendimentos, acompanhamento das atividades e de recuperação de áreas impactadas.

A legislação brasileira, por meio da resolução do CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente (BRASIL 1986), conceitua impacto ambiental como sendo modificações do meio ambiente causadas pelas ações da humanidade que trazem consequências para a biota, para a humanidade, para as relações sociais e econômicas e para a qualidade dos recursos naturais. Em outras palavras, Little (2001) associa impacto ambiental aos efeitos da intervenção humana nos ciclos naturais que podem ser nocivos tanto à natureza quanto à humanidade. Esse autor lista como tipos de impactos a contaminação do meio ambiente, a degradação dos ecossistemas e o esgotamento dos recursos naturais, ou seja, a exaustão de objetos ou materiais da natureza utilizados como recursos pela sociedade.

É necessário fazer a distinção entre impactos e conflitos relacionados às questões ambientais. Como é entendimento de vários autores (BERTÉ, 2007), conflitos ambientais se relacionam a grupos sociais entre si ou com empreendedores, em que há divergência quanto ao uso de recursos naturais ou quando o uso de recursos naturais impacta ambientalmente comunidades, serviços ambientais e cadeias ecossistêmicas e o uso real ou potencial por comunidades ou por empreendimentos diversos. Assim, todo conflito ambiental é, necessariamente, socioambiental. E, se há conflitos, por certo deve haver negociação, principalmente quando o “conflito ambiental” é circunscrito no uso da natureza como recurso, como mostrado por Ayselrad (2004a). Ayselrad (2004b) explicita que o conflito ambiental não se dá somente pelo aspecto de apropriação da natureza como recurso, mas também pela componente simbólica inerente às populações em relação à natureza. Independente dos fatores simbólicos e de uso da natureza serem relevantes no estabelecimento do conflito, pode haver impacto ambiental sem que haja, necessariamente, conflito. No entanto, no que diz respeito aos empreendimentos mineiros, em especial os de ferro, a realidade se mostra mais complexa quando estão envolvidos interesses

expressivos uma vez que as cadeias produtivas são nacionais e globais. Como visto anteriormente, quando as cadeias produtivas são nacionais e globais as operações mineiras envolvem o transporte até as usinas de transformação, o que amplia uso de recursos naturais e os impactos ambientais. Em alguns casos, o conflito territorial, de uso da terra, se imiscui ao conflito ambiental (WANDERLEY, 2008). Em relação à mineração na Amazônia, Wanderley (2012, p.96) afirma que:

Independentemente do interesse na exploração do subsolo por parte das mineradoras, não existe qualquer possibilidade de dissociação do solo (terra) e da apropriação do subsolo. Por mais que as empresas insistam em reafirmar seu desinteresse para com a questão fundiária, sua organização espacial pressupõe uma territorialização de objetos (sedes, acampamentos, minas, galpões, vias, ferrovias, minerodutos, condomínios ou company-town), que exigem um domínio sobre o espaço geográfico.

No que diz respeito aos recursos de natureza geológica, não deve ser entendida como conflito, a interpretação de direito do proprietário do solo sobre os recursos minerais que, segundo a Constituição Federal (artigos 20 e 176), são propriedades da União. A utilização de tais recursos se faz por concessão ou autorização da União. Também são bens da União, como explicita a Constituição Federal e demais leis vigentes no país, as cavidades naturais subterrâneas e os sítios arqueológicos e pré-históricos. A legislação em vigor estabelece possibilidades e restrições de uso de espaços e objetos naturais.

São entendidos como patrimônio cultural brasileiro aqueles bens de natureza material que sejam referência à identidade, à ação, à memória dos diferentes grupos formadores da sociedade brasileira, nos quais são incluídos os registros e sítios de valor paleontológico, arqueológico, ecológico e científico. A Constituição Federal, em seu artigo 26, parágrafo primeiro explicita que

o poder público, com a colaboração da comunidade, promoverá e protegerá o patrimônio cultural brasileiro, por meio de inventários, registros, vigilância, tombamento e desapropriação, e de outras formas de acautelamento e preservação.

Desse modo, a inobservância por parte de empreendimentos mineradores da legislação brasileira e às convenções internacionais aos quais o Brasil aderiu, não pode ser encarado como conflito socioambiental, no sentido estrito da expressão. São transgressões à legislação, cabendo ao ministério público ações nos níveis federal e estadual, mediante conhecimento dos fatos. Por outro lado, há que se considerar riscos potenciais de danos ao patrimônio da nação, em especial o natural e cultural, pela atividade minerária, igualmente avalizada pela legislação. Nesse caso, estabelecem-se conflitos de natureza jurídica, em função da superposição de legislação com focos em uso da natureza como recurso e de sua preservação, ou seja, do patrimônio natural.

Miranda (2012) cita artigos da constituição do Estado de Minas Gerais que definem como imposto ao estado e à sociedade defender e conservar o patrimônio natural, dos quais pelo menos três resultam em potenciais conflitos com a mineração de ferro: remanescentes da Mata Atlântica, campos rupestres e cavernas. O referido autor indica a importância da relação entre cavidades e registros de atividade humana, portanto dentro do campo da arqueologia, e o papel do estado e da sociedade na preservação e proteção que estão consubstanciados na lei que dispõe sobre a política cultural em Minas Gerais (Lei Estadual no 11.726/94). Pela

legislação citada, o uso do recurso natural ou a realização de obras de infraestrutura e construções em áreas que apresentem interesse arqueológico, paleontológico e espeleológico dependem de estudos de impactos sujeitos à análise pelo Conselho Estadual de Cultura.

Outro aspecto interessante a se levantar é o papel da sociedade com relação ao uso ou fim a que se destinam partes do espaço natural. Associações científicas e organizações não governamentais (ONG e OSCIP) têm papel fundamental na definição, levantamento e reconhecimento de sítios e regiões naturais de relevante importância bem como na vigilância de sua integridade, agindo em observação ao artigo 26 da constituição federal. As primeiras, por incorporar e difundir os avanços científicos na sociedade em geral e se posicionar, como segmento social, frente às necessidades e demandas sociais. As segundas, por serem organizações sociais que se posicionam em relação às questões socioambientais sem ter necessariamente, o viés de utilizar a natureza como recurso. Nesse caso, não se trata de conflito socioambiental no sentido estrito do uso da natureza como recurso. Trata-se da participação de segmentos sociais na determinação do significado patrimonial de áreas, regiões e outros segmentos e objetos da natureza e de sua relação com a sociedade.

IMPACTOS AMBIENTAIS

Antes dos primeiros movimentos sociais de caráter ambiental, ocorridos na segunda metade do século XX, as ações relacionadas à redução dos efeitos que as minerações causavam tanto na sociedade quanto na natureza eram mínimas, ou mesmo inexistentes (CASTRO et al., 2011). No Brasil, as operações mineiras que podiam resultar na redução de impacto ocorriam como efeitos colaterais das ações visando um aumento da produtividade. Ou seja, eram mais preocupações econômicas do que ecossistêmicas.

Após o reestabelecimento da democracia no Brasil e em consonância com a emergência do ambientalismo no planeta, foram consolidadas regulamentações ambientais e de participação social que

modificaram o panorama de proteção da natureza e o uso dos recursos naturais. Foram criados instrumentos legais que permitiram análises antecipadas de impactos de empreendimentos minerários, a necessidade de licenciamento ambiental prévio das operações, do estabelecimento de medidas mitigatórias e de recuperação de áreas degradadas e instrumentos de acompanhamento das operações de retirada, beneficiamento e transporte de recursos de natureza geológica.

Flôres e Lima (2012) ressaltam que a atividade mineral no país está sujeita a um caráter híbrido legal entre a legislação relativa aos recursos minerais, que compete à União, e aquela relacionada à proteção ambiental e da natureza, como recursos de

competência da União, estados e municípios. Em face a isto, há uma multiplicidade de órgãos federais, estaduais e municipais cuja função é regulamentar e fiscalizar as atividades minerárias nas diversas etapas da mineração propriamente dita e a fiscalização ambiental ao longo dessas mesmas etapas.

No que concerne ao fechamento de mina, após a exaustão das jazidas ou abandono - um foco de impactos e conflitos socioambientais - a legislação brasileira ainda não se encontra consolidada em nível federal, sendo editadas normas regulamentadoras pelo órgão de fiscalização mineral enquanto que em nível estadual há alguns avanços, como em Minas Gerais (TONIDANDEL et al., 2012) onde a Deliberação Normativa n.127, de 27/11/2008 do Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais estabelece em seu artigo 3º:

O fechamento da mina deve ser planejado desde a concepção do empreendimento, tendo como objetivos primordiais: I. garantir que após o fechamento da mina os impactos ambientais, sociais e econômicos sejam mitigados;

II. manter a área após o fechamento da mina em condições seguras e estáveis, com a aplicação das melhores técnicas de controle e monitoramento;

III. proporcionar à área impactada pela atividade minerária um uso futuro que respeite os aspectos sócio-ambientais e econômicos da área de influência do empreendimento.

A necessidade de estender a regulamentação da atividade minerária desde a sua concepção como empreendimento, visando a sua viabilidade ambiental, até as etapas que abrangem o seu encerramento e o uso posterior da área utilizada, ressalta o seu potencial de impactar profundamente os processos ecossistêmicos e a sociedade.

São várias as classificações dos impactos ambientais (BITAR & ORTEGA, 1998). Em relação ao setor mineral, as indicações dos impactos têm sido alinhavadas desde o final do século XX (IBRAM, 1992). O quadro 2 traz uma lista de principais impactos causados pela mineração de ferro.

Impactos difundidos nas diversas esferas	
poluição sonora	impacto visual
	alteração da paisagem

Impactos na geosfera	
	desencadeamento de processos erosivos e movimentos de massa
modificação e remoção do solo	modificações dos terraços aluviais
supressão, obstrução e degradação de cavidades naturais	alteração das feições geomorfológicas locais

Impactos na atmosfera	
	poluição do ar, aumento de particulados (poeira) em suspensão

Impactos na biosfera	
supressão de áreas de vegetação desmatamento	desaparecimento de animais silvestres do local
desequilíbrio na cadeia trófica na região afetada pela mineração	mortalidade de peixes e desequilíbrio na cadeia trófica em rios

Impactos na hidrosfera	
alteração na qualidade e no regime hidrológico	transposição de águas entre diferentes bacias
mudanças na dinâmica de movimentação das águas subterrâneas	inundações a jusante das instalações mineiras
modificação dos cursos de água e nas vias de drenagem subterrâneas	aumento da turbidez e da quantidade de sólidos em suspensão em corpos d'água
assoreamento de cursos de água	alteração do lençol freático com rebaixamento do nível de base local e secamento de nascentes

Impactos na antroposfera (inclusive sociais e culturais)	
Impactos por sobreuso urbano e das vias de trânsito	Alteração da paisagem cultural
Impactos de vibração e desmonte por explosões	Danificação de bens culturais materiais
Impedimento da realização de atividades culturais	Danificação de registros e objetos arqueológicos históricos
Danificação da registros e objetos arqueológicos pré-históricos	Aumento da poeira em suspensão
Aumento da população local em curto espaço de tempo	

Quadro 2 - Principais impactos atribuídos à atividade de mineração, especialmente de ferro. Fonte: Castro et al. (2011); IBRAM (1992); Flôres e Lima (2012); Fundação Alexander Brant (2012); Miranda (2012)

Outro aspecto importante a ser levantado diz respeito à relação entre a dimensão da jazida e o teor de ferro no minério. A despeito dos avanços tecnológicos que permitem a utilização de minérios com teores mais baixos do que os do final do século XX, há uma proporção inversa entre teor e quantidade de rejeito e estéril em uma mina, o que influencia no aumento de risco de impactos. O

mesmo efeito tem jazidas de pequeno porte, quando comparadas às jazidas de grande porte, pois os procedimentos iniciais de implantação da mina requerem operações de remoção de material estéril, instalação de plantas de beneficiamento, e demais instalações, aumentando o risco de impactos ambientais, para um tempo de operação relativamente pequeno.

IMPACTOS SOCIAIS E CULTURAIS

O impacto dos empreendimentos mineradores sob ponto de vista social se inicia bem antes da mina entrar em operação e continua após o encerramento de suas atividades. Quando o recurso mineral se localiza em municípios e em localidades com pequena população e mais afastados dos centros urbanos, o impacto é mais intenso, pois haverá aumento da população residente e flutuante, maior demanda por recursos alimentares e moradias, de infraestrutura municipal e de trânsito. Nessas condições, a sociedade local sofrerá profundas modificações em curto período de tempo. O quadro 3 mostra alguns impactos ambientais e socioculturais relacionados às diferentes etapas, ou fases, de um projeto de mineração, que se inicia com a identificação de um recurso mineral em uma área e termina com a etapa de encerramento das atividades de extração e a viabilização de outro uso para a área.

É frequente o aprofundamento dos impactos sociais e culturais em pequenos povoados e sedes de municípios de pequena população ao longo dos diversos estágios de uma mineração de ferro. Incidentalmente, na fase de implantação da mina, a necessidade de mão de obra, nem sempre existente em número e qualificação necessários no povoado e em seu redor, faz aumentar o afluxo de pessoas provenientes de outros lugares em período relativamente curto, interferindo na rotina urbana de modo abrupto. Nessa fase, o período de permanência é relativamente curto. Posteriormente, na fase de operação, há uma estabilização no número de pessoas migrantes, as quais, pouco a pouco, passam a se incorporar no cotidiano da cidade. No entanto, aumentam as necessidades de serviços urbanos, de saúde e de transporte, impactando as atividades de comércio. A figura 5 (ver que os dados

da figura onde está série 1, série 2 e série 3 são respectivamente 1991, 2000 e 2010) mostra a evolução da população em oito municípios de Minas Gerais. Três municípios eram mineradores de ferro ao longo do período dos dados do censo do IBGE (Mariana e Itabirito, Quadrilátero Ferrífero), dois iniciarão a produção de ferro na década de 2011 – 2020 na região do Serro (Morro do Pilar e Conceição do Mato Dentro), dois não apresentam jazidas de ferro (Moeda e Bonfim, Quadrilátero Ferrífero) e um não conta com mineração de ferro em atividade em 2010 (Caeté, Quadrilátero Ferrífero). Os municípios da região do Quadrilátero Ferrífero não têm base industrial expressiva.

Pode-se perceber que, dentre esses municípios, há um aumento substancial na população dos que apresentam minerações de ferro, ao passo que os demais têm suas populações estabilizadas ao longo do período de tempo censitário. A exceção se dá em Catas Altas que é um município minerador cujo crescimento populacional não é tão elevado quanto o que ocorre em Itabirito e Mariana. Talvez, esse pequeno crescimento seja relacionado ao fato de que o município emancipou-se em 1995, quando já haviam entrado em operação as principais minas situadas em seu território. Já Caeté não apresenta nenhuma mina atualmente em operação, em seu território, embora as mantivesse no passado recente.

Os municípios de Conceição do Mato Dentro e Morro do Pilar, da região ferrífera do Serro, apresentaram diminuição de população ao longo do período censitário mostrado na figura 5. Tratam-se de municípios com base econômica na agropecuária e que não geram condições para a fixação de sua população.

Fases de uma mineração	Principais ações que causam impactos ambientais e socioculturais	Principais impactos ambientais	Principais impactos socioculturais
Prospecção e Exploração Mineral	Aberturas de estradas e picadas para trabalhos de reconhecimento do bem mineral	Erosão do solo, assoreamento e aumento de turbidez de cursos de água, ameaça potencial ao equilíbrio ecológico local	Aumento de população flutuante local repentino com valores culturais estranhos às comunidades locais
	Execução de furos de sondagem, aberturas de poços e trincheiras	Erosão do solo, assoreamento e aumento de turbidez de cursos de água, descarte de resíduos das máquinas utilizadas	Aumento de população flutuante local repentino com valores culturais estranhos às comunidades locais
Estudos de viabilidade técnica e econômica	Contratação de fornecedores de máquinas e insumos de produção		Aumento repentino da população flutuante local com valores culturais estranhos às comunidades locais. Aumento de demanda local por moradia, transporte, consumo de alimentos e coleta de lixo
	Processo de seleção e treinamento de mão de obra		
Implantação	Abertura de vias de acesso à mina e às demais instalações	Erosão do solo, assoreamento e aumento de turbidez de cursos de água, ameaça potencial ao equilíbrio ecológico local, Colapso e obstrução de cavidades subterrâneas. Dispersão de poeiras na atmosfera. Aumento de ruídos	Aumento repentino da população flutuante local com valores culturais estranhos às comunidades locais. Aumento de demanda local por moradia, transporte, consumo de alimentos e coleta de lixo
	Instalação dos escritórios	Assoreamento e aumento de turbidez de cursos de água, ameaça potencial ao equilíbrio ecológico local, Dispersão de poeiras na atmosfera. Aumento de ruídos	Aumento repentino da população flutuante local com valores culturais estranhos às comunidades locais. Aumento de demanda local por moradia, transporte, consumo de alimentos e coleta de lixo
	Oficina de manutenção	Descarte inapropriado de óleos e graxas	
Operação	Explosões para desmonte do minério e ampliação das cavas	Colapso e obstrução de cavidades subterrâneas. Dispersão de poeiras na atmosfera. Modificações no nível freático e secamento de nascentes de água. Aumento de ruídos	
	Transporte do minério até a usina de tratamento	Dispersão de poeiras na atmosfera. Aumento de ruídos	
	Pilhas de estéril	Erosão, assoreamento e aumento de turbidez de cursos de água, ameaça potencial ao equilíbrio ecológico local. Colapso e obstrução de cavidades subterrâneas.	
	Barragens de rejeito	Assoreamento e aumento de turbidez de cursos de água, ameaça potencial ao equilíbrio ecológico local	
	Transporte de minério beneficiado para seu destino	Aumento de trânsito (ferroviário e rodoviário), dispersão de poeira na atmosfera e de resíduos sólidos no solo e cursos de água	
Fechamento	Desmontagem das estruturas não necessárias ao uso designado da área	Dispersão de poeiras na atmosfera. Aumento de ruídos	
	Demolição das edificações não necessárias ao uso designado	Dispersão de poeiras na atmosfera. Aumento de ruídos	Redução de emprego formal e queda no comércio local e desarticulação social

Quadro 3 Fases de uma mineração de ferro e alguns impactos ambientais e socioculturais potenciais. Fonte: Castro et al. (2011); IBRAM 1992; Flôres e Lima (2012); Fundação Alexander Brant (2012); Allgaier (1997).

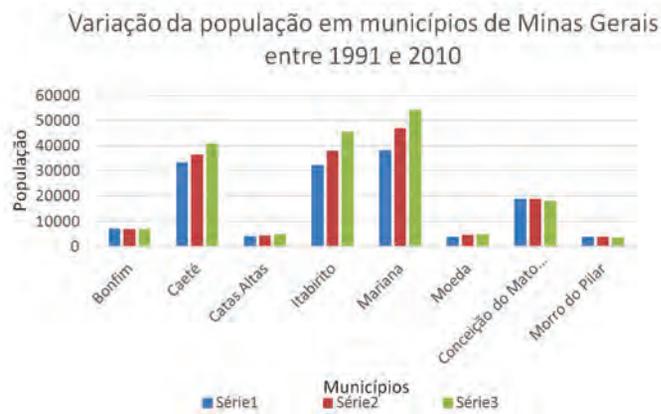


Figura 5: Evolução da população em municípios de regiões com jazidas de ferro.

Um aspecto interessante a se analisar é a influência da indústria extrativa de base mineral como fonte de emprego para a população residente nos municípios citados acima. A figura 6 mostra a importância das minerações como fonte de renda para os habitantes dos municípios citados. Nos municípios produtores de ferro, no Quadrilátero Ferrífero, a proporção de empregados na indústria extrativa mineral é bastante expressiva,

ao passo que nos municípios não produtores de ferro, há duas situações diferentes: em Caeté, que não apresenta minas em atividade, e em Moeda, onde não ocorrem jazidas de ferro, a população tem taxas representativas de emprego na indústria extrativa mineral em função de se localizarem próximos aos municípios que produzem ferro. Tanto Caeté, quanto Moeda, são afetados e impactados pela mineração.



Figura 6. População economicamente ativa empregada na indústria extrativa mineral em municípios de regiões com jazidas de ferro. São mostrados os dados para o Brasil, Minas Gerais e Belo Horizonte para comparação. Fonte dos dados: IBGE

No enfoque relacionado aos impactos da atividade minerária de ferro nos municípios, isto é, na estrutura política e administrativa que abarca as aglomerações urbanas, vilas, povoados e cidades, duas situações coexistem: a dos municípios, em cujo território se encontra a jazida a ser minerada, e a dos municípios vizinhos àqueles onde a mineração atuará. Se os impactos apresentados na figura 6 são positivos, deles decorrem impactos negativos para

os municípios onde não está instalada a mineração, que tem que prover os serviços urbanos essenciais à população residente mas não são contemplados com os impostos e taxas gerados pela extração mineral que se realiza em municípios vizinhos. Assim, a *compensação financeira pela exploração dos recursos minerais* (CFEM) e parte do *imposto sobre circulação de mercadorias e prestação de serviços* (ICMS) beneficiam os municípios onde

estão instaladas as minas, mas não os municípios impactados por abrigar famílias de empregados na mineração e por serem cortados por vias de acesso utilizadas pela mineração.

Ao longo da vida útil de uma mina de ferro várias transformações ocorrem nos municípios nos quais incidem, direta ou indiretamente, os impactos causados pelas operações mineiras. Os gráficos da figura 7 mostram a variação das receitas dos municípios onde as minas de ferro se instalaram; o significado em termos de fonte de renda direta da população desses municípios, indicado pela participação em termos percentuais da mineração como geradora de empregos formais; e a necessidade de investimentos em infraestrutura. Deles se pode depreender dois períodos críticos em termos de impactos sociais: o início da operação e a desativação da mina. Nesses momentos ocorrem transformações

importantes em termos de receitas familiares e municipais e a necessidade de investimentos na infraestrutura urbana, tanto no município em que a mina se instalou, quanto nos municípios vizinhos afetados. Nesses períodos críticos, os impactos sociais e culturais são mais intensos. No início das operações da mina, há uma incidência e afluxo de migrantes para a região, muitas vezes com culturas diferentes das comunidades locais podendo gerar tensões sociais. O aumento de receitas disponíveis causa transformações no espaço e nas instalações urbanas, aumentando a participação percentual e quantitativa do setor de serviços, na renda dos municípios. No período de desativação da mina, o oposto acontece, com uma diminuição de receitas municipais provenientes de taxas e impostos da mineração, há perda de receita por redução de atividade comercial local e pela migração.

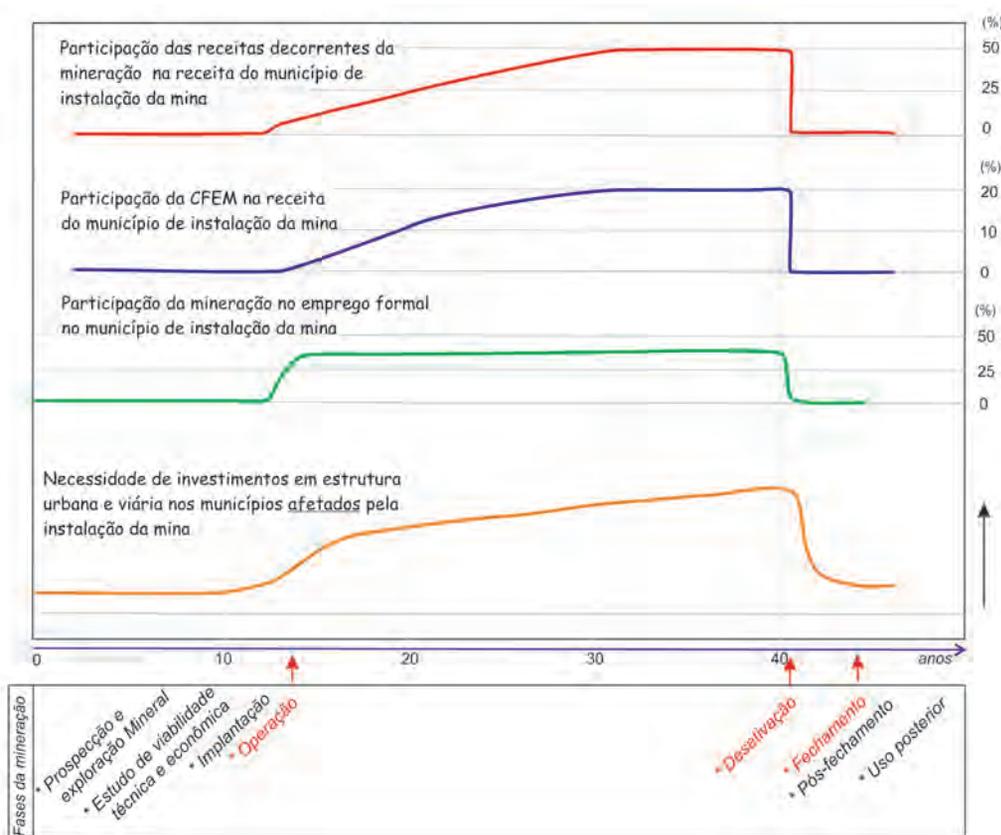


Figura 7 - Variação da participação das taxas e impostos incidentes sobre a mineração na receita dos municípios ao longo das diferentes etapas na existência de uma mineração de ferro, seu significado em termos de emprego formal e seu impacto nos municípios vizinhos, afetados pela atividade minerária.

Informações de base: Enriquez (2008), Flóres e Lima (2012) e Sánchez et al. (2013).

CAMINHOS PARA A REDUÇÃO DE CONFLITOS E IMPACTOS

Este texto abordou aspectos relacionados ao uso da natureza como recurso, em especial os materiais geológicos, sendo os minerais e rochas ricas em ferro o seu enfoque. Nele, vimos que há aspectos fundamentais no uso desse tipo de recurso natural: a sua localização restrita na superfície da geosfera, que condiciona geograficamente a sua extração, a cultura ou conhecimento de como localizá-lo, extrai-lo e transformá-lo e os impactos que estas operações causam na sua fonte, a natureza.

Discorremos sobre o fato de que, em um mesmo contexto geográfico, a natureza pode apresentar-se como provedora de diferentes recursos e que eles podem ser utilizados de diferentes formas e em níveis diferentes de complexidade de transformação, implicando em cadeias produtivas locais, regionais, nacionais e globais. Dessa convergência de recursos naturais em uma mesma região e da multiplicidade de níveis de interesse em cada recurso provido, surgem os conflitos socioambientais. Ao longo do Século XX a humanidade conscientizou-se da necessidade de instituir regiões em que não se devem utilizar a natureza como recurso, ou fazê-lo de modo a não causar quebras nos ciclos naturais vitais.

Em função das pressões feitas em vários países pela sociedade civil, a legislação relacionada ao uso dos recursos minerais e a legislação ambiental têm incorporado instrumentos preventivos, de controle e de mitigação dos impactos ambientais. Avanços têm sido feitos em relação aos direitos das comunidades tradicionais a um território e seus recursos, à manutenção de sua cultura e relações sociais. Os atores relacionados às cadeias produtivas minerais globalizadas, como é o caso da do ferro, parecem ter dado alguns passos em direção a iniciar a harmonização com os anseios sociais. Nos últimos anos organismos internacionais e nacionais ligados à mineração lançaram documentos que indicam procedimentos e posturas que convergem aos interesses sociais (ver IBRAM, 2013; SÁNCHEZ et al., 2013; ICMM, 2008; 2009; 2010; 2011).

Por seu lado, o Ministério Público Federal e as promotorias estaduais, em suas coordenações voltadas a defesa do meio-ambiente e patrimônio cultural, têm atuado no sentido de defender o interesse público e fiscalizar o cumprimento da legislação nacional e dos tratados em que o Brasil é signatário.

Algumas ações ainda precisam avançar muito para que os impactos e conflitos associados à extração, beneficiamento e distribuição de recursos minerais às indústrias de transformação, em especial o ferro, sejam minimizados.

Como foi mostrado neste capítulo a distribuição das jazidas de ferro no Brasil é ampla, localizando-se em diferentes biomas e densidades populacionais, que variam desde as altas concentrações da região central de Minas Gerais a regiões pouco habitadas como no Amapá. Nas regiões ferríferas brasileiras há uma diversidade de comunidades tradicionais, de histórico de ocupação do território que fazem parte do mosaico cultural nacional. Para enfrentar o desafio de harmonizar a produção de minério de ferro com a preservação ambiental e com as demais necessidades das populações por recursos naturais, dois instrumentos devem ser mais bem utilizados: o zoneamento ecológico, econômico e territorial das regiões produtoras de ferro, aliado a um planejamento territorial e de produção a médio e longo prazos. É justamente na utilização desses instrumentos que se faz necessária e urgente a participação das associações científicas e das organizações não governamentais.

REFERÊNCIAS

- ACSELRAD, H. Conflitos Ambientais: a atualidade do objeto. In: ACSELRAD, H. (Org.) *Conflitos Ambientais no Brasil*. Rio de Janeiro: Relume Dumará/Fundação Heinrich Böll, 2004a. 294p.
- ACSELRAD, H. As práticas espaciais e o campo dos conflitos ambientais. In: ACSELRAD, H (Org.). *Conflitos Ambientais no Brasil*. Rio de Janeiro: Relume Dumará/Fundação Heinrich Böll, 2004b. 294p.
- ALLGAIER, F. K. Environmental Effects of Mining. In: MARCUS, J. J. (Ed.). *Mining Environmental Handbook*, San Mateo, p.132-189, 1997.
- BERTÉ, R. *Gestão ambiental e responsabilidade social corporativa nas organizações*. Curitiba: Edição do autor, 2007. 236p.
- BITAR, O. Y.; ORTEGA, R. D. Gestão Ambiental. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Eds.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. cap. 32, p.499-508.
- BRASIL. CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº. 001, 23 jan., 1986. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>. Acesso em: mai. 2014
- CASTRO, P. T. A. Cangas: a influência da geodiversidade na biodiversidade. In: SIMPÓSIO: AFLORAMENTOS FERRUGINOSOS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO: BIODIVERSIDADE, CONSERVAÇÃO E PERSPECTIVAS DE SUSTENTABILIDADE, 1, 2008. *Anais...* Belo Horizonte: ICB/UFMG, 2008. p.30-51.
- CASTRO, P. T. A.; NALINI Jr, H. A.; LIMA, H. M. *Entendendo a Mineração no Quadrilátero Ferrífero*. Belo Horizonte: Ecológico, 2011. 93p.
- ENRIQUEZ M. A. *Mineração: Maldição ou Dádiva? Dilemas do desenvolvimento sustentável a partir de uma base mineira*. São Paulo: Signus Editora, 2008. 434p.
- FLÔRES, J. C. C.; LIMA, H. M. *Fechamento de mina: aspectos técnicos, jurídicos e socioambientais*. Ouro Preto: Editora UFOP, 2012. 315p.
- FREIRE, W. *Fundamentos de direito mineral brasileiro*. Disponível em: <www.institutowilliamfreire.org.br/?id_pagina=329#> Acesso em: mai. 2014.
- FUNDAÇÃO ALEXANDER BRANT. 2012. *Guia técnico para atuação do ministério público no licenciamento ambiental de atividades de mineração*. Belo Horizonte: MPMG Jurídico, 2012 (Edição Especial Guia Técnico de Mineração).
- HEIDER, M. *A Evolução da mineração do ferro - 2000 a 2011*. Disponível em <www.inthemine.com.br/mineblog/?cat=4>. Acesso em: março 2014.
- IBRAM- INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. *Mineração e Meio Ambiente*. Brasília. IBRAM. 1992. 75p.

- IBRAM- INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. *Gestão para a sustentabilidade na mineração: 20 anos de história*. Organizado por Cláudia Franco de Salles Dias, Rinaldo César Mancin, M^a Sulema M. de Budin Pioli. Brasília: IBRAM, 2013. 168 p
- ICMM- INTERNATIONAL COUNCIL ON MINING AND METALS. *Diretrizes de Boas Práticas para Mineração e Biodiversidade*. Londres, 2008. 158p.
- ICMM – INTERNATIONAL COUNCIL ON MINING AND METALS. *Direitos Humanos na Indústria de Mineração e Metais Tratamento e Resolução de Preocupações e Queixas Locais*. Londres, 2009. 32p.
- ICMM- INTERNATIONAL COUNCIL ON MINING AND METALS. 2010. *Mining: Partnerships for Development. Position Statement*. Londres. 4p.
- ICMM- INTERNATIONAL COUNCIL ON MINING AND METALS. *Guia de boas práticas mineração e povos indígenas*. Londres, 2011. 132p.
- INDEXMUNDI . Disponível em: <www.indexmundi.com>. Acesso em: mai. 2014.
- JACOBI, C. M. Afloramentos ferruginosos: um ecossistema diverso e ameaçado. In: SIMPÓSIO: AFLORAMENTOS FERRUGINOSOS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO: BIODIVERSIDADE, CONSERVAÇÃO E PERSPECTIVAS DE SUSTENTABILIDADE, 1, 2008. *Anais...* Belo Horizonte: ICB/UFMG, 2008. p. 2-14.
- LITTLE, P. Os conflitos socioambientais: um campo de estudo e ação política. In: BURSZTIN, M. (Org.). *A difícil sustentabilidade: política energética e conflitos ambientais*. Rio de Janeiro: Garamond, 2001.
- MINAS GERAIS. Lei Estadual no 11.726/94. <www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2292>. Acesso em: mai. 2014.
- MIRANDA, M. P. S. Mineração em áreas de ocorrência de patrimônio espeleológico. *MPMG Jurídico*, 2012. p. 53-60 (Edição Especial Mineração)
- SÁNCHEZ, L. E.; SILVA-SÁNCHEZ, S. S.; NERI, A. C. 2013. *Guia para o Planejamento do Fechamento de Mina*. Brasília: Instituto Brasileiro de Mineração, 2013. 224p.
- TONIDANDEL, R. P; PARIZZI, M. G.; LIMA, H. M.. Aspectos legais e ambientais sobre fechamento de mina, com ênfase no estado de Minas Gerais. *Geonomos*, v.20, n.1, p.32-40, 2012.
- WANDERLEY, L. J. M. *Conflitos e movimentos sociais populares em área de mineração na Amazônia brasileira*. 2008. 152f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
- WANDERLEY, L. J. M. Recursos minerais na Amazônia brasileira: impactos e perspectivas. In: MALERBA, J. (Org.). *Novo marco legal da mineração no Brasil: para quê? Para quem?* Rio de Janeiro: Ed. FASE, 2012. 162p.

GEOESPELEOLOGIA DAS
CAVERNAS EM ROCHAS
FERRÍFERAS: ASPECTOS
DIMENSIONAIS, MORFOLÓGICOS,
HIDROLÓGICOS E SEDIMENTARES



ALLAN CALUX

Instituto de Geociências da USP

ROBERTO CASSIMIRO

Instituto do Carste
Observatório Espeleológico



INTRODUÇÃO

Apesar de serem registradas em praticamente todos os continentes (GAUTIER, 1902; JUTSON, 1914; DIXEY, 1920; DE CHÉLETAT, 1938; CHABERT; COURBON, 1997), cavidades naturais subterrâneas em rochas ferríferas são relativamente pouco estudadas (AULER; PILÔ, 2005). No entanto, se por um lado a literatura científica é escassa e os estudos acadêmicos, incipientes, por outro, o número crescente de estudos espeleológicos realizados com a finalidade de licenciamento ambiental no Brasil geraram um conjunto significativo de dados que apontam para duas realidades: a de que cavernas ferríferas são numerosas e muito mais comuns

do que se imaginava há alguns anos; e a de que o Brasil, detentor das maiores reservas de minério de ferro do mundo, apresenta grande potencial para ocorrência dessas feições. De fato, bases de dados oficiais e oficiosas apresentam mais de quatro mil cavernas desse tipo cadastradas em bases públicas e privadas (CALUX, 2013), distribuídas principalmente nas províncias espeleológicas da Serra dos Carajás, na Amazônia, e do Quadrilátero Ferrífero (Figura 1), com ocorrências não tão expressivas em Caetité (SETE, 2008), no sul do Estado da Bahia, e na região de Porteirinha (CARMO et al., 2011), norte do Estado de Minas Gerais.

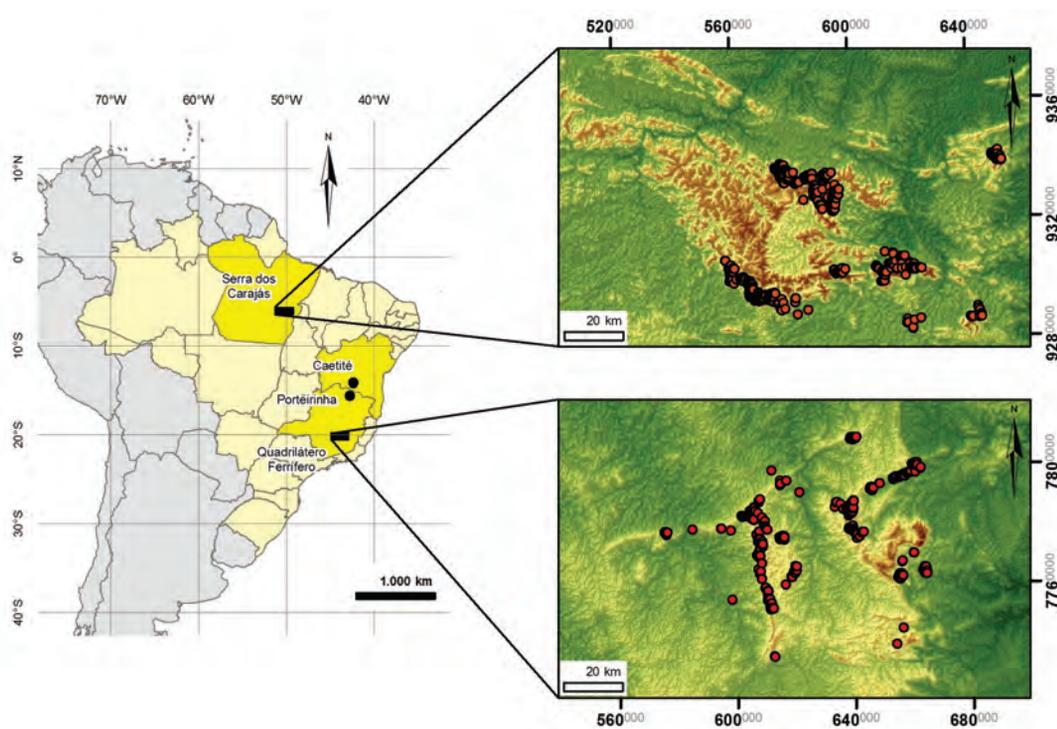


Figura 1 - Localização das províncias espeleológicas da Serra dos Carajás e do Quadrilátero Ferrífero. Os pontos laranja e o vermelho registram as cavernas cadastradas no Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE, 2014). Mapa: Allan Calux.

ESTUDOS PIONEIROS

No Brasil, a primeira referência a essas feições foi feita por Saint-Hilaire, que em 1818 descreveu uma gruta, localizada no santuário da Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais (HILAIRE, 1974). Décadas depois, em uma caverna na região de Água Quente, também no Quadrilátero Ferrífero, o mineralogista Henwood (1871) descreveu estalactites e crostas de hidróxido de ferro.

Após estes trabalhos, têm-se menções esparsas sobre cavernas ferríferas, como a de Tassini (1947) que descreve uma cavidade na Serra do Curral, em Belo Horizonte, Minas Gerais. A partir do final da década de 1950, com a atuação sistemática dos geólogos do Serviço Geológico Norte Americano (USGS), estudos mais detalhados sobre as cavidades foram realizados. Nesse período, os estudos mais

aprofundados sobre as cavernas em formação ferrífera no Quadrilátero Ferrífero, foram realizados pelo geólogo norte americano George Simmons. O trabalho clássico de Simmons (1963) contempla diversas cavidades na Serra do Batateiro, na Serra do Tamanduá, no Morro da Queimada e na Serra do Cural e resultou na elaboração de um modelo genético e também no detalhamento da mineralogia das cavernas, sendo o primeiro pesquisador a sugerir hipóteses para a espeleogênese de cavernas ferríferas.

Na região da Serra dos Carajás, Estado do Pará, a primeira referência a cavernas deve-se a Tolbert et al. (1971) que, ao detalhar a origem das cangas lateríticas de Serra Norte, comenta sobre as grandes cavernas encontradas sob as couças. Segundo os autores, a formação dessas cavidades está associada à drenagem de águas superficiais através de fraturas, resultando na lixiviação de minério macio, filitos e xistos.

Os estudos espeleológicos na Serra dos Carajás tiveram um grande avanço a partir dos trabalhos de pesquisadores e entusiastas ligados ao Grupo Espeleológico Paraense. Pinheiro et al. (1985) apresentam resultados do estudo de quatro cavernas de Serra Norte, a Gruta dos Anões, Gruta do N1, Gruta do Gavião e Gruta da Onça. Além do levantamento topográfico das cavidades, realizaram levantamentos de intensidade de luz penetrante, temperatura, umidade, coleta de espécimes vegetais nas zonas de entrada, coleta micológica e análise dos sedimentos do piso. Foram feitas descrições detalhadas da morfologia das cavernas e apresentadas hipóteses espeleogenéticas que resultaram em um modelo genético geral para as cavernas da Serra dos Carajás, pesquisa aprimorada em Pinheiro e Maurity (1988).

Estudos sobre os processos de dissolução e a mineralogia envolvida nas fases iniciais da espeleogênese foram elaborados por Maurity e Kotschoubey (1995), que defenderam que o desenvolvimento das cavernas e demais feições superficiais, definidas pelos autores como pseudocársticas, é controlado por fatores estruturais e pela existência de zonas de baixa densidade no substrato rochoso. Em síntese, o modelo estabelece uma evolução em três estágios. No *primeiro estágio* há percolação de soluções aquosas ao longo de descontinuidades estruturais (fissuras e fraturas) e conseqüente desenvolvimento de um sistema reticulado de vazios. Ainda nessa etapa,

ferro e alumínio em parte mobilizados migram para zonas mais profundas do manto de alteração. No *segundo estágio*, o preenchimento de fissuras e fraturas na interface crosta-saprólito por óxi-hidróxido de ferro e alumínio gera estruturas do tipo *boxwork*. Por fim, no *terceiro estágio*, a dissolução e eluviação lateral da matriz argilosa resulta no desenvolvimento de zonas de baixa densidade, onde há colapsos parciais e formação das cavernas.

Também no Pará, O Grupo Espeleológico de Marabá (GEM), com ações capitaneadas pela Fundação Casa de Cultura de Marabá (FCCM), desenvolveu importantes trabalhos de base envolvendo a prospecção, identificação e cadastro de centenas de cavernas ferríferas (VON ATZINGEN; CRESCÊNCIO, 1999; VON ATZINGEN et al., 2009).

Mais recentemente, Pereira (2012), em trabalho de base, identificou e caracterizou 52 cavernas na Serra da Piedade, localizada na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero. As cavernas foram subdivididas em oito grupos, em função de sua inserção na compartimentação geomorfológica da serra, e classificadas segundo a presença ou não de evidências de processos de dissolução ou se em tálus, o que permitiu constatar que 29 (55,8%) cavernas estão em contexto de rampa de tálus, 17 (32,7%) não apresentam evidências de processos de dissolução e 6 (11,5%) apresentam feições tipicamente cársticas. Embora a pesquisa não tenha pretendido discutir processos espeleogenéticos, seus resultados permitem identificar uma tendência de ocorrência em função do compartimento da paisagem em que estavam inseridas.

Um trabalho de síntese dos processos espeleogenéticos foi desenvolvido por Dutra (2013). Para a autora, a espeleogênese pode estar relacionada a uma grande diversidade de processos, a saber: erosão sob as couças ferruginosas; erosão em cabeceiras de drenagens; erosão por cachoeira; erosão nas margens de drenagens; erosão em bordas de lagoas; ampliação por abatimentos; depósitos de tálus; lixiviação de quartzo e carbonatos; dissolução de sílica; dissolução por atividade hidrotermal; e, por fim, biogênese.

Calux (2013), sob a perspectiva de que uma geofoma cárstica é aquela em que a dissolução constitui o processo mais importante na sua configuração

morfológica e que, portanto, a paisagem ferruginosa pode ser entendida como cárstica, estudou a gênese e o desenvolvimento de cavernas ferríferas, em todo o Quadrilátero Ferrífero. Foram investigados os padrões geométricos e planimétricos de 160 cavernas. Destas, foram selecionadas 11 cavernas distribuídas em quatro distritos espeleológicos, Serra da Piedade, Sinclinal Gandarela, Serra da Moeda e Serra do Rola Moça, onde foi realizado detalhado levantamento dos atributos litoestruturais, hidrológicos, sedimentares e morfológicos, o que permitiu identificar evidências de controle estrutural e hidrodinâmico.

As evidências de controle identificadas por Calux, no Quadrilátero Ferrífero, também foram registrados por inúmeros pesquisadores na Serra dos Carajás, acrescido ainda dos controles litológico e estratigráfico (ABREU, 2014; BRAGA, 2014; CABRAL, 2014; ROSA, 2014).

O trabalho mais recente é o de Auler et al. (2014), que defendem uma iniciação hipogênica com estágios tardios vadosos, onde há um “mascaramento” das porosidades iniciais, elaboradas em zona saturada profunda.

ESPELEOLOGIA E PRÁTICAS ESPELEOLÓGICAS: CONCEITO E REPRESENTAÇÕES

Uma província espeleológica, nos termos de Karmann e Sánchez (1979), é definida como “(...) uma região, pertencente a uma mesma formação geológica, onde ocorrem corpos de rochas carbonáticas suscetíveis às ações cársticas, ocasionando a presença de agrupamentos de cavernas”. Essas províncias, nos setores com maior densidade de cavernas, podem ser subdivididas em distritos espeleológicos que, segundo os autores, testemunham a descontinuidade dos processos cársticos no interior da província geológica. Apesar de constituir uma proposta relativamente antiga, a sua base conceitual permanece bastante atual, embora trabalhos recentes sugiram sua substituição por “regiões cársticas” (AULER et al., 2001; CECAV, 2014). Oliveira et al. (2011) e Valentim e Olivito (2011), em trabalhos direcionados à definição de recortes espaciais que atendessem à legislação espeleológica para análise de relevância de cavernas, definiram as unidades espeleológicas do Quadrilátero Ferrífero/Conceição e da Serra dos Carajás, cujas unidades geomorfológicas, com algumas restrições, equivalem aos distritos espeleológicos.

Na Província Espeleológica do Quadrilátero Ferrífero, as cavernas ferríferas estão hospedadas em rochas do Grupo Itabira, com idade de 2,42 Ga (BABINSKI et al., 1991; 1993) e coberturas sedimentares cenozóicas. O Grupo Itabira é composto por formações ferríferas da Formação Cauê (itabirito silicoso) e da Formação Gandarela (itabirito dolomítico). As coberturas sedimentares cenozóicas correspondem aos depósitos de argilas laterizadas, depósitos elúvio-colúviais com capeamento limonítico (canga) e coberturas detrito-lateríticas.

O Quadrilátero Ferrífero tem geometria definida por megadobras sinformes e antifformes, truncadas por cinturões de falhas de empurrão, de forma que os distritos espeleológicos estão associados ao contexto megaestrutural da região (Figura 2). Os principais distritos espeleológicos da província do Quadrilátero Ferrífero são: Serra do Rola Moça (Figura 3), Serra do Curral (Figura 4), Serra da Piedade (Figura 5), Sinclinal Gandarela, Serra de Antônio Pereira, Serra de Ouro Preto, Miguel Burnier, Serra da Moeda, Serra do Itabirito (Figura 6) e Serra Azul (Figura 7). Os distritos com maior destaque são Serra da Piedade e Sinclinal Gandarela, cuja densidade de cavernas é de 2,8 e 2,4 cavernas por quilômetro quadrado, respectivamente. A Tabela 1 apresenta a área, a quantidade de cavernas (ordem de grandeza) e a densidade de cavernas em cada um dos distritos.

Tabela 1 - Área e quantidade de cavernas (ordem de grandeza) nos distritos espeleológicos da Província do Quadrilátero Ferrífero.

Província Espeleológica	Distrito Espeleológico	Área (km2)*	Quantidade de Cavernas**	Densidade Caverna/km2
Quadrilátero Ferrífero	Serra do Rola Moça	35	60	1,7
	Serra do Curral	39	15	0,4
	Serra da Piedade	36	100	2,8
	Sinclinal Gandarela	217	530	2,4
	Serra de Antônio Pereira	84	90	1,1
	Serra de Ouro Preto	28	30	1,1
	Miguel Burnier	111	40	0,4
	Serra da Moeda	80	100	1,3
	Serra do Itabirito	50	100	2,0
	Serra Azul	50	21	0,4

* Fonte: Oliveira et al. (2011). ** Quantidade aproximada de cavernas cadastradas em estudos ambientais públicos e inéditos.

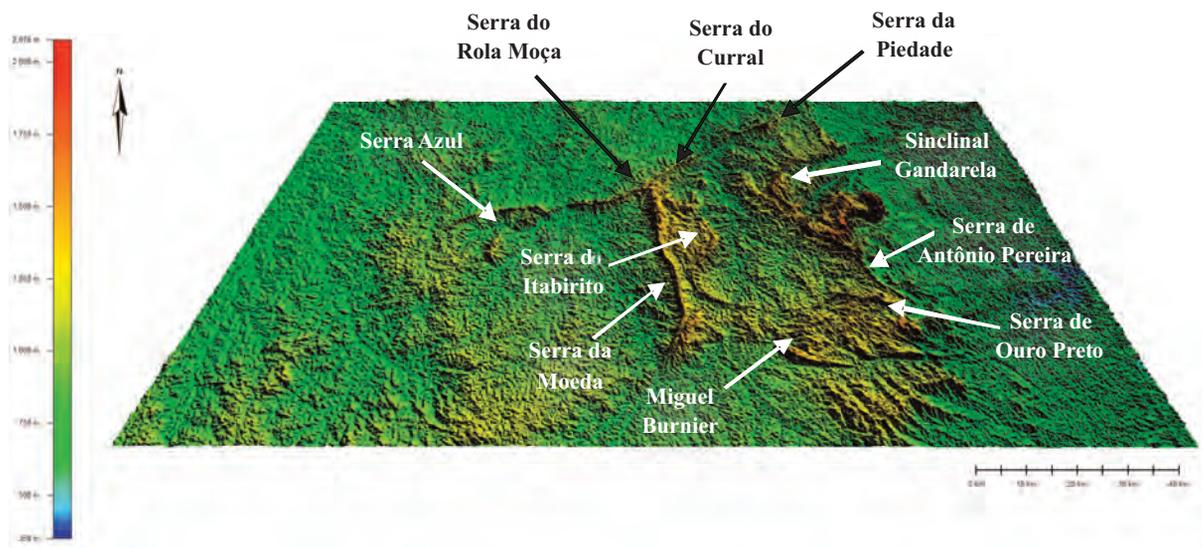


Figura 2 - Província Espeleológica do Quadrilátero Ferrífero e seus principais distritos espeleológicos ferríferos. Organização: Allan Calux



Figura 3 - Distrito Espeleológico Serra do Rola Moça: (A) Vista da porção sul, flanco oeste da Serra do Rola Moça; (B) Vista da porção cimeira da serra com couraças ferruginosas "sustentando" o relevo; (C) Desmantelamento das couraças ferruginosas formando anfiteatros. Fotos: Allan Calux (2012).



Figura 4 - Distrito Espeleológico da Serra da Moeda, o mais extenso do Quadrilátero Ferrífero, com cerca de 45 quilômetros de cristas e vertentes parcialmente recobertas por couraças ferruginosas. Allan Calux (2012).



Figura 5 - Serra da Piedade, o mais alto distrito espeleológico de cavernas ferríferas do Quadrilátero Ferrífero, com altitudes máximas que chegam a atingir mais de 1.700 metros. Foto: Allan Calux (2012).



Figura 6 - Em primeiro plano, a Lagoa dos Ingleses, em segundo plano, Distrito Espeleológico Serra do Itabirito. Foto: Allan Calux (2012).



Figura 7 - No plano de fundo, Distrito Espeleológico da Serra Azul visto da Serra da Moeda. Foto: Allan Calux (2012).

A província espeleológica da Serra dos Carajás, do ponto de vista geomorfológico, está inserida no domínio do Planalto Dissecado do Sul do Pará, sendo caracterizado por maciços residuais de topo aplainado e conjunto de cristas e picos interpenetrados por faixas de terrenos rebaixados (BOA-VENTURA, 1974), onde se encerram os distritos espeleológicos (Figura 8). Representa a porção crustal mais antiga e mais bem preservada do Cráton Amazônico. Tectonicamente estável desde o Ar-

queano, a região não foi afetada pelas orogêneses do Ciclo Transamazônico (TASSINARI; MACAMBIRA, 2004). Os principais distritos espeleológicos da província Serra dos Carajás são: Serra Norte, Serra Sul (Figura 9), Serra Leste (Figura 11), Serra do Rabo-Estrela (Figura 10), Serra da Bocaina (Figura 12), Serra Arqueada e Serra do Cinzento. A Tabela 2 apresenta a área de cada um dos distritos e a quantidade de cavernas em cada um deles, em ordem de grandeza.

Tabela 2 - Área e quantidade de cavernas (ordem de grandeza) nos distritos espeleológicos da Província da Serra dos Carajás.

Província Espeleológica	Distrito Espeleológico	Área (km ²)*	Quantidade de Cavernas**	Densidade Caverna/km ²
Serra dos Carajás	Serra Norte	1157	500	0,4
	Serra Leste	549	200	0,4
	Serra do Rabo-Estrela	197	30	0,2
	Serra da Bocaina	257	200	0,8
	Serra Sul	845	500	0,6
	Serra Arqueada	102	10	0,1
	Serra do Cinzento	514	***	-

* Fonte: Valentim e Olivito (2011). ** Quantidade aproximada de cavernas cadastradas em estudos ambientais públicos e inéditos. *** Potencial espeleológico identificado a partir de análise remotas. Área não prospectada, sem registros de ocorrência de cavernas.

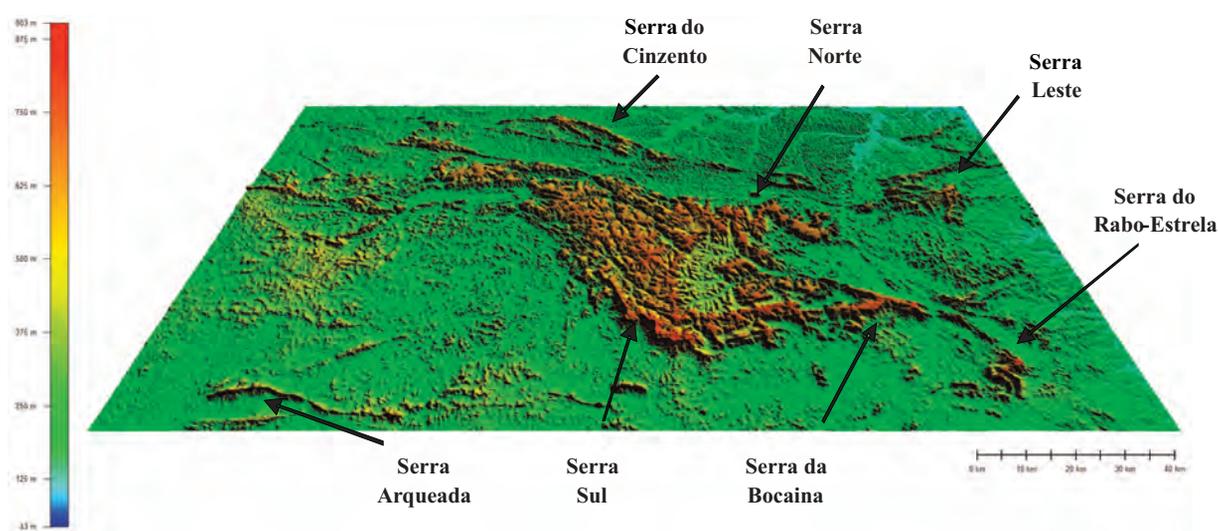


Figura 8 - Província Espeleológica da Serra dos Carajás e seus principais distritos espeleológicos ferríferos. Organização: Allan Calux.



Figura 9 – Distrito Espeleológico Serra Sul: lagoas localizadas no topo da paisagem são feições características deste distrito. Foto: Allan Calux (2012).



Figura 10 – Distrito Espeleológico Serra do Rabo-Estrela: (A) vertentes côncavo-convexas com presença de (B) pavimentos ferruginosos no topo. Fotos: Allan Calux (2012).

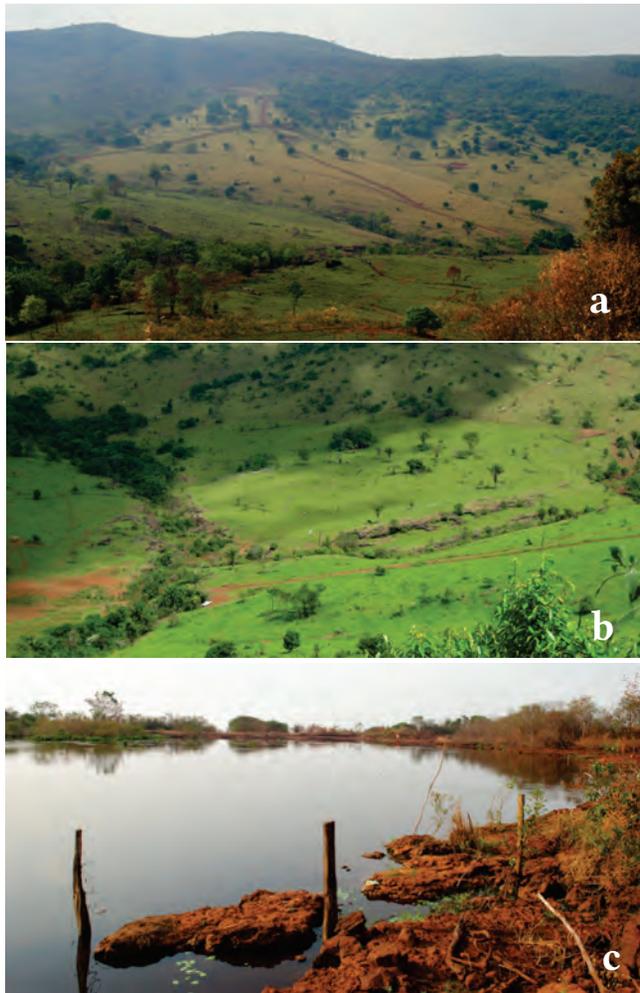


Figura 11 – Distrito Espeleológico Serra Leste: (A) visão geral das superfícies e dos vales encouraçados; (B) visão dos vales encouraçados; (C) presença de lagos no topo da paisagem. Fotos: Allan Calux (2012).

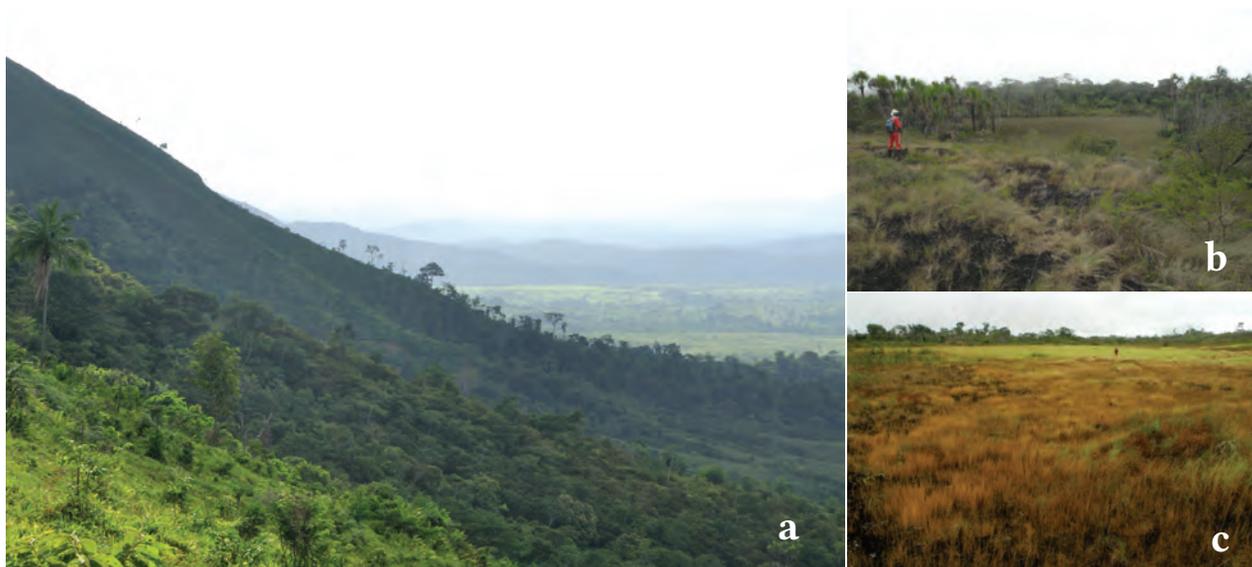


Figura 12 – Distrito Espeleológico Serra da Bocaina: (A) flanco norte da serra, em sua porção intermediária; (B) depressão doliniforme como presença de zonas alagadas no topo da serra; (C) campo rupestre no topo, com presença de vegetação de grande porte nas bordas onde há zona de ruptura de relevo (couraça ferruginosa) associada às cavernas. Fotos: Allan Calux (2012).

ASPECTOS DIMENSIONAIS, MORFOLÓGICOS HIDROLÓGICOS E SEDIMENTARES DAS CAVERNAS FERRÍFERAS

As cavernas ferríferas, de maneira geral, apresentam pequenas dimensões (PILÓ et al., 2009), sobretudo quando comparadas a cavernas em outras litologias. Apenas para se ter uma ordem de grandeza, enquanto a maior caverna carbonática, a Mammoth Cave (Kentucky, USA), apresenta desenvolvimento superior à 650 quilômetros, a maior caverna ferrífera, a Labirinto de Máfica (Pará, Brasil), apresenta cerca de 1,5 quilômetro (CRESCENCIO; CARMO, 2013). No entanto, apesar de relativamente menores, apresentam potencial para interpretações geomorfológicas.

Embora apresentem dimensões igualmente reduzidas, as cavernas localizadas na Serra dos Carajás são, do ponto de vista espeleométrico, maiores do que aquelas localizadas no Quadrilátero Ferrífero. A Tabela 3 apresenta os parâmetros estatísticos dos atributos espeleométricos das duas províncias espeleológicas. Como podemos observar, projeção horizontal, desnível, área e volume

daquelas são, em média, 1,5, 1,3, 2 e 3 vezes maior do que destas, respectivamente. Na Serra dos Carajás a projeção horizontal é bimodal, com maior ocorrência de cavernas com 10 e 12 metros de desenvolvimento. No Quadrilátero Ferrífero o caráter é multimodal, com maior recorrência de cavidade com nove, cinco e seis metros de desenvolvimento, respectivamente. A moda do desnível e da área em ambas as províncias espeleológicas é bastante semelhante, o que não acontece com o volume, que na Serra dos Carajás chega a ser o dobro da moda do Quadrilátero Ferrífero. Outro ponto de destaque é o parâmetro máximo: a projeção horizontal da maior caverna da Serra dos Carajás é aproximadamente 4,5 vezes maior do que a maior caverna do Quadrilátero Ferrífero, o desnível é quase o dobro, a área é 4,9 vezes maior e o volume 4,7 vezes maior. A Figura 13 apresenta a frequência absoluta de cavernas segundo seus atributos espeleométricos.

Tabela 3 - Parâmetros espeleométricos das cavernas ferríferas da Serra dos Carajás (SC) e do Quadrilátero Ferrífero (QF). (SC, n = 606; QF, n = 1363) Fonte: CANIE (2014); BioEspeleo (2014); EspeleoVale (2014).

Parâmetro	Projeção Horizontal (m)		Desnível (m)		Área (m ²)		Volume (m ³)	
	SC	QF	SC	QF	SC	QF	SC	QF
Média	32,7	21,8	4,0	3,0	127,4	61,0	247,7	81,3
Moda	{10;12}	{9;5;6}	{1}	{1}	{21}	{22}	{18;13}	{9}
Desvio padrão	57,1	25,3	4,4	3,0	222,1	78,1	527,1	145,8
Máximo	1546,0	345,0	38,2	20,0	4224,0	860,0	9999,0	2135,0
Mínimo	3,2	4,1	0,1	0,0	5,0	3,0	2,6	1,0

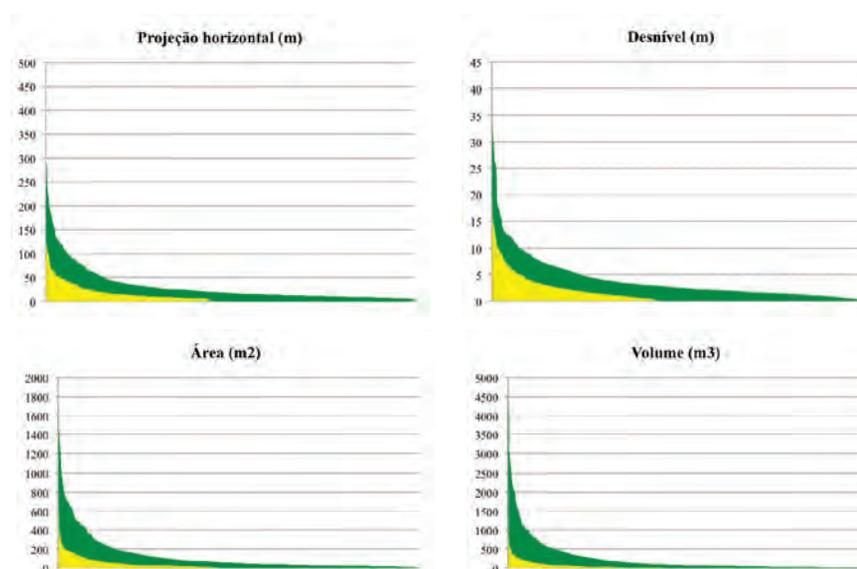


Figura 13 - Frequência absoluta das cavernas ferríferas da Serra dos Carajás (em verde) e do Quadrilátero Ferrífero (em amarelo) segundo seus atributos espeleométricos. Para melhor visualização, a escala da frequência excluiu os valores outliers da amostra. Fonte: CANIE (2014); BioEspeleo (2014); EspeleoVale (2014). Organização: Allan Calux.

As cavernas ferríferas podem ocorrer em todos os compartimentos da paisagem, desde o topo até as baixas vertentes (Figura 14-a, 14-d e 14-g). Preferencialmente associadas às zonas de ruptura de relevo (Figura 14-b, 14-c, 14-e e 14-h), ocorrem em bordas de platôs lateríticos, nas cabeceiras e bordas de drenagem, na borda de lagoas e em depressões doliniformes (Figura 14-b) posicionadas tanto no topo quanto nas vertentes inclinadas. Essas zonas de ruptura têm continuidade e regularidade variada. Quando associadas a feições tectônicas tendem a ser mais regulares e contínuas, com dezenas a centenas de metros de

desenvolvimento. Quando relacionadas a feições atectônicas, como fraturas elaboradas pela decompressão lateral da couraça ferruginosa, por exemplo, tendem a ser irregulares e descontínuas, Figura 15.

Apesar dessa ocorrência generalizada, as cavernas ferríferas são fósseis, ou seja, estão em sua maioria isoladas umas das outras, de forma que são raros os casos onde há interconexão hidrológica entre elas. Isso ocorre porque no atual estágio evolutivo, o nível freático encontra-se na maior parte dos casos dezenas de metros abaixo do nível de desenvolvimento atual das cavernas.



Figura 14 - Inserção das cavernas na paisagem: (A), (B) e (C) caverna localizada no topo do distrito espeleológico Sinclinal Gandarela. (A) Inserção no topo da paisagem; (B) Entrada à montante em depressão doliniforme; (C) entrada a jusante em ruptura de relevo irregular e descontínua, perpendicular à maior inclinação da vertente. Fotos: Allan Calux (2012).

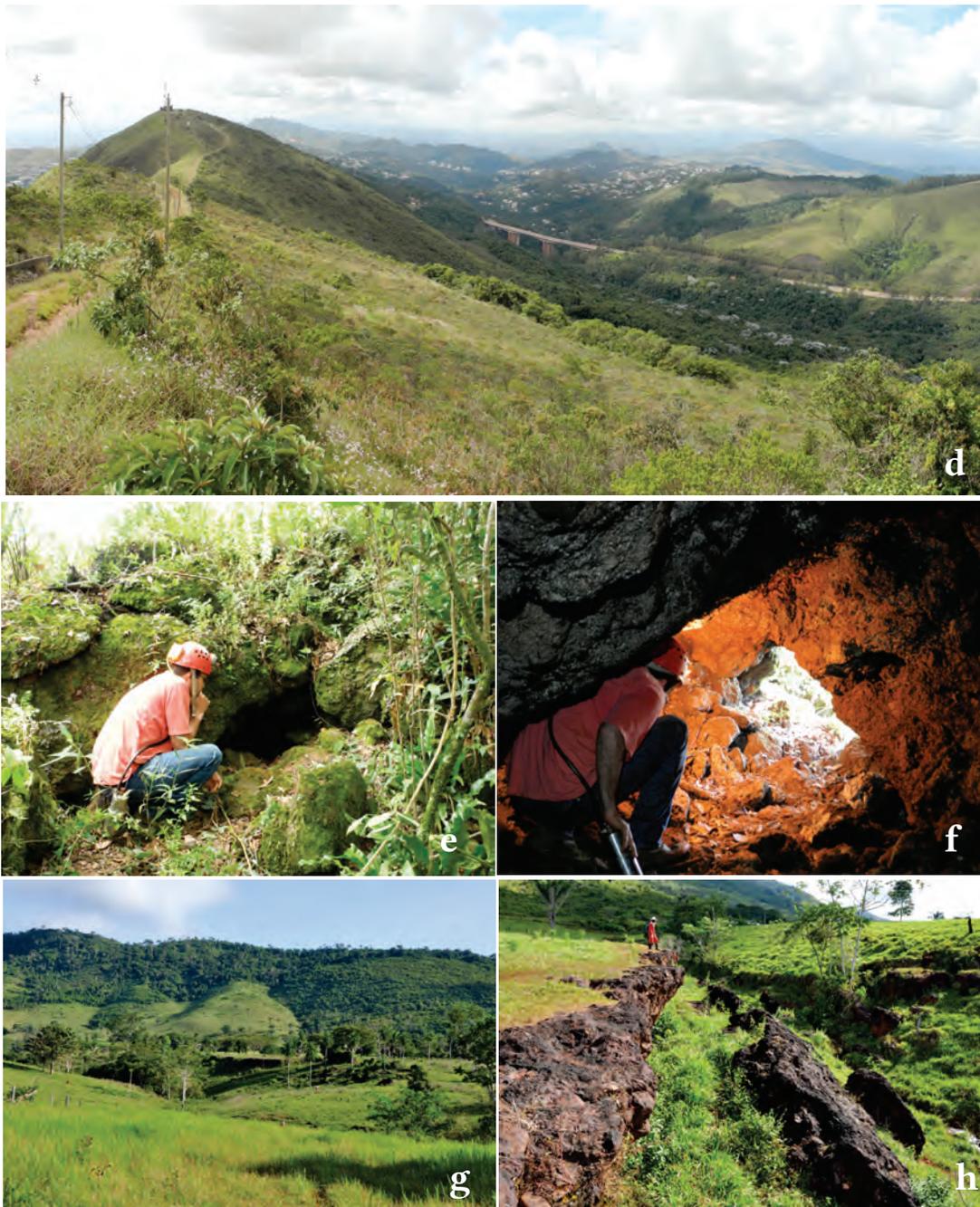


Figura 14 - Inserção das cavernas na paisagem: (D), (E) e (F) caverna inserida em média vertente em ruptura irregular e descontínua. (D) Inserção em média vertente; (E) visão da entrada; (F) visão da entrada de dentro para fora; (G) e (H) cavernas inseridas em rupturas de relevo (couraça ferruginosa) irregulares e descontínuas em baixa vertente na região da Serra dos Carajás. Fotos: Allan Calux (2012).

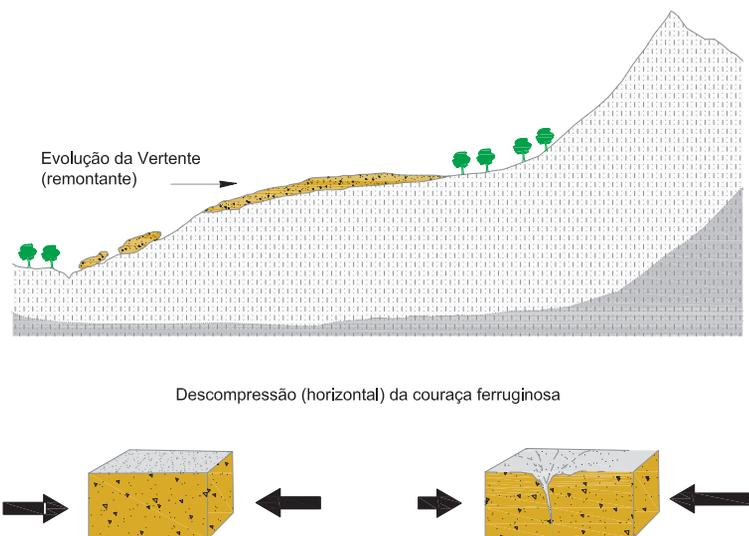
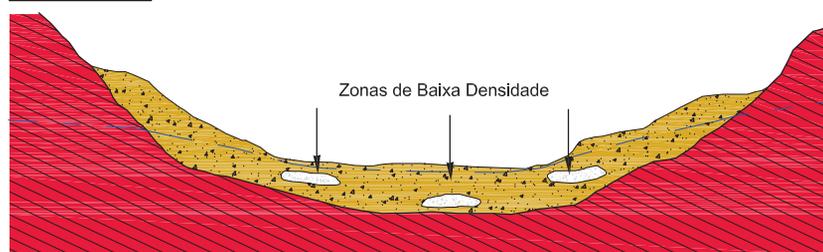


Figura 15 - Modelo hipotético de elaboração de rupturas de relevo por descompressão lateral. Calux (2013).

As entradas das cavernas ferríferas são predominantemente baixas e estreitas. Auler et al. (2014) sugerem que a iniciação das cavernas ferríferas se dá em ambiente hipogênico (saturado), ou seja, as cavernas se formariam no interior do maciço, em câmaras isoladas abaixo do nível freático. Com a evolução da paisagem, movimentos epigenéticos e isostáticos favoreceriam o rebaixamento dos níveis de base e o incremento dos processos erosivos, que resultariam na interceptação dessas câmaras coalescentes. Calux (2013) e Dutra (2013) sugerem, além desse modelo, inúmeros outros, no entanto, exceto nos modelos genéticos fluviais ou que envolvem oscilação do

lençol freático, a hipogenia é dominante. E de fato há aderência entre as geoformas resultantes e o modelo de interceptação de câmaras no interior do maciço (Figura 16). No entanto, vale salientar que um dos fatores determinantes para o tamanho das entradas é a agressividade da frente erosiva, quanto mais agressivo, maior a ruptura e a entrada, e, por conseguinte, quanto menos agressivo, menor a ruptura e a entrada da caverna. A Figura 17 apresenta entradas de cavernas ferríferas de variadas dimensões. Notar que as localizadas no Quadrilátero Ferrífero apresentam, de maneira geral, menores dimensões do que aquelas localizadas na Serra dos Carajás.

Fase 1 - Freática



Fase 2 - Vadosa

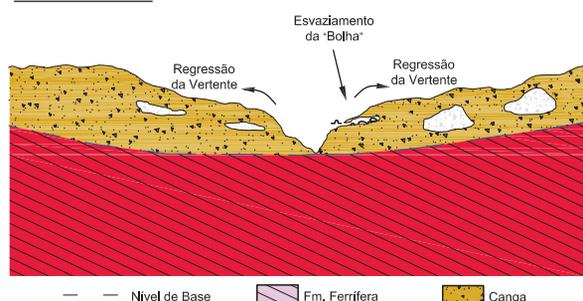


Figura 16 - Modelo morfogenético proposto por Calux (2013) para a Caverna da Junção, localizada no distrito espeleológico do Rola Moça, Quadrilátero Ferrífero: iniciação em ambiente saturado com desenvolvimento tardio relacionado à interceptação das cavidades oclusas por processos de regressão a remontante.



Figura 17 - Entradas das cavernas ferríferas: (A), (B), (C) e (D) na província espeleológica do Quadrilátero Ferrífero e (E), (F) na província espeleológica da Serra dos Carajás. Fotos: Allan Calux (2012).

O interior das cavernas ferríferas é heterogêneo. A regularidade do teto, paredes e piso está associada a rocha encaixante. Cavernas inseridas inteiramente em canga, seja ela química ou detrítica, matriz-suportada ou clasto-suportada, tendem a ser extremamente rugosas devido ao arranjo caótico do arcabouço do substrato (Figura 18-a e 18-b). Cavernas inteiramente inseridas em formação ferrífera bandada, seja ela itabirito ou jaspilito, pouco ou muito intemperizado, tendem a apresentar tetos regulares (Figura 18-c) e seções triangulares (Figura 18-d). Cavernas inseridas no contato geológico entre canga e formação ferrífera bandada vão apresentar características da rocha dominante, que pode ser setorizada. A altura do teto é variada, podendo atingir poucos

centímetros a até alguns metros.

O piso, quase sempre preenchido por depósitos sedimentares, pode ser plano, ascendente, descendente ou misto. A regularidade vai depender da origem e da granulometria. Sedimentos clásticos autóctones tendem a apresentar maior granulometria e angulosidade em superfície (Figura 19-a), já os alóctones, carregados para o interior das cavernas por meio de fraturas, microcanaís de drenagem (canalículos) ou orifício de menor porte, tendem a apresentar menor granulometria e angulosidade (Figura 19-b). Em alguns casos, o piso poderá ser recoberto por depósitos sedimentares químicos, normalmente concreções ferruginosas (Figura 19-c), apresentando inclusive paleopisos (Figura 19-d).

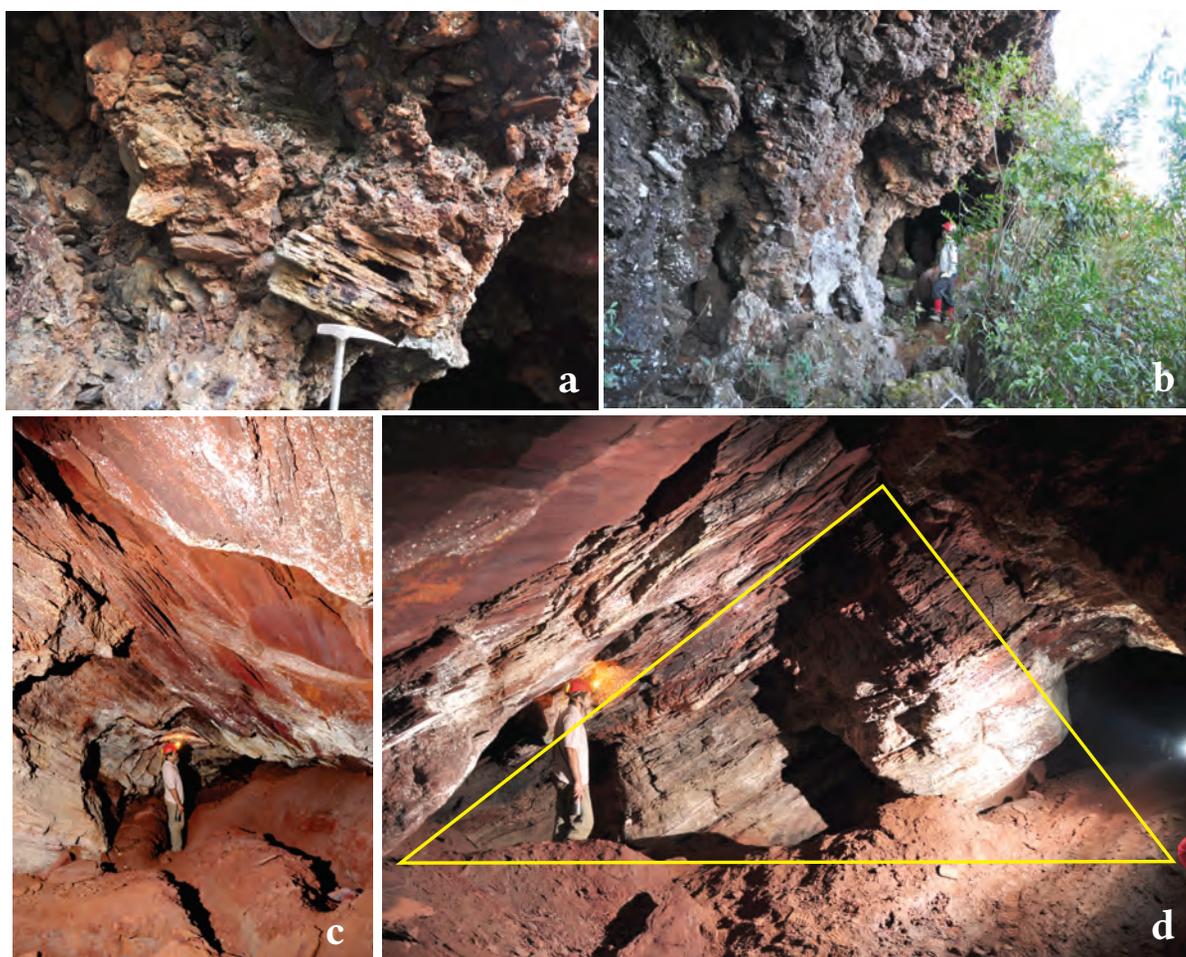


Figura 18 - (A) e (B) Rugosidade das paredes e do teto controladas pelo arranjo estrutural da rocha hospedeira (canga). (C) Teto regular, condicionado pelo plano do bandamento da formação ferrífera bandada; (D) Seção com geometria triangular em caverna inteiramente hospedada em formação ferrífera bandada. Fotos: Allan Calux (2012).

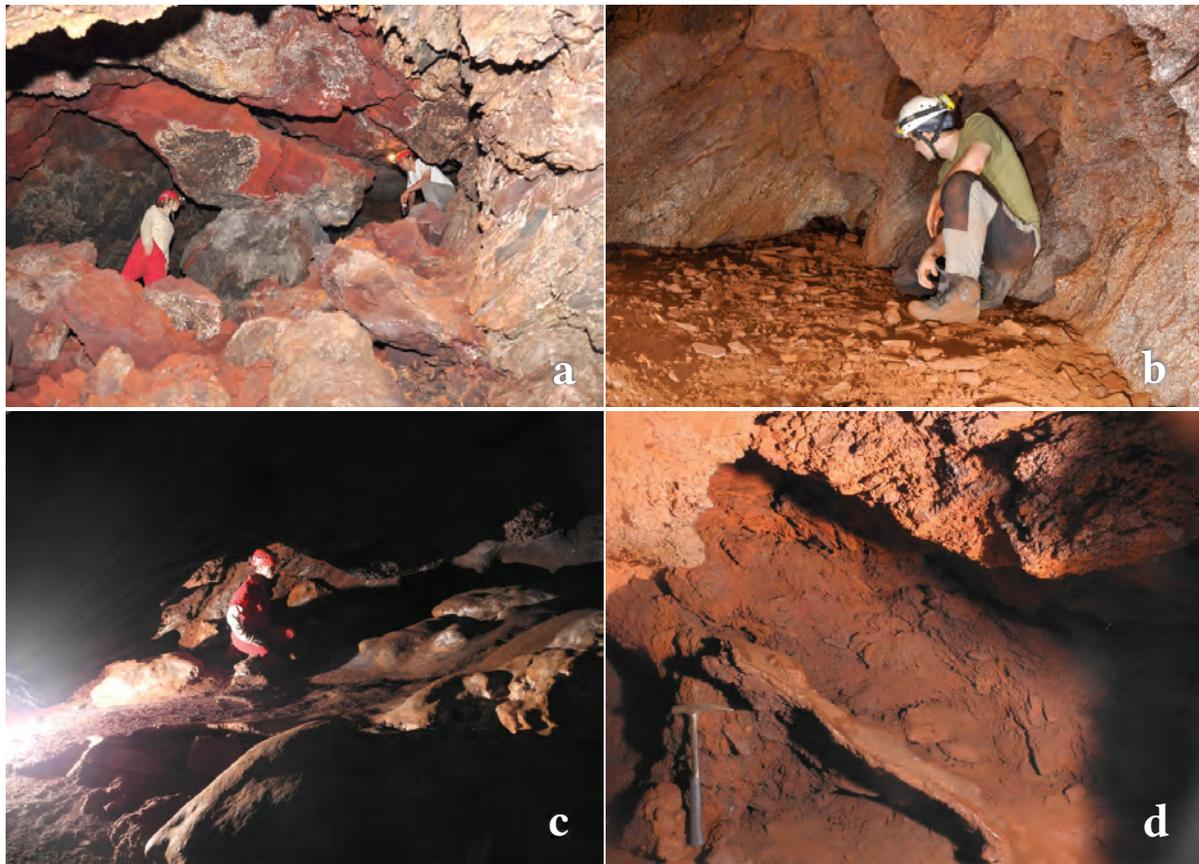


Figura 19 - (A) Sedimentos de origem autóctone recobrindo o piso: granulometria calhau e matacão, angulosos; (B) Cone de sedimentos terrígenos sendo “injetados” para o interior da caverna por meio de um canalículo; (C) Crostas ferruginosas recobrindo o piso; (D) Paleopiso constituído por crosta ferruginosa. Fotos: Allan Calux (2012).

Das macrofeições endocársticas, os microcanais de drenagem, ou canalículos, são as estruturas mais recorrentes em cavernas ferríferas. Correspondem a feições aproximadamente cônicas ou cilíndricas com diâmetros milimétricos à decimétricos. Localizam-se no teto, nas paredes ou na intersecção entre a parede e o piso. Seu desenvolvimento é condicionado por vetores hidrodinâmicos (Figura 20), embora controles estruturais (bandamento e eixos de dobras) também sejam bastante recorrentes (Figura 21 e 22). Sua densidade e localização são evidências dos vetores de desenvolvimento da caverna e atuam controlando os padrões geométricos e planimétricos da mesma (Figura 23). Quando concentrados na porção distal, sugerem que a caverna está evoluindo em direção ao interior do maciço rochoso, normalmente apresentando padrões geométricos triangulares e retangulares e planimetria retilínea. Quando de ocorrência generalizada, sugerem que a caverna evoluiu em ambiente confinado, apresentando padrões geométricos circulares e elípticos e planimetria espongiiforme e globular (CALUX, 2013).



Figura 20 - (A) e (B) Microcanais de drenagem (canalículos) condicionados por vetores hidrodinâmicos, truncando contatos geológicos e planos estruturais do substrato. Fotos: Allan Calux (2012).

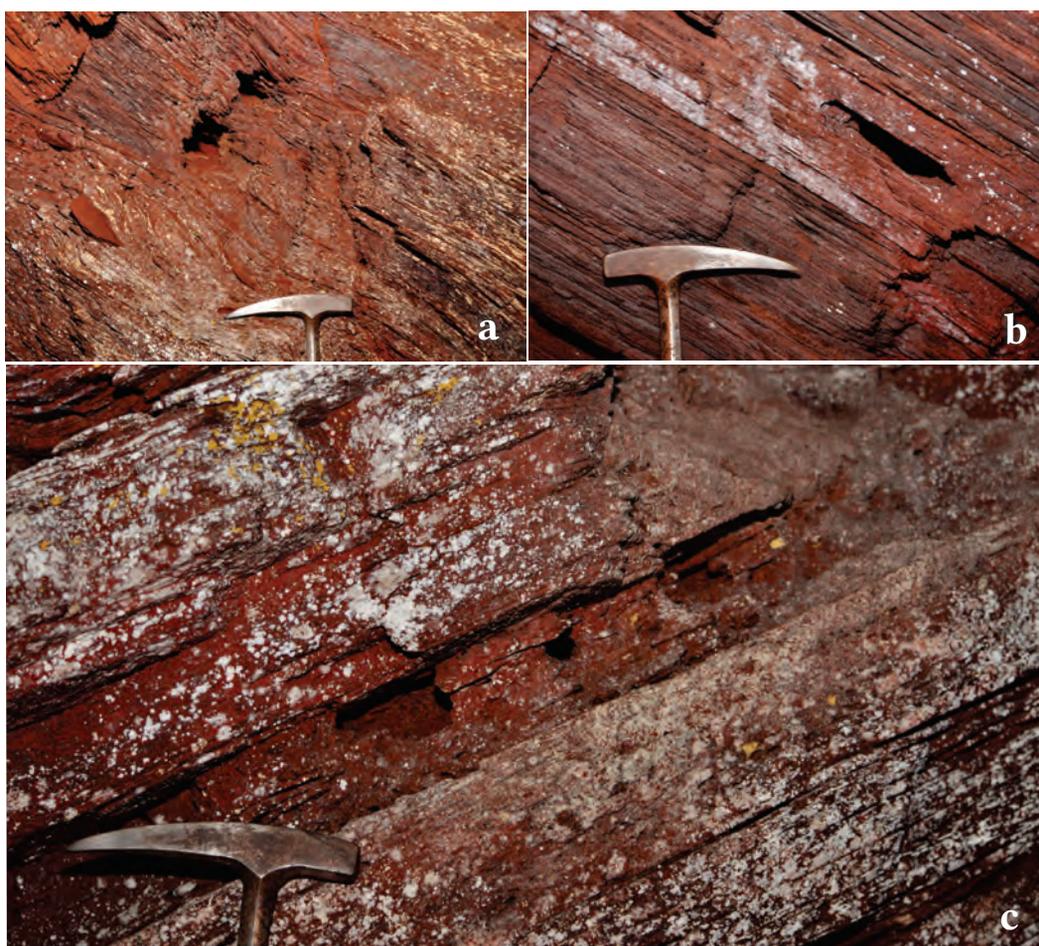


Figura 21 - (A), (B) e (C) Microcanais de drenagem (canalículos) condicionados por planos estruturais (bandamento) do substrato. Fotos: Allan Calux (2012).

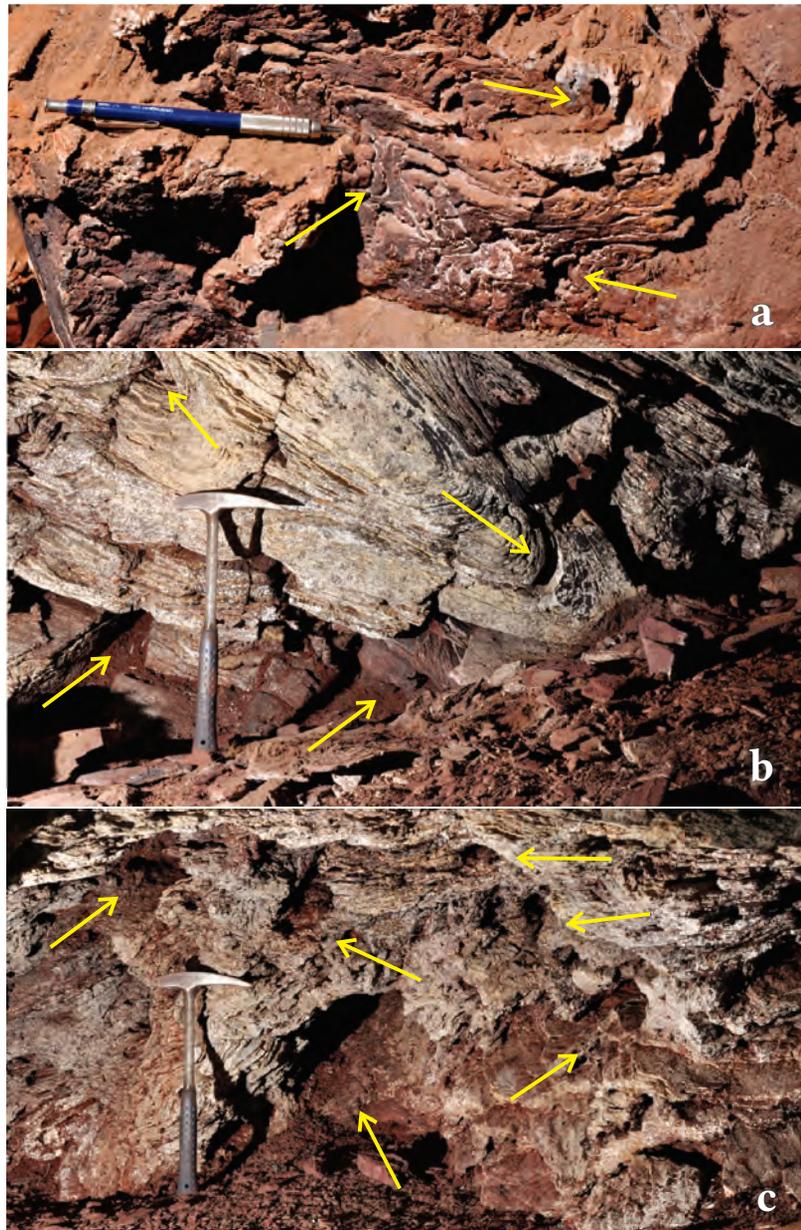


Figura 22 - (A), (B) e (C) Microcanais de drenagem (canalículos) condicionados por planos estruturais (eixos de dobra) do substrato. Fotos: Allan Calux (2012).

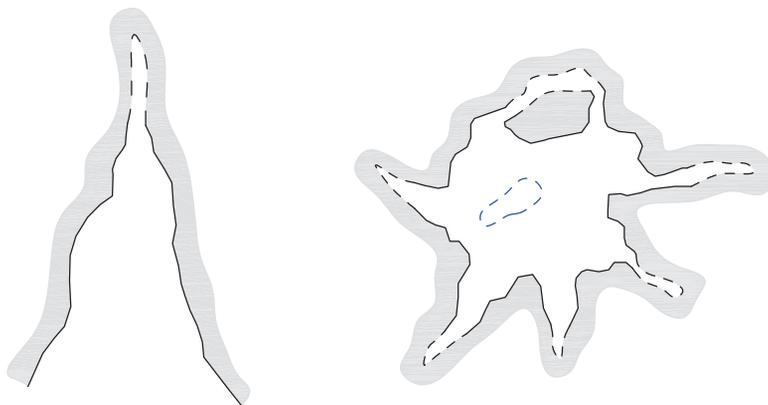


Figura 23 - (a) Modelo hipotético de planta de caverna com padrão triangular, com desenvolvimento controlado por microcanal localizado na porção distal; (b) Modelo hipotético de planta de caverna com padrão circular, controlado pela ocorrência generalizada de microcanais de drenagem. Fonte: Calux (2013).

Pilares e pendentes também são macrofeições bastante recorrentes em cavernas ferríferas. Trata-se de feições residuais, produto de erosão diferencial do substrato rochoso. Enquanto o primeiro vai do teto ao piso, o segundo “pende” do teto (Figura 24). Sua morfologia apresenta evidências tanto da iniciação quanto do desenvolvimento das cavidades. No entanto, devem ser interpretados em conjunto com outras estruturas espeleogenéticas. Quando associados a sulcos de percolação vertical,

tendem a apresentar altura maior do que o diâmetro, sugerindo uma evolução em ambiente vadoso. Quando associados a microcanais, tendem a apresentar morfologia alongada, com altura menor do que o comprimento, evidenciando uma individualização a partir do fluxo concentrado de água e outros materiais abrasivos. Quando de ocorrência generalizada, formando uma rede labiríntica, estão associados a ambiente freático ou de transição.

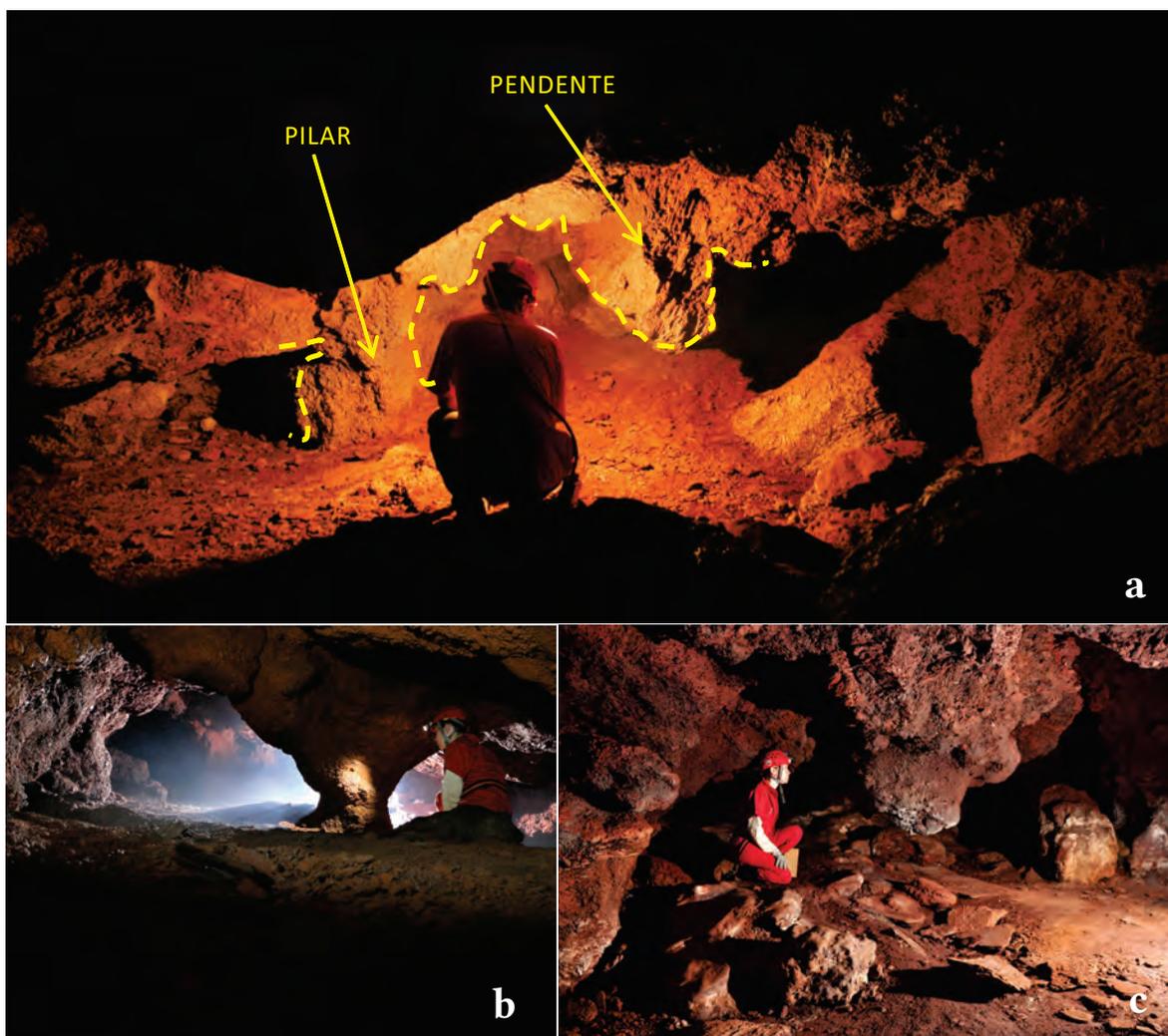


Figura 24 - (A), (B) e (C) Pilares e pendentes, feições erosivas residuais.
Fotos: Allan Calux (2012).

As cavernas ferríferas são “rasas”, ou seja, o substrato sobrejacente apresenta pequena espessura, em média inferior dois ou três metros. Dessa forma, feições do tipo claraboia (Figura 25) tam-

bém ocorrem com relativa frequência. São produto do abatimento progressivo de porções do teto que, em algum momento da história evolutiva da caverna, atingem a superfície.



Figura 25 - Claraboia: feições erosivas, produto do abatimento progressivo de porções do teto. Foto: Allan Calux (2012).

Uma característica marcante das cavernas ferríferas, mesmo no bioma amazônico, um dos mais úmidos do planeta é a predominante ausência de feições hidrológicas ativas, tais quais drenagens (perenes, intermitentes ou temporárias) e corpos hídricos (lagos ou empoçamentos de menor porte). No entanto, ape-

sar de menos comuns, sumidouros, surgências e ressurgências podem ser observadas em sistemas cársticos ferríferos (Figura 26). Em termos de domínio morfológico, essas feições costumam ocorrer em média e baixa vertente, mais próximas aos níveis de base local ou associados a calhas de drenagem temporárias.



Figura 26 - (A) Sumidouro temporário (B) reativado durante eventos pluviais na Província Espeleológica da Serra dos Carajás; (C) Sumidouro perene da Caverna Zodíaco localizada em média vertente, Província Espeleológica da Serra dos Carajás. (D) Surgência perene observada na Caverna Colúvio, localizada em baixa vertente na Província Espeleológica da Serra dos Carajás. Fotos: Allan Calux (2012).

Por outro lado, se feições ativas são incomuns, paleofeições que evidenciam fluxo concentrado no piso e nas paredes, paleoníveis (Figura 27-a), acúmulo de água e sedimentos em microbacias (Figura 27-b), sulcos de percolação vertical (Figura 27-c e 27-d), leques de sedimentos lamosos, entre outros, são relativamente comuns. Importante destacar que os sulcos erosivos são testemunhos de uma provável fase de evolução vadosa e sua recorrência é relativamente baixa. Ocorrem no teto e nas pare-

des e correspondem a feições semicilíndricas, verticalizadas, orientadas por vetores gravitacionais. Dependendo do seu grau de evolução, podem ocorrer associadas a pendentes e pilares, formando, em algumas situações, cúpulas de teto. Ocorrem com maior facilidade na canga, embora não estejam restritos a ela. Sua largura e profundidade pode ser interpretada como uma evidência relativa do tempo de evolução vadosa de uma caverna em relação a outras inseridas no mesmo contexto.

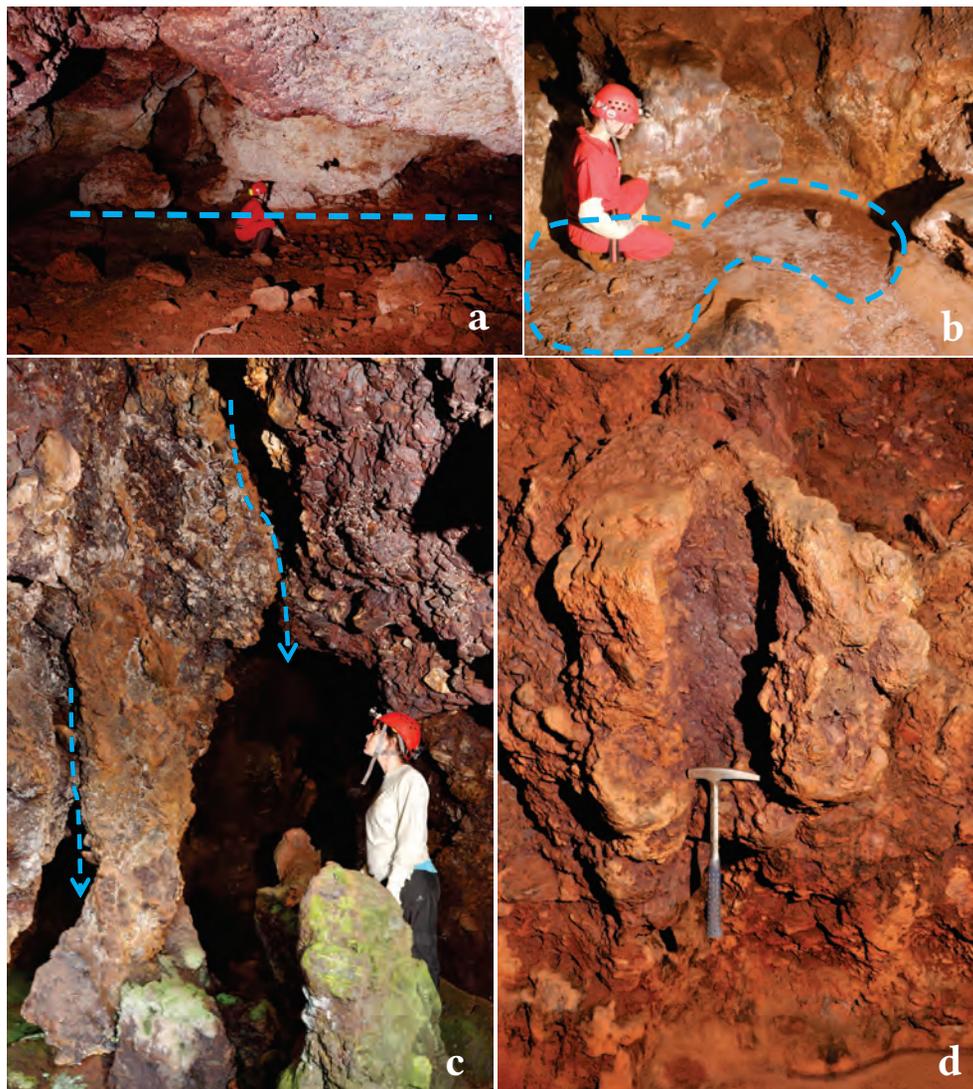


Figura 27 - (A) Marca d'água testemunhando antigo nível de corpo hídrico no interior de caverna na Serra dos Carajás; (B) registro de acúmulo temporário de água e sedimentos em microbacias; (C) e (D) sulcos de percolação vertical. Fotos: Allan Calux (2012).

CONCLUSÕES

A pesquisa de cavernas hospedadas em rochas ferríferas constitui um capítulo recente da espeleologia e da carstologia brasileira. No entanto, os estudos espeleológicos relacionados a processos de licenciamento ambiental, fomentados principalmente a partir dos anos de 2004 e 2005, geraram um volume significativo de dados que prescindem de análises e interpretações mais aprofundadas. Apesar das importantes contribuições já disponíveis na literatura especializada, há muito a ser feito.

REFERÊNCIAS

- ABREU, S. S. Petrografia de Formações Ferríferas Associadas às Cavernas de Serra Norte, na Unidade Espeleológica de Carajás, PA. 2014. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Geologia, Universidade Federal do Pará, Marabá, 2014.
- AULER, A. S.; PILÓ, L. B. Introdução às cavernas em minério de ferro e canga. O Carste, Belo Horizonte, v.17, n.3, p.70-72, 2005.
- AULER, A. S.; PILÓ, L. B.; PARKER, C. W.; SENKO, J. M.; SASOWSKY, I. D.; BARTON, H. A. Hypogene Cave Patterns in Iron Ore Caves: convergence of forms or process? Hypogene Cave Morphologies, Karst Waters Institute Special Publication 18, p.15-19, 2014.
- AULER, A.; RUBBIOLI, E.; BRANDI, R. As grandes cavernas do Brasil. Belo Horizonte: Rona Editora, 2001. 230 p.
- BABINSKI, M.; CHEMALE, F. Jr.; VAN SCHMUS, W. R. Geocronología Pb/Pb em rochas carbonáticas do Supergrupo Minas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3, 1991, São Paulo. Anais... São Paulo, 1991. p.628-631.
- BABINSKI, M.; CHEMALE, F. Jr.; VAN SCHMUS, W. R. A idade das Formações Ferríferas Bandadas do Supergrupo Minas e sua Correlação com aquelas da África do Sul e Austrália. In: SIMPÓSIO DO CRÁTON SÃO FRANCISCO, 2, 1993, Salvador. Anais... Salvador, 1993. p.152-153.
- BIOESPELEO. Banco de Dados Espeleológico, 2014 (Base de dados inédita).
- BOAVENTURA, R. S. Geomorfologia da Folha Tocantins. DNPM. Projeto RADAM Folha SB-22 e parte da Folha SC-22 Tocantins: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1974.
- BRAGA, A. A. J. Caracterização estrutural das áreas de ocorrência de cavidades naturais subterrâneas na Unidade Espeleológica de Carajás, Província Mineral de Carajás. 2014. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Geologia, Universidade Federal do Pará.
- CABRAL, E. S. Petrografia de Formações Ferríferas (BIF's) associadas a cavernas da Serra Sul (Serra dos Carajás - PA). 2014. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Geologia, Universidade Federal do Pará, 2014.
- CANIE - CADASTRO NACIONAL DE INFORMAÇÕES ESPELEOLÓGICAS. Disponível em: <www.icmbio.gov.br/cecav/canie>. Acesso em: jun. 2014.
- CALUX, A. Gênese e desenvolvimento de cavidades naturais subterrâneas em formação ferrífera no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. 2013. 220 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
- CARMO, F. F. do; CARMO, F. F.; SALGADO, A. A.; R.; JACOBI, C. M. Novo Sítio Espeleológico em Sistemas Ferruginosos, no Vale do Rio do Peixe, Norte de Minas Gerais, Brasil. Espeleo-Tema, v.22, n.1. p. 25-39, 2011. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/espeleo-tema/espeleo-tema_v22_n1_025-039.pdf> Acesso em: jun. 2014.
- CASSIMIRO, R.; CAMARGO, R.; PEREIRA, M. C. e FARIA, L. E. Gruta do Eremita na Serra da Piedade é topografada. Conexão Subterrânea. São Paulo: Redespeleo Brasil, n. 85, p. 3, 10 fev. 2011a.

CASSIMIRO, R.; PEREIRA, M.C.; GUERRA, A.; CAMARGO, R.; HISSA, L. B.V.; FARIA, L.E. RENGER, F.E. Referências históricas sobre os “milagres” e as cavernas da Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: Congresso Brasileiro de Espeleologia, 31, 2011b, Ponta Grossa, Anais... Ponta Grossa: SBE/GUPE/UEPG, 2011. P.357-364. Disponível em <http://www.cavernas.org.br/anais31cbe/31cbe_357-364.pdf> . Acesso em: abri. 2014.

CECAV - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS. Regiões Cársticas do Brasil. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/cecav/projetos-e-atividades/provincias-espeleologicas.html>> Acesso em: 20 jun. 2014.

CHABERT, C.; COURBON, P. Atlas des Cavités Non Calcaires du Monde. Union Internationale de Spéléologie, Au Pré de Madame Carle, 1997. 109p.

CRESCENCIO, G.; CARMO, P. L. Cavernas, mineração e comunidades da Amazônia: a caverna Labirinto de Máfica e o caso da Vila na Racha Placa em Canaã dos Carajás/PA. In: RASTEIRO, M.A.; MORATO, L. (Orgs.). CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 32, 2013, Barreiras. Anais... Campinas: SBE, 2013. p. 167-173. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais32cbe/32cbe_167-173.pdf>. Acesso em: jun. 2014.

DE CHÉLETAT, E. Le modele latéritique de l'ouest de la Guinée française. Revue Geographie Physique et Geologie Dynamique, v. 11, p.5-120, 1938.

DIXEY, F. Laterization in Sierra Leone. Geological Magazine, v.57, p.211, 1920.

DUTRA, G. Síntese dos processos de gênese de cavidades em litologias de ferro. In: RASTEIRO, M. A.; MORATO, L. (Orgs.). CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 32, 2013, Barreiras. Anais... Campinas: SBE, 2013. p. 415-426. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais32cbe/32cbe_415-426.pdf>. Acesso em: jun. 2014.

ESPELEOVALE. Banco de dados espeleológico, 2014 (Base de dados inédita).

GAUTIER, E. F. Madagascar-Essai de Geographie Physique. Paris: Colin, 1902.

HENWOOD, W. J. On the gold mines of Minas Geraes: Observations on metalliferous deposits. Transactions of the Royal Geological Society of Cornwall, v. 8, n.1, p.168-370, 1871.

HILAIRE, S. A Viagem pelo Distrito dos Diamantes e Litoral do Brasil. Belo Horizonte/São Paulo: Editora Itatiaia/USP, 1974. 233p. Tradução de Loenam de Azevedo Penna.

JUTSON, J. T. An outline of the physiographic geology (physiography) of Western Australia. Bulletin 61, Geological Survey of Western Australia, 1914.

KARMANN, I.; SANCHÉZ, L. H. Distribuição das rochas carbonáticas e províncias espeleológicas do Brasil. Espeleo-Tema, São Paulo, n. 13, p. 105-167, 1979.

MAURITY, C.W.; KOTSCHUBEY, B. Evolução das feições pseudocársticas na cobertura intempérica do platô N-1, Serra dos Carajás-PA. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4, 1994, Belém. Anais... Belém: SBG, 1994. p.353-355.

MAURITY, C.W.; KOTSCHUBEY, B. 1995. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 – Serra dos Carajás-PA. Degradação, pseudocarstificação, espeleotemas. Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi, v. 7, p.331-362, 1995 (Série Ciências da Terra).

OLIVEIRA, O. B.; OLIVITO, J. P. R.; RODRIGUES-SILVA, D. Caracterização da Unidade Espeleológica e das Unidades Geomorfológicas do Quadrilátero Ferrífero - MG. *Espeleo-Tema*, v.22, n.1, p.61-80, 2011. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/espeleo-tema/espeleo-tema_v22_n1_061-080.pdf> Acesso em jun. 2014.

PEREIRA, M. C. Aspectos Genéticos e Morfológicos das Cavidades Naturais da Serra da Piedade - Quadrilátero Ferrífero/MG. 2012. 150 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

PILÓ, L. B.; AULER, A. S. Geoespeleologia das cavernas em rochas ferríferas da região de Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 30, 2009. Montes Claros. Anais... Montes Claros, 2009. p. 181-186. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais30cbe/30cbe_181-186.pdf> Acesso em jun. 2014.

PINHEIRO, R.V.L.; HENRIQUES, A.L.; SILVEIRA, L.T.; MAURITY, C.W. Considerações Preliminares sobre a Espeleologia da Serra dos Carajás (PA). Grupo Espeleológico Paraense, 1985. 38p. (Relatório inédito)

PINHEIRO, R.V.L.; MAURITY, C.W. As cavernas em rochas intempéricas da Serra dos Carajás (PA) - Brasil. In: CONGRESSO DE ESPELEOLOGIA DA AMERICA LATINA E CARIBE, 1, 1998, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, 1988. p. 179-186.

ROSA, R. R. Fácies, Estratigrafia e Petrografia da Caverna N4WS-15 na Unidade Espeleológica de Carajás-PA, Serra Norte. 2014. 29 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Geologia, Universidade Federal do Pará.

SETE SOLUÇÕES E TECNOLOGIA AMBIENTAL. Pedra de Ferro Project: Relatório de Prospecção Espeleológica, 2008. 115p. (Relatório inédito)

SIMMONS, G. C. Canga caves in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *The National Speleological Society Bulletin*, v.25, n. 66-72, 1963.

TASSINARI, C. C. G.; MACAMBIRA, M. J. B. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: MANTESSO-NETO, V. et al. (Ed.) *Geologia do continente Sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca, 2004. p. 471-485.

TASSINI, R. Verdades Históricas e Pré-Históricas de Belo Horizonte antes Curral Del Rey. Belo Horizonte: Edição do autor, 1947.

TOLBERT, G.E.; TREMAINE, J.W.; MELCHER, G.C.; GOMES, C.B. The recently discovered Serra dos Carajás iron deposits, northern Brazil. *Economic Geology*, v.66, p.985-994, 1971.

VON ATZINGEN, N.; CRESCÊNCIO, G. Estudos espeleológicos em Serra Pelada, Curionópolis - PA. *Boletim Informativo da Fundação Casa da Cultura de Marabá*, p.63-72, 1999.

VON ATZINGEN, N.; CRESCÊNCIO, G.; CUNHA JR., W. R. Estudos espeleológicos na Serra dos Carajás, município de Parauapebas - PA. *Boletim Informativo da Fundação Casa da Cultura de Marabá*, p.51-73, 2009.

VALENTIM, R. F.; OLIVITO, J. P. R. Unidade Espeleológica Carajás: delimitação dos enfoques regional e local, conforme metodologia da IN-02/2009 MMA. *Espeleo-Tema*, v.22, n.1, p.41-60, 2011. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/espeleo-tema/espeleo-tema_v22_n1_041-060.pdf> Acesso em jun. 2014.

GÊNESE E DESENVOLVIMENTO DE CAVERNAS NATURAIS SUBTERRÂNEAS EM FORMAÇÕES FERRÍFERAS



GEORGETE DUTRA

Observatório Espeleológico



INTRODUÇÃO

No Brasil, existem diversos tipos de cavernas inseridas em litotipos variáveis. O assunto deste livro define as cavernas associadas a litologias de ferro em Minas Gerais. Nesse contexto foram estudadas cerca de 400 cavernas em formação ferrífera, canga ou ambas que ocorrem na região do Quadrilátero Ferrífero.

As cavernas estudadas concentram-se no Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, onde o clima é tropical marcado por duas estações definidas, com média de precipitação de 1.770 mm/ano (médias de 2000 a 2012) distribuídos em cerca de 1.550 mm de outubro a março (estação chuvosa) e 115mm de abril a setembro (estação seca).

Apresenta-se a seguir uma breve descrição da geologia regional e local acrescida das principais características das cavidades. Embora esses tópicos tenham sido abordados em outros capítulos faz-se necessário ressaltá-los de forma a ocorrer melhor entendimento sobre a gênese das cavernas.

Afloram no Quadrilátero Ferrífero rochas metamórficas pertencentes a uma sequência metavulcanossedimentar de idade Arqueana a Proterozóica que compreende os Supergrupos Rio das Velhas e Minas. O supergrupo Rio das Velhas consiste de sequência arqueana do tipo Greenstone Belt (ALMEIDA, 1976; SCHORSCHER, 1976). As rochas supergrupo Rio das Velhas servem de embasamento para o supergrupo Minas, em contato erosivo e discordante. O supergrupo Minas corresponde a unidades metassedimentares com sequências

clásticas (Grupo Caraça), química (Grupo Itabira) e química-clástica (Grupo Piracicaba).

As cavernas ocorrem na Formação Cauê do Grupo Itabira e na canga formada a partir do intemperismo dessa formação. A Formação Cauê é constituída por itabiritos e minerais hematíticos, itabirito hematítico e magnetítico indiferenciados, itabiritos argilosos (ocre). O enriquecimento na formação ferrífera gerou depósitos de óxidos de ferro com até 500 metros de espessura.

Uma das características da canga é possuir as superfícies expostas mais resistentes que a parte subsuperficial, garantindo a preservação do relevo face à erosão; esse fato pode ser facilmente observado nas cotas altimétricas das cavernas com altitudes médias em torno de 1.200m. Ressalte-se que, no Quadrilátero Ferrífero, as altitudes médias de 800-900m são frequentemente dominadas por linhas de cristas que ultrapassam, usualmente, a cota 1.200m e, excepcionalmente, a cota 2.000m como na Serra do Caraça, na borda leste. O gráfico 1 mostra a variação da cota altimétrica para 374 cavernas em minério de ferro com essa informação.

Os estudos foram realizados com base em vasta revisão da bibliografia disponível, além de observações de campo e análises morfológicas através de mapas de perfis das cavernas. Também foram utilizados dados oriundos de cadastros de nascentes para obtenção de informações geoquímicas e hidrológicas.

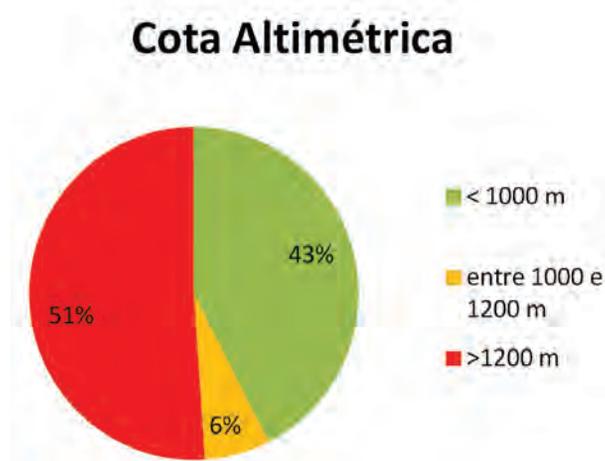


Gráfico 1 - Variação altimétrica das entradas das cavernas estudadas.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DAS CAVERNAS

Este capítulo visa ressaltar pontos de interesse na compreensão da gênese em cavidades associadas a litologias de ferro. Esse tipo de caverna concentra-se principalmente na região do Quadrilátero Ferrífero e em Carajás. Uma das características marcantes é o seu pequeno desenvolvimento se comparadas às cavernas em litologias carbonáticas. A morfologia varia entre linear a salões interconectados por passagens estreitas originando uma tipologia “esponjosa”. Também são características marcantes, a inclinação seguindo o terreno, ausência de um sistema concentrado de fluxos de água, paredes rugosas, desmoronamentos e/ou deslocamento formando salões e entradas pequenas.

De acordo com Piló e Auler (2009) as cavernas possuem três posicionamentos principais: podem situar-se na borda de lagoas; nas cabeceiras e borda de drenagens e nas bordas dos platôs, incluindo-se a alta, a média e a baixa vertente. Geralmente as cavernas localizam-se na quebra do relevo, seja internamente ou externamente ao platô de canga.

Quanto à disposição na vertente, para as cavernas com essa informação (374 cavernas), percebe-se que a maioria situa-se na alta ou média vertente (85%) em relação ao topo do relevo. Poucas cavernas situam-se na baixa vertente (Gráfico 2).



Gráfico 2 - Posicionamento topográfico em relação à vertente das cavernas estudadas.

As cavernas ferruginosas são conhecidas pelas suas entradas estreitas nas bordas de canga devido a processos erosivos, ou pequenas entradas verticais

onde o manto da canga sofre um colapso sobre parte de um conduto ocluso gerando assim uma entrada (SIMMONS, 1963) – Figura 1.



Figura 1 - Exemplo de entrada de caverna em canga. As entradas geralmente situam-se na quebra do relevo/canga. Foto: Georgete Dutra.

Como há informação dúbia sobre a litologia, como por exemplo, muitas das cavernas cadastradas não fazem diferenciação entre hematita (minério) e formação ferrífera, ambas as litologias foram classificadas

como formação ferrífera. Assim as cavernas ocorrem em canga, no contato canga formação ferrífera ou na formação ferrífera. No gráfico 3 pode-se observar as porcentagens para 374 cavernas com essa informação.

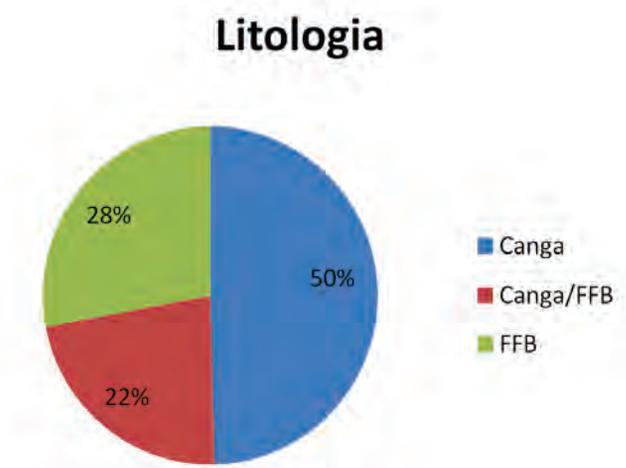


Gráfico 3 - Separação das cavernas por litologia. FFB = Formação Ferrífera Bandada.

Percebe-se que a maioria das cavernas estão na canga, ou no contato canga/formação ferrífera (77%). Cavernas em formação ferrífera podendo ser hematitas ou itabiritos perfazem um total de 28%.

Ressalte-se que muitas dessas cavernas foram cadastradas devido a empreendimentos minerais. O direcionamento no cadastro pode explicar porque as cavernas estão associadas a regiões com presença de mineração. Em nenhuma das cavernas cadastradas foi identificado o uso turístico.

O tamanho (projeção horizontal ou desenvolvimento) das cavernas em litologias ferríferas não pode ser comparado com cavernas em litologias carbonáticas. A projeção horizontal varia de poucos metros a cerca de, no máximo, 400m no Quadrilátero Ferrífero. A grande maioria das cavernas possui menos de 30m (74%). Cavernas com projeção horizontal superior a 100m são raras e representam menos de 2% da amostra para o Quadrilátero Ferrífero. O gráfico 4 mostra a porcentagens de cavernas para classes de projeção horizontal (em metros).



Gráfico 4 - Distribuição das cavernas em relação à projeção horizontal.

Também é característica marcante das cavernas em litologias ferríferas o perfil em ascendente seguindo grosseiramente o relevo; ausência de fluxos de água; paredes rugosas, desmoronamentos

e/ou deslocamento formando salões; quase todas as cavernas apresentam muitos fragmentos rochosos no piso. A figura 2, a seguir, exemplifica o exposto.



Figura 2 - Caverna no contato canga/FFB apresentando salão em ascendente e diversos blocos no piso devido a desabamentos. Foto: Georgete Dutra

Somente 45% das cavernas estudadas possuem água em seu interior. Quanto à forma de ocorrência da água observam-se principalmente gotejamentos

seguidos de presença de poça ou lago, água proveniente de condensação e presença de drenagem temporária ou permanente na cavidade (Gráfico 5).

Ocorrência de água

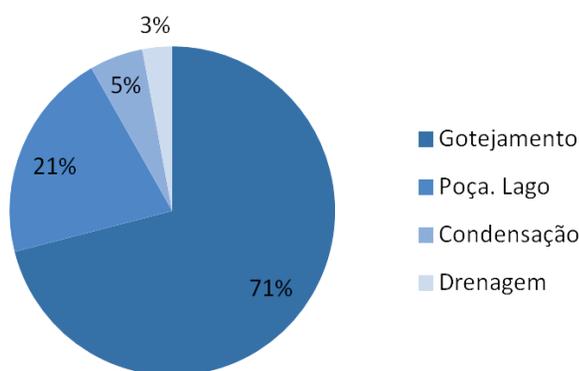


Gráfico 5 - Formas de ocorrência das águas nas cavernas.

As cavernas possuem padrões lineares, câmaras irregulares (PILÓ; AULER, 2009) ou a mistura de ambos (Figura 3). O padrão linear (Figura 4) caracteriza-se por uma direção principal de desenvolvi-

mento, podendo estar associado a uma feição estrutural marcante. O padrão câmaras irregulares caracteriza-se por salões interconectados por passagens estreitas.



Figura 3 - Padrões de cavernas em litologias de ferro. Direita - linear; centro - câmaras irregulares; esquerda - mistura. Desenho: Georgete Dutra - Modificado de COELHO a e b, 2006; COELHO et al, 2008.



Figura 4 - Aspecto de caverna com padrão linear. Foto: Georgete Dutra.

As cavernas com câmaras irregulares não parecem apresentar um lineamento principal. Infere-se que muitas das cavernas consideradas irregulares são, na realidade, cavernas lineares onde ocorreram junção e alargamento das fei-

ções. Prova disso são as passagens estreitas conectando os condutos; mais de uma direção de condutos e passagens; condutos paralelos ou semi-paralelos mostrando condicionamento estrutural.

GÊNESE DAS CAVERNAS

Com base nos dados expostos acima apresentam-se a seguir os principais processos envolvidos na gênese de cavernas. Na maioria dos trabalhos consultados os processos espeleogenéticos são apenas citados, não revelando detalhes sobre seu funcionamento. Nesta síntese tenta-se descrever os principais mecanismos que contribuem para a gênese e evolução de cavernas em litologias associadas a ferro.

EROSÃO

“Cavernas de erosão ocorrem imediatamente abaixo de mantos de canga que suportam bordas de vales. A erosão de material friável sob o manto de canga inconsolidada se inicia logo que uma drenagem rompe a camada de canga, formando um vale de encostas íngremes. Quando a inclinação da encosta do vale é acentuada, a rocha intemperizada e o material detrítico não cimentado são rolados encosta abaixo, criando pequenas cavernas. Depois de formadas as cavernas podem ser alargadas pela ação abrasiva de um curso d'água (SIMMONS, 1963).”

Maurity (1995) infere que a evolução dependeria da resistência da canga: em locais onde a canga era resistente formou-se salões e galerias pela ação erosiva das águas; em locais de crosta instável, esta cedeu formando as lagoas. Nas grutas, o abatimento de blocos do teto faz parte do processo de desenvolvimento destas.

De acordo com Piló e Auler (2009) a zona de contato canga/minério de ferro favorece a espeleogênese. Ainda segundo esses autores as cavernas exclusivas de canga parecem ser controladas pela variação de fácies. Na Figura 5 apresenta-se o contato entre a canga e a formação ferrífera bandada. Percebe-se que o contato é brusco marcado por uma superfície de erosão na formação ferrífera.

O processo de erosão pode ser dividido de acordo com a forma de ocorrência em erosão em cabeceiras de drenagens; erosão por cachoeiras; erosão nas margens de drenagens e erosão nas margens de lagoas.

Erosão em cabeceiras de drenagens

Este parece ser o principal processo de formação

das cavernas de contato. Neste caso estamos falando de erosões subsuperficiais geradas em terrenos com alto a médio gradiente (inclinação). As águas possuem alta energia garantindo a erosão mecânica das rochas (Figura 6). Se pegarmos um mapa topográfico podemos identificar as cabeceiras de drenagens com a forma de “leques”, ou seja, um escoamento difuso que posteriormente forma um canal onde há concentração das águas.

Vann (1963) e Moss (1965) observaram que nascentes situadas abaixo das crostas lateríticas favorecem a erosão. Essa retirada de material pode gerar cavernas em locais mais vulneráveis. No QF foram registradas diversas nascentes sazonais no contato canga/rocha. Essas nascentes possuíam invariavelmente um canal de pequeno diâmetro (<10 cm) de onde a água surgia (DUTRA, 2005; 2006; 2007; 2008).

O processo relaciona-se ao fluxo em túneis com diâmetro inferior a 1cm. Nesses casos, o fluxo turbulento favorece a erosão mecânica através da desagregação da rocha. Este processo pode originar canaliculos que progridem à montante. A parte de jusante erode com maior intensidade aumentando o diâmetro. A canga, sendo mais resistente, permanece, mas o substrato friável é removido nesse processo. Este substrato pode ser composto por hematitas ou formações ferríferas friáveis, solo ou mesmo minério menos resistente que a canga. Com a continuidade do processo, ocorrem pequenos desmoronamentos nas laterais e, por vezes, teto, sendo o material carregado pelas águas. Ressalte-se que esse processo ocorre principalmente no período chuvoso.

Com o desenvolvimento do processo, pode ocorrer junção entre cavernas próximas, sendo que em



Figura 5 - Discordância erosiva entre a canga (marrom) com a formação ferrífera (minério de ferro, cinza). Foto: Georgete Dutra

alguns casos a erosão remontante nos canalículos condiciona a captura de um conduto por outro, de forma análoga ao que ocorre em superfície nas redes hidrográficas. Ressalte-se que nos terrenos de canga só não ocorre o voçorocamento devido à alta resistência desta ao escoamento superficial; mas a incisão do canal pode ter originado as cavernas.

Nesse caso, se ocorrer nascentes, estas são tem-

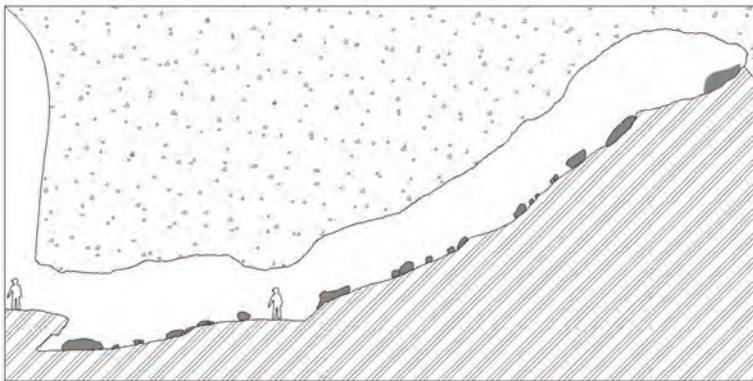


Figura 6 - Exemplo de perfil de cavidade em contato canga/minério onde pode ter ocorrido erosão em cabeceira de drenagem. Desenho: Georgete Dutra - Modificado de COELHO 2006.

A erosão remontante ocorre quando o nível de água intercepta a superfície do terreno, formando uma nascente. Salienta-se que, para ocorrer erosão remontante, tem que haver uma nascente; mas, como dito anteriormente, a maioria das cavernas estão secas, ou seja, não há interseção com o nível de água subterrânea.

Na erosão remontante, a escavação é de baixo para cima, acompanhando o nível de água. Assim as porções superiores seriam mais antigas e as inferiores mais recentes.

Características: presença de nascentes; desenvolve-se de baixo para cima acompanhando o nível de água.

porárias relacionadas ao fluxo hipodérmico com infiltração de águas pluviais à montante, desencadeando erosão e formando pequenos túneis.

Características: alta a média declividade das vertentes; desenvolve-se de cima para baixo; existência de um ou mais pontos onde as águas pluviais infiltram; perfil das cavernas acompanha o contato canga/rocha e, invariavelmente, o relevo.

Erosão por cachoeira

É um caso de erosão remontante, onde o fluxo de água superficial escoar através do terreno caindo de desníveis abruptos. Na queda, a energia potencial das águas possui grande poder erosivo desagregando as rochas abaixo. Com a continuidade do processo tem-se a formação de uma “marquise” de canga, podendo caracterizar uma reentrância na rocha. Geralmente formam-se abrigos nesse caso (Figura 7 e Figura 8).

Características: acompanha o relevo, presença de fragmentos de rocha na entrada (desabamentos do teto), desenvolve-se a partir da entrada.



Figura 7 - Exemplo de perfil de cavidade em contato canga/minério onde pode ter ocorrido erosão por cachoeira. Desenho: Georgete Dutra



Figura 8 - O escoamento superficial forma cachoeiras temporárias na quebra do relevo. Foto: Georgete Dutra

Erosão nas margens de drenagens

Neste caso, ocorre erosão mecânica que provoca solapamento das margens e consequente desmoronamento do material sobrejacente. A erosão ocorre principalmente na época de chuvas, em curvas de rios, formando abrigos ao longo das margens de drenagens. A altura da abertura pode correlacionar-se com a altura do nível de água nas drenagens, na época de chuvas (Figura 9).

Características: longa abertura, pouca profundidade, pouca altura, desenvolve-se a partir do exterior.

Erosão em bordas de lagoas

Em cavernas situadas às margens de lagoas, estas podem contribuir para sua gênese/evolução. Nesse caso é de se esperar uma maior amplitude da cavidade na linha de água devido à erosão/oxidação das paredes. O perfil da entrada seria lenticular horizontal.

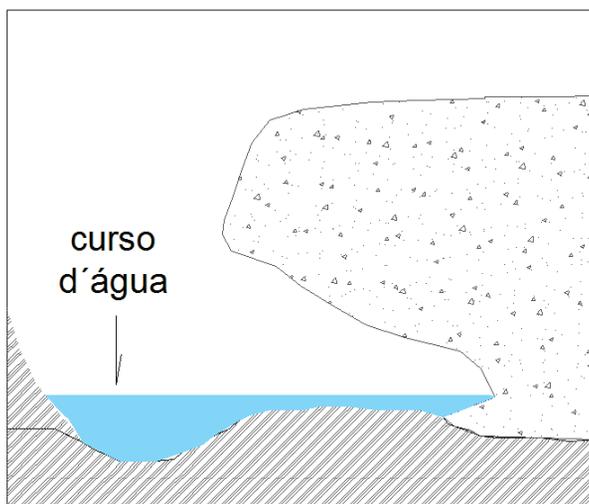


Figura 9 - Exemplo de perfil de cavidade em contato canga/minério onde pode ter ocorrido erosão nas bordas da drenagem. Desenho e Foto: Georgete Dutra.

GÊNESE/AMPLIAÇÃO DEVIDO A DESABAMENTOS

Somente analisando os mapas de diversas cavernas em litologias ferríferas percebe-se uma característica comum – grande parte das cavernas possuem fragmentos rochosos no piso indicando queda de blocos.

Os fragmentos são angulosos, indicando pouco ou nenhum transporte, tamanho e forma variados, podendo ser constituídos por cangas, formação ferrífera bandada, ou hematitas (Figura 10).

Os processos podem ser antigos ou recentes, há fragmentos e/ou pilhas de fragmentos cimentados no piso por crosta de ferro, indicando processos antigos, e sobre a crosta, há fragmentos soltos podendo indicar processos recentes ou, pelo menos, mais recentes que os cimentados.



Figura 10 - Desmoronamento no teto da caverna, ampliando o conduto.
Foto: Georgete Dutra.

DEPÓSITO DE TÁLUS

Cavernas formadas em tálus podem ocorrer em diversas litologias. Geralmente tem-se que ter energia potencial para a formação desse tipo de cavidade, com uma área fonte topograficamente superior à cavidade. Se considerarmos que as litologias ferríferas situam-se em cotas altimétricas elevadas em comparação ao terreno nos arredores, pode-se dedu-

zir que tem-se cavernas em depósito de tálus.

É comum a ocorrência de cachoeiras sazonais ou perenes nas quebras do relevo; dessa forma, é comum também a queda de grandes fragmentos de rocha das partes superiores, formando depósito nas partes baixas. Estes fragmentos empilhados podem formar cavernas e abrigos.

LIXIVIAÇÃO

A porosidade intergranular resulta da lixiviação do quartzo ou carbonato em solução, por processos de alteração supergênica. Esse processo de lixiviação envolve lenta corrosão (VARAJÃO et al. 1996a; 1996b; 200b) proporcionando a quebra da estrutura da rocha tornando-a friável.

Em estágios avançados de intemperismo, o quartzo e o carbonato podem ser totalmente extraídos da rocha, o que envolve redução de 30 a 40% do volume original (VARAJÃO et al. 2000a; TAYLOR et

al., 2001; MORRIS, 2002); a isso acrescenta-se acomodações gravimétricas e geração de porosidade residual entre 29% e 37% (RIBEIRO, 2003). Este estágio inicial facilitaria a remoção dos componentes e formação de vazios na rocha.

Já o ferro praticamente não sofre lixiviação, permanecendo no perfil de intemperismo na forma de plasmata hematíticos ou goethíticos que, por sua vez, preenche vazios deixados pela alteração supergênica (ROSIERE; CHEMALE, 2001). Infere-se que

esses plasmas hematíticos ou goethíticos podem originar também parte das carapaças ou crostas encontradas em algumas cavernas.

De acordo com Piló e Auler, 2009, existiriam cavernas em Carajás que estariam relacionadas aos processos de mineralização da formação ferrífera –

DISSOLUÇÃO

A origem do minério é controversa, sendo atualmente mais aceito o modelo de enriquecimento devido a fluidos mineralizantes (ver Rosière – capítulo da geologia) onde o modelo hipogênico, defendido por Taylor et al. (2001), parece ser mais coerente com o observado. No modelo hipogênico ocorreu primeiramente a remoção da sílica por fluidos termais permanecendo um resíduo rico em óxidos de ferro, carbonatos e silicatos de magnésio e apatita. Posteriormente, por processos supergênicos, ocorreu a dissolução do carbonato, fósforo e magnésio gerando o minério hematítico de alto teor. Nessa dissolução podem ter sido formadas cavernas.

A solubilidade de rochas siliciclásticas é geralmente baixa nas condições superficiais, sendo assim os processos de formação de cavernas é lento, o mesmo ocorrendo com cavernas associadas a litologias de ferro.

O processo de dissolução depende do pH. Segundo a representação de Mason (1966 – Figura 11) observa-se que os silicatos são solúveis no meio básico e pouco solúvel em meio ácido; já a alumina é extremamente solúvel entre o pH 4 e 5 e novamente entre o pH 9 e 10. Por sua vez, nas diversas amostras em nascentes e poços tubulares associados à formação ferrífera, tanto em Carajás quanto no Quadrilátero Ferrífero, tem-se pH das águas em torno de 5 (DUTRA, 2005; 2006; 2007; 2008). As análises físico-químicas das águas não resultaram em quantidades anômalas de ferro ou sílica. Ou seja, não é a dissolução o principal processo na gênese das cavernas em litologias ferríferas.

Valores elevados de pH podem ser conseguidos em grandes profundidades na crosta terrestre. Devido a este fato foi levantada a hipótese de que algumas cavernas podem ter sido originalmente formadas em grandes profundidades sendo preenchidas por depósitos minerais, como, por exemplo, carbonatos que posteriormente foram removidos por dissolução em condições subsuperficiais, favorecen-

denominadas por eles de cavernas “minerogênicas”.

Neste caso, as cavernas relacionadas à gênese do minério (lixiviação) são muito antigas e na maioria das vezes sem acesso. Poderiam ser oriundas das acomodações gravimétricas, gerando vazios, alguns podendo chegar a metros.

do o modelo hipogênico defendido por Taylor et al. (2001).

A solubilidade de sílica amorfa é bem superior à solubilidade do quartzo (PULINA; ANDREY-CHOUK, 2000). Este fato pode explicar, em parte, porque as cavernas em jaspilitos (Carajás) possuem dimensões maiores que as cavernas em itabiritos (Quadrilátero Ferrífero). Em alguns casos, as cavernas podem ter origem por dissolução através de águas termais.

Em algumas cavernas observam-se nítidas feições de dissolução, formando vales meandantes, alvéolos, pináculos (Figura 12). Ocorre também deposição na forma de espeleotemas tais como estalactites, cortinas, estalagmites, colunas, etc. Infere-se que estas cavernas que exibem dissolução estão relacionadas à contaminação por fosfatos, podendo ser oriundo da própria rocha, ou do guano dos morcegos (muitas dessas cavernas foram no passado ou atualmente “bat caves”, isto é, continham uma grande quantidade de morcegos e, conseqüentemente, guano). Os espeleotemas são de fosfato, corroborando a hipótese. Há uma correlação positiva entre as anomalias de fosfato nos minérios de ferro e a presença dessas cavidades com feições de dissolução.

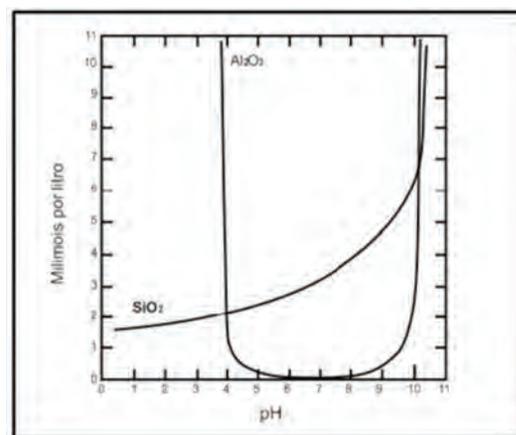


Figura 11 - Solubilidade Si e AL X pH (MASON, 1966).



Figura12 - Feições de dissolução em caverna de ferro - pináculos e meandros no piso. Foto: Georgete Dutra.

Hidrotermalismo

O conceito de que algumas cavernas podem ser formadas pela ascensão de águas termais e gases foi registrado primeiramente por Noggerath (1845) e Desnoyers (1845), conforme Shaw (1992) e Bosák (2000).

Há vários termos para definir um carste desenvolvido sob condições hidrotermais, por exemplo, “ore-thermal” (MAKARENKO, 1947), “thermomineral” (MICHAL, 1929-1930, KUNSKY, 1957), “endogenic” (DUBLYANSKY; KROPACHEV, 1981; IVANOV, 1983), “hypogenic” (KUTYREV; LIAKHNITSKY, 1982), e “hot” (KUTYREV et al., 1989). O termo geral englobando essas denominações seria carste hidrotermal.

O hidrotermalismo pode ser definido como o processo de dissolução e, possivelmente, preenchimento de cavernas por ação de águas termais (DUBLYANSKY, 1990; 2005). Pode ocorrer em rochas siliciclásticas e sulfatadas, rochas de sal, bem como em minérios sulfetados.

O desenvolvimento de cavidades por esse processo envolve o movimento de quantidades significativas de água quente; no caso do Brasil, onde não existem vulcões ativos, pode estar associado a falhas profundas.

Uma das formas mais abundantes e estáveis de sílica em condições crustais é o quartzo; porém à temperatura de 300 a 350°C e pressão entre 200 e 250 MPa, adquire um estado solúvel semelhante a gesso e anidrita (FYFE et al., 1981; YAKUTSENI, 1984). Ou seja, a migração da sílica é perfeitamente possível

em águas hidrotermais; um dos controladores de processo endogenético é a concentração de fluxo que possibilita a dissolução. Na ausência de fluxos concentrados ocorre a decomposição das rochas ao invés do desenvolvimento de cavernas.

Biogênese / Ampliação

Por enquanto, relaciona-se dois tipos de contribuição da biota à formação/ampliação das cavernas em litologias ferríferas.

As paleotocas geradas e/ou ampliadas por tatus, preguiças gigantes ou outros animais; esse tipo de gênese relaciona-se mais a cavernas em rocha máfica decomposta recoberta por carapaça de canga ou canga química. A rocha ou saprolito tem que ser friável e relativamente “mole” para que a fauna pleistocênica conseguisse escavar (Figura 13).

Outra forma seria a erosão mecânica intensificada por raízes de plantas, que aproveitam discontinuidades nas rochas e penetram por entre bandamentos e fissuras forçando a passagem e posteriormente favorecendo a quebra da rocha (Figura 14).

Além de raízes as contribuições orgânicas como guano, húmus e restos vegetais possibilitam a acidificação das águas a serem infiltradas, podendo contribuir para o processo de desagregação química da rocha. Como visto acima, a solubilidade do quartzo em pH ácido é pequena, mas ocorre lentamente. No caso do ferro, é comum observar-se no entorno das raízes a deposição de finas camadas de composição goethítica a óxido de ferro indicando a remobilização de pequenas frações de manganês e ferro.

CONCLUSÕES

Inicialmente, vale a pena lembrar que a canga é bem mais recente que a formação ferrífera, e também é bem mais recente que os depósitos de minério de ferro. Ou seja, até o relevo ser recoberto pela canga, este sofreu vários milhões de anos de intemperismo. Dessa forma seria possível ter-se formado um solo ou uma rocha decomposta a semi-decomposta que posteriormente foi recoberta pela canga. A própria formação da canga já auxiliaria na modificação (intemperismo) do substrato.

Para litologias associadas a ferro, o desenvolvimento de feições cársticas (lagoas, cavernas) é um processo demorado, onde os terrenos devem mais à erosão que dissolução com baixas taxas de denudação. São condições especiais e não frequentes.

Ainda há muitas dúvidas sobre a formação de cavernas em minério de ferro, mas também há alguns pontos já elucidados. A maioria das cavernas ocorre na canga e no contato canga/rocha; o processo predominante para formação das cavernas parece ser a erosão por drenagem temporária subsuperficial. Obtido o alargamento inicial, as cavernas parecem evoluir através de incasões/abatimentos. Essas cavernas possuem idade pós-Terciário Inferior (formação das cangas) e não estão relacionadas ao aquífero.

A pequena dimensão de várias das entradas pode ser explicada pela resistência da canga. A canga, quando exposta ao intemperismo, forma uma camada mais resistente que a canga não exposta,

formando uma carapaça. Uma forma de auxiliar a explicação seria pensarmos em, por exemplo, a casca de pão (carapaça de canga) e o miolo (rochas subjacentes). Se retirarmos o miolo veremos a casca com uma ou duas pequenas entradas de cada lado.

Independente do tipo de gênese pode ocorrer ampliação das cavernas devido à incasão de fragmentos, escavações da megafauna do pleistoceno e/ou erosões diversas.

O processo de incasão ocorre em quase todas as cavernas, como pode ser observado pela presença constante de fragmentos no piso.

Ainda ocorrem muitas dúvidas. Deve-se ter em mente a idade da canga e do minério. Seriam as cavernas tão antigas quanto à formação do minério e da canga, ou estariam elas relacionadas a eventos mais recentes, como, por exemplo, a glaciação?

Sabe-se que no Pleistoceno (2,5Ma) ocorreram oscilações climáticas devido à glaciação com alternâncias de clima úmido para condições áridas a semiáridas. Estudos palinológicos na região da Serra de Carajás indicam que houve quatro fases de retração da floresta amazônica, há 60.000, 40.000, 23.000 e 11.000 anos, indicando momentos de clima mais seco. Já entre 9.500 e 8.000 há indícios de expansão da floresta equatorial, indicando clima mais úmido que o atual (SUGUIO, 1999). As cavernas já teriam sido formadas nessa época, ou essas variações auxiliaram na gênese / desenvolvimento?



Figura13 - Possível paleotoca.
Foto: Georgete Dutra.



Figura 14 - Raízes de plantas no interior das cavernas aproveitando discontinuidades. Foto: Georgete Dutra.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul por ocasião dos períodos glaciais Quaternários. *Paleoclimas 3*. São Paulo, 1977.
- AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. *Geomorfologia*, v.18, São Paulo, 1969.
- ALMEIDA, F. F. M. J. O Cráton São Francisco. *Rev. Brás. Geoc.*, v.7, n.4, p.349-364, 1977.
- ANDREYCHOUK, V., DUBLYANSKY, Y., EZHOV Y., LYSENIN G. Karst in the Earth's Crust: its distribution and principal types Sosnowiec. *Symferopol*, 2009.
- ATZINGEN, N.; CRESCENCIO, G.; CUNHA Jr., W. R. Estudos espeleológicos na serra dos Carajás, município de Parauapebas-PA. *Boletim Técnico*, n.4, p.51-73, 2009.
- BARBOSA, G. V.; RODRIGUES, D. M. S. O Quadrilátero Ferrífero e seus problemas geomorfológicos. *Boletim Mineiro de Geografia*, v.10/11, p.3-35, 1965.
- BEISIEGEL, V. R.; BERNARDELLI, A.L.; DRUMM, N.F., RFF, A.W., TREMAINE, J.W. Geologia e Recursos Minerais da Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, v.3, p.215-242, 1973.
- BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F. dos. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis: Ed.UFSC, 1996 (Volumes I e II).
- BUCHMANN, F. S.; CARON, F.; LOPES, R. P. Traços fósseis (paleotocas e crotovinas) da megafauna extinta no Rio grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, v.12, n.3, p. 247-256, 2009.
- CARMO, F. F. et al. Novo sítio espeleológico em sistemas ferruginosos, no Vale do rio Peixe Bravo, norte de Minas Gerais, Brasil. *Espeleo-Tema*, Campinas, v.22, n.1, p.25-39, 2011. Disponível em: <www.cavernas.org.br/espeleo-tema/espeleo-tema_v22_n1_025-039.pdf>. Acesso em jun. 2014.
- CECAV - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS. Base de dados. Brasília: CECav, 2011. Disponível em: <www.icmbio.gov.br/cecav>. Acesso em: set. 2012.
- COELHO, A.; AVELINO, A. S.; FREITAS, R., 2008. MAPA DA CAVIDADE FN-09.
- COELHO, A. 2006a. MAPA DA CAVIDADE N4E-22.
- COELHO, A. 2006b. MAPA DA CAVIDADE N4WS-15
- CUNHA Jr., W. R.; ATZINGEN, N.; CRESCENCIO, G. Estudos espeleológicos na serra dos Carajá, município de Parauapebas-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 29, 2007, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto: SBE/SEE, 2007. p.97-103. Disponível em: <www.cavernas.org.br/anais29cbe/29cbe_097-103.pdf>. Acesso em jun. 2014.
- DARDENNE, M. A.; SCHOBENHAUS, C. Depósitos minerais no tempo geológico e épocas metalogenéticas. In: *Geologia, Tectônica e Recursos minerais do Brasil*, Brasília: CPRM, 2001. p.365-378.
- DORR, J. V. N. Physiographic, stratigraphic and structural development of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. USGS. Prof. Paper, 641-A. Washington. 1969. 110 p.
- DORR, J. V. N. Nature and Origin of the High Grade Hematite Ores of Minas Gerais Brazil *Econ. Geol.*, v.60, p.1-46, 1965.
- DUTRA, G. M. Cadastro de nascentes do manganês do Azul. Características das águas de nascentes, drenagens e poços tubulares. Modelo conceitual e Matemático do fluxo de águas do aquífero. VALE/MDGEO, 2005 (Relatório Interno).
- DUTRA, G. M. Cadastro de nascentes da Serra Norte. Características das águas de nascentes, drenagens e poços tubulares. Modelo conceitual do fluxo de águas das minas de N4 e N5. Modelo matemático operacional da mina de N5E. VALE/MDGEO, 2006 (Relatório Interno).
- DUTRA, G. M. Cadastro de nascentes do Serra Sul. Características das águas de nascentes, drenagens e poços tubulares. Modelo conceitual de águas da Serra Sul. VALE/MDGEO, 2007 (Relatório Interno).
- DUTRA, G. M. Cadastro de nascentes do Serra Leste. Características das águas de nascentes, drenagens e poços tubulares. Modelo conceitual e matemático do fluxo de águas da Serra Leste. VALE/MDGEO, 2008 (Relatório Interno).
- EICHLER, J. Origin of the Precambrian Iron Formation. In: WOLF, K. H. (Ed.). *Handbook of Strata-Bound and Stratiform Ore Deposits*. New York: Elsevier, 1976. p.157-201.
- FAIRBRIDGE, R.W. Eustatic Changes in Sea Level, Physics and Chemistry of the Earth, v.4, p. 99-185, 1961.
- FERREIRA, R. L. A vida subterrânea nos campos ferruginosos. *O Carste*, v.17, n.3, p.106-115, 2005.
- GORCEIX, H. Bacia Terciária d'água doce nos arredores de Ouro Preto (Gandarela e Fonseca) Minas Geraes - Brasil. *Anais da Escola de Minas*, v.3, p.75-92, 1884.
- KING, L.C. A geomorfologia do Brasil Oriental. *Revista Brasileira de Geografia*, v.2, p.147-265, 1956.
- LIMA, M. R.; SALARD-CHEBOLDAEFF, M. Palynologie dès bassins de Gandarela et Fonseca (Eocène de Fétat de Minas Gerais). *Boi IG-USP*, v.12, p.33-54, 1981.
- MASON, B. *Principles of Geochemistry*. 3. Ed. New York: Wiley, 1966.
- MAURITY, C. W.; KOTSCHOUBEY, B. Pseudokarst Features in the Lateritic Cover of Serra dos Carajás - Pará State, Brazil. In: *SPELEO BRAZIL*, 2001, Brasília-DF. Anais... Brasília: UIS/FEALC/SBE, 2001.

- MAURITY, C. W. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 Serra dos Carajás. 1995. 95f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Belém, 1995.
- MORRIS, R. C. Genesis of Iron Ore in Banded Iron-Formation by Supergene and Supergene-Metamorphic Processes - a Conceptual Model. In: WOLF, K. H. (Ed.). Handbook of Strata-Bound and Stratiform Ore Deposits. Amsterdam, Elsevier, 1985. p. 73-235
- MOSS, R. P. Slope Development and Soil Morphology in a Part of SW Nigra. Journal of Soil Sci., v. 16, p.192-209, 1965.
- PILÓ, L. B.; AULER, A. S. Cavernas em minério de ferro e canga de Capão Xavier, Quadrilátero Ferrífero, MG. O Carste, v.17, n.3, p.92-105, 2005.
- PILÓ, L. B.; AULER, A. Geoespeleologia das cavernas em rochas ferríferas da região de Carajás, PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 30, 2009, Montes Claros. Anais... Montes Claros: SBE, 2009. p.181-186. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais30cbe/30cbe_181-186.pdf>. Acesso em jun. 2014.
- PINHEIRO, R.V.L.; MAURITY, C.W. As cavernas em rochas intempéricas da Serra dos Carajás Brasil. In: CONGRESSO DE ESPELEOLOGIA DA AMÉRICA LATINA E DO CARIBE, 1, 1988, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: SBE, 1988. p.179-186.
- RIBEIRO, D.T. Enriquecimento supergênico de formações ferríferas bandadas: estruturas de colapso e desordem. 2003. 123f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- ROSIÈRE, C. A., CHEMALE, F. Jr. Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do Quadrilátero Ferrífero - uma visão geral e discussão. Geonomos, Belo Horizonte, v.8, n.2, p.27-43, 2001.
- SAADI, A. Neotectônica da Plataforma Brasileira: esboço e interpretação preliminares. Geonomos, Belo Horizonte, v.1, n.1, p.1-15, 1993.
- SALGADO, A. A. R.; COLIN, F.; NALINI Jr., H. A.; BRAUCHER, R.; VARAJÃO, A. F. D. C.; VARAJÃO, C. A. C. O papel da denudação geoquímica no processo de erosão diferencial no Quadrilátero Ferrífero. Rev. Bras. Geomorfol., v.5, p.55-69, 2004.
- SCHORSCHER, J. H. D. 1978. Komatiitos na estrutura "Greenstone Belt", Série Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978, Recife. Resumos... Recife: SBG, 1978. p.292-293.
- SIMMONS, G. C. Canga Caves in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. O Carste, Belo Horizonte, v.17, n.3, p.74-77, 2005 (Artigo original de 1963).
- SOUZA, C. I. J.; KOTSCHOUBEY, B. Alguns aspectos micromorfológicos e gênese da cobertura residual sobre rochas sedimentares da aba norte da serra dos carajás, Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3, 1991, Belém. Anais... Belém: SBG/NN, 1991. p.569-583.
- SPIER, C.A. Geoquímica e gênese das formações ferríferas bandadas e do minério de ferro da mina de Águas Claras, Quadrilátero Ferrífero, MG. 2005. 298f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- SUGUIO, K. Recent Progress in Quaternary Geology of Brazil. Episodes, Ottawa, v.22, n.3, p.217-220, 1999.
- TAYLOR, D.; DALSTRA, H.J.; HARDING, A.E.; BROADBENT, G.C.; BARLEY, M.E. Genesis of High-Grade Hematite Orebodies of the Hamersley Province. Western Australia Economic Geology, v. 96, p.837-873, Jul. 2001.
- TOLBERT, G.E., TREMAINE, J.W., Melcher, G.C., Gomes, C.B. The Recently Discovered Serra dos Carajás Iron Deposits, Northern Brazil. Economic Geology, v. 66, p.985-994, 1971.
- VANN, J.H. Developmental Processes in Laterite Terrains in Amapá. Geogr. Rev., v.53, p.406-417, 1963.
- VARAJÃO, C.A.C. A questão da correlação das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.21 p.138-145, 1991.
- VARAJÃO, C.A.C.; COLIN, F.; VIEILLARD, P.; MELFI, A.J. & NAHON, D. Early Weathering of Palladium Gold Under Lateritic Conditions, Maquiné Mine, Minas Gerais, Brazil. Appl. Geochem., v.15, p.245-263, 2000.
- VARAJÃO, C.A.C.; RAMANAIDOU, E.; MELFI, A.J.; COLIN, F.; NAHON, D. Martitização: Alteração supergênica da magnetita. Revista Escola Minas, v.50, p.18-20, 1996b.
- VARAJÃO, C.A.C.; RAMANAIDOU, E.; MELFI, A.J.; COLIN, F.; NAHON, D. Alteração dos Itabiritos da Mina de Maquiné (Quadrilátero Ferrífero): Um exemplo de alteração isalterítica In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, 1996, Salvador. Anais... Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 1996a. p.171-173.
- VASCONCELOS, P.M. Paleoclimas e evolução geomorfológica da região de Carajás: evidência geoquímica e geocronológica. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA AMAZÔNICA, 5, 1996, Belém. Anais... Belém: SBG/NO, 1996. p.26-30.
- VILELA, O.V.; SANTOS, O.M. Dados preliminares sobre o depósito de minério de ferro da Serra da Serpentina, Conceição do Mato Dentro, MG, Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 1983, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: SBG/MG, 1983. p. 333-346
- ZAVAGLIA, G. Condicionantes geológicas do comportamento dos minérios de ferro do depósito de Tamanduá (MG) no processo metalúrgico de redução direta. 1995. 200f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Departamento de Geologia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1995.

BIOTA SUBTERRÂNEA
ASSOCIADA ÀS CAVERNAS
EM FORMAÇÕES
FERRÍFERAS



MARIA ELINA BICHUETTE

Departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva
Universidade Federal de São Carlos

RAFAEL FONSECA-FERREIRA

Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto
Universidade de São Paulo

JONAS EDUARDO GALLÃO

Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto
Universidade de São Paulo



INTRODUÇÃO

A vida associada às cavernas em formações ferríferas ainda é pouco estudada no Brasil, quando comparada ao histórico de estudos associados às cavernas inseridas em litologias carbonáticas. Entretanto, os dados disponíveis já demonstram a raridade e a fragilidade desses ambientes, com altas taxas de endemismos (organismos restritos a esses locais). A complexidade e heterogeneidade desses geossistemas influenciam fortemente a biota em questão. Essa biodiversidade distribuiu-se de maneira heterogênea no país, em regiões onde temos os afloramentos na forma de canga, principalmente na região de Carajás, no estado do Pará e no Quadrilátero Ferrífero, no estado de Minas Gerais.

OS HABITATS SUBTERRÂNEOS

A espeleobiologia é uma área da Biologia que foca estudos em diversos habitats subterrâneos ou hipógeos, os quais se distribuem na subsuperfície ou subsolo.

Em uma definição ampla, o meio subterrâneo ou hipógeo compreende o conjunto de espaços interconectados do subsolo, preenchidos por água ou ar e que variam desde uma escala milimétrica até grandes cavidades acessíveis aos humanos, conhecidas como cavernas. São encontrados em rocha maciça, especialmente aquelas solúveis, como as carbonáticas (por exemplo, os calcários), ou em depósitos relativamente profundos de sedimentos clásticos (meio intersticial) (JUBERTHIE, 2000). No caso de cavernas em formações ferríferas, estas são raras em diversas regiões do mundo, porém, extremamente numerosas no Brasil.

Os habitats subterrâneos terrestres compreendem cavernas, fissuras, fendas, interstícios, tocas, minas (exemplo de habitat artificial) e a zona limítrofe entre o ambiente hipógeo e o solo (meio endógeo), geralmente designada como meio subterrâneo superficial (MSS). Os habitats aquáticos podem ser mais complexos que os terrestres, com diferentes horizontes de acordo com a conexão ao lençol freático - horizonte superior da zona freática - que pode se conectar com a superfície através

Os dados mostrados aqui corroboram a insubstituível importância e singularidade da fauna subterrânea encontrada em cavernas em formações ferríferas, que devido ao elevado potencial mineral, aos impactos relacionados à expansão imobiliária, à pecuária expansiva, à poluição de aquíferos por metais pesados e agrotóxicos, o rebaixamento desses aquíferos e os incêndios florestais, sofrem fortes impactos, na maioria das vezes irreversíveis.

Apresentamos, neste capítulo, definições dos habitats subterrâneos, em geral, e o que temos de conhecimento da biota associada às cavernas ferruginosas no Brasil. Nesse contexto, observamos que há um grande déficit de estudos e também de efetiva proteção a esses ambientes únicos e frágeis, ainda pouco conhecidos do ponto de vista biológico.

de fissuras inacessíveis (zona saturada); zona de oscilação sazonal do lençol freático, correspondendo, por exemplo, a riachos que secam durante determinadas épocas do ano (zona insaturada) e riachos permanentes em condutos “abertos”, incluindo riachos no nível de base (zona saturada) ou tributários superiores alimentados por água de infiltração na rocha (zona insaturada) (Figura 1).

O epicarste representa a camada mais superficial da rocha, com grande influência do solo e dissolução mais acentuada, representando, assim, um horizonte de especial importância para estudos da biota subterrânea, visto que podemos encontrar os possíveis colonizadores deste ambiente. Nesse horizonte podem ser encontrados tanto os habitats terrestres quanto os aquáticos (Figura 1).

De acordo com a distância em relação ao meio epígeo ou superfície e consequente influência deste, as cavernas são divididas em três zonas: entrada, penumbra e afótica (MOHR; POULSON, 1966). Nessas zonas, observa-se uma diminuição gradativa de luminosidade e menores flutuações de temperatura desde o meio superficial até as partes mais profundas, o que pode influenciar a distribuição dos seres vivos que aí vivem (BARR, 1968; POULSON; WHITE, 1969) (Figura 2, imagem de Zona de Entrada e de Penumbra).

BIOTA SUBTERRÂNEA ASSOCIADA ÀS CAVERNAS EM FORMAÇÕES FERRÍFERAS

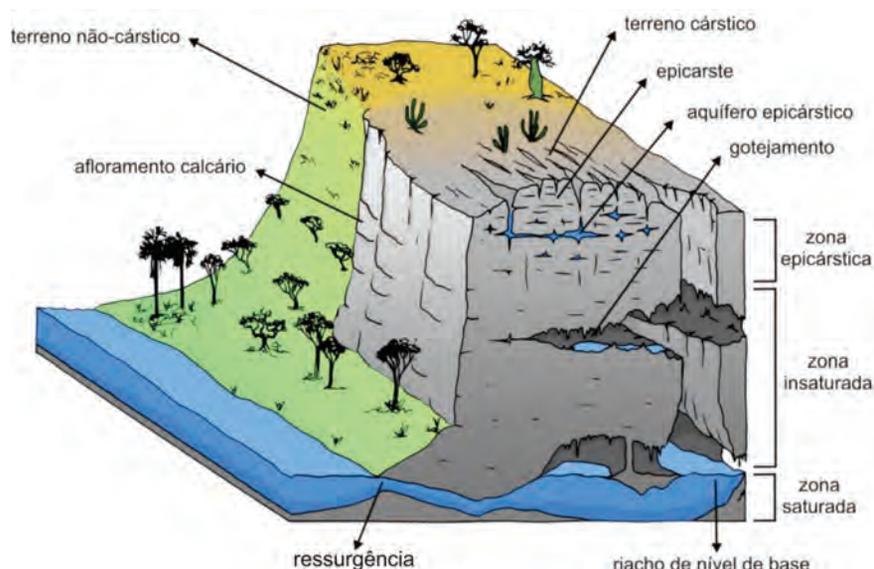


Figura 1 - Desenho esquemático mostrando os diversos habitats subterrâneos -terrestres e aquáticos. 1, solo; 2, terreno cárstico; 3, afloramento calcário (exocarste); 4, epicarste (abriga habitats terrestres e/ou aquáticos), pode apresentar MSS desenvolvido; 5, aquífero no epicarste; 6, gotejamentos no endocarste; 7, dolina; 8, caverna; 9 e 10, rio subterrâneo em nível de base; 11, ressurgência; 12, rio epígeo ou superficial; A, ZONA EPICÁRSTICA; B, ZONA VADOSA; C, ZONA SATURADA OU FREÁTICA. Desenho: Pedro Pereira Rizzato.



Figura 2 -Zona de Entrada e Penumbra de caverna do Quadrilátero Ferrífero. Observam-se musgos e algas incrustadas onde há luz solar incidente e influência do meio epígeo ou superficial. Foto: Luciano Faria (2012).

Os habitats subterrâneos são frágeis e altamente vulneráveis a fatores de estresse tais como alteração de habitat, flutuações ambientais não-naturais, poluição química, eutrofização, entre outros (TRAJANO; BICHUETTE 2006; GALLÃO, 2012;

ELLIOTT, 2012). Além disso, é comum a dependência de nutrientes importados do meio epígeo, com poucos registros na literatura de cavernas com cadeias alimentares baseadas em organismos quimio-autotróficos como algumas bactérias especializadas

(HÜPPOP, 2000). Cabe ainda ressaltar que, devido à própria extensão do habitat, menor do que aquela dos ambientes superficiais, populações subterrâneas são frequentemente pequenas, com baixa capacidade de restabelecimento e reposição populacional (POULSON, 1964; CULVER; PIPAN, 2009).

Schiner (1854) propôs uma classificação para os organismos cavernícolas até hoje aceita, salvo algumas modificações e redefinições: **trogloxenos** são encontrados regularmente no meio subterrâneo, mas devem retornar periodicamente à superfície, uma vez que os recursos disponíveis nesse ambiente não são suficientes para que completem o ciclo de vida em isolamento (e.g., morcegos e opiliões); **troglófilos** são cavernícolas facultativos, ou seja,

capazes de completar seu ciclo de vida tanto no meio subterrâneo, como no epígeo. Neste último, em geral, vivem em locais úmidos e sombreados. Espécies restritas ao meio subterrâneo são chamadas de **troglobias**, possuindo características únicas resultantes da interrupção de pressões seletivas estabilizadoras sobre caracteres funcionalmente relacionados à luz (HOLSINGER; CULVER, 1988), especialmente redução de olhos e pigmentação melânica, observados em organismos diversos, como planárias, gastrópodes, vários grupos de artrópodes (insetos, aracnídeos, piolhos-de-cobra, crustáceos, etc.), peixes e salamandras. A figura 3 traz um esquema da classificação mais utilizada para os organismos subterrâneos.

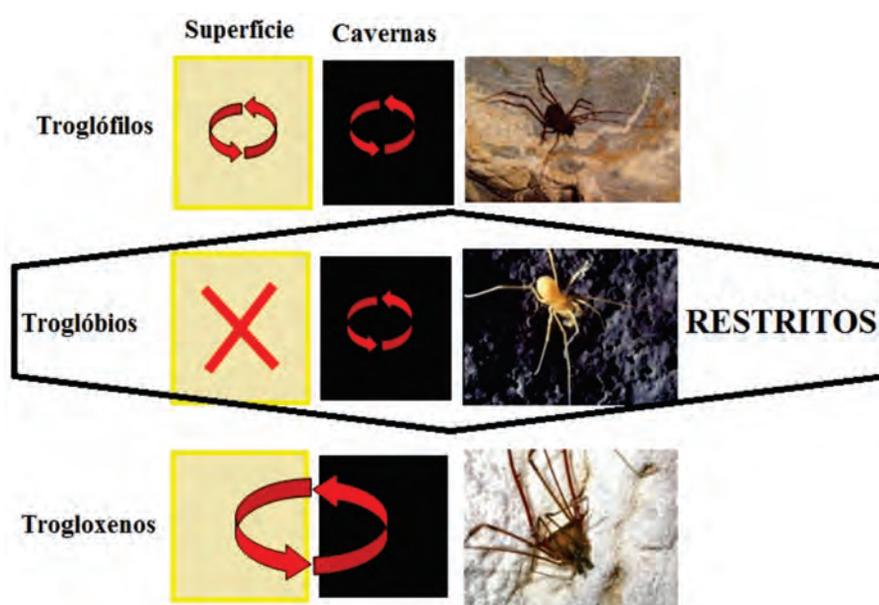


Figura 3 - Esquema simplificado dos organismos subterrâneos nas suas diferentes categorias - troglófilos, troglóbios e trogloxenos. Animais das fotos: aracnídeos da Ordem dos opiliões, comuns em cavernas do mundo todo. Modificado de: Abel Perez Gonzalez. Montagem: Jonas Eduardo Gallão.

AS CAVERNAS EM FORMAÇÕES FERRÍFERAS E PARTICULARIDADES DE SEUS HABITATS

Alguns autores consideram os habitats subterrâneos ainda mais particulares quando são muito próximos do meio superficial ou epígeo. Nesse sentido, os habitats subterrâneos superficiais (sensu CULVER; PIPAN, 2009) incluem pequenas drenagens que emergem (denominadas meio hipotelminorreico), pequenas cavidades localizadas na parte mais superior de uma rocha solúvel (epicarsite), o meio subterrâneo superficial, fendas e fres-

tas, além das cavernas geralmente rasas formadas por derramamento de lava (denominadas tubo em lava). Ainda, esses habitats mais próximos à superfície são excelentes para testar quais linhagens de espécies originaram diversas outras que ocupam zonas mais profundas subterrâneas, como as cavernas. A figura 4 mostra um acesso a parte de um meio subterrâneo superficial, mais realizado em rochas carbonáticas.



Figura 4 - Exemplo de habitat subterrâneo superficial (HSS) associado à calcário. Observa-se grande quantidade de folhiço (folhas e galhos finos), além de solo misturado à rocha. Foto: Maria Elina Bichuette (2012).

Esses habitats únicos compartilham a ausência permanente de luz e abrigam uma fauna modificada relacionada à vida subterrânea, como observado em outros habitats hipógeos. Entretanto, no caso das formações ferríferas, as interconexões via diminutos canais presentes na rocha, e também a grande ocorrência de raízes penetrantes oriundas do meio externo, possibilitam um mosaico de habitats, algumas vezes extremamente úmidos e em outras mais

secos, evidenciando que podem ocorrer grandes variações climáticas diárias e sazonais (Figura 5). Cabe ainda ressaltar que essas propostas de classificações baseiam-se principalmente em rochas carbonáticas e principalmente em regiões temperadas, as quais geralmente apresentam esses horizontes bem definidos, além das já bem conhecidas cavernas de tubo em lava, as quais se assemelham fisicamente às cavernas em formações ferríferas.



Figura 5 - Complexidade de substratos, estratos e potenciais microhabitats com ocorrência de fauna observados em cavernas ferruginosas do Quadrilátero Ferrífero. Fotos: a, Adriano Gambarini (2013); b, Luciano Faria (2012).

Há ainda microhabitats mais específicos que certamente fazem parte dos microespaços e mesmo espaços maiores (cavernas) das formações ferríferas. São eles: habitats higrófilos (muito úmidos), geofílicos (em rocha) e aqueles com variações amenas na temperatura (mesotérmicos).

Nestes ambientes, ainda, podemos ter espécies com preferência por habitats rupícolas (rocha) ou muitas edáficas (vivem no solo). As imagens da figura 6 evidenciam os microhabitats de cavernas em formações ferríferas e a importância destes para a biota.

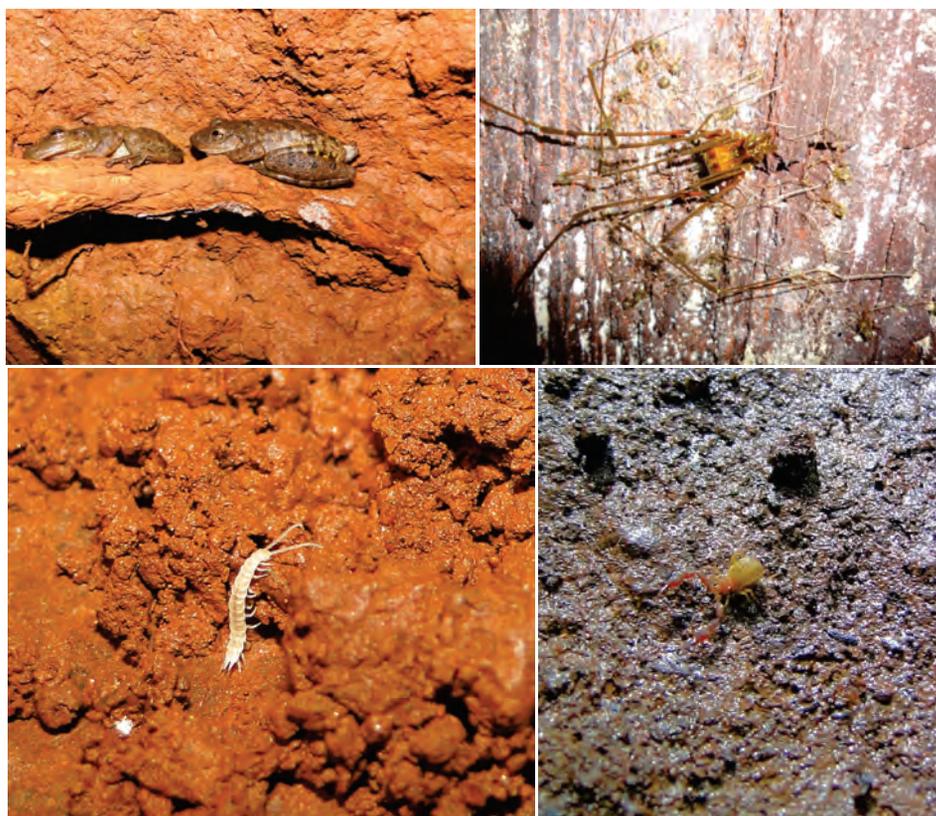


Figura 6 - Exemplos de espécies utilizando microhabitats em cavernas do Quadrilátero Ferrífero. Em cima, Anuro (sapinho) rupícola (preferência por rocha) e opilião Goniosomatinae e seus filhotes, preferencialmente parietais (rocha); Embaixo, os milimétricos Myriapoda sínfilos (parentes das centopéias) e pseudoescorpiões, os quais ocorrem preferencialmente em solo (edáficos), tamanhos médios: 4 mm. Fotos: a, c,d, Luciano Faria (2012); b, Maria Elina Bichuette (2012).

Ainda não há um consenso de como as cavernas em formações ferríferas se comportam do ponto de vista dos microhabitats: 1. Seriam habitats superficiais singulares (adaptações ao proposto por CULVER; PIPAN, 2009)? 2. O fato de possuírem solo misturado ao minério e formar a canga torna-os mais particulares e únicos e, nesse sentido, poderíamos considerá-las como cavernas em solo profundo? 3. Podemos classificar as cavernas em formações ferríferas uma mistura de um MSS coluvial (formado por erosão e deposição de detritos) e vulcânico (formados por deposições contínuas e com muitas interconexões), visto que fisicamente comparam-se às cavernas de tubo em lava, mas a sua gênese aproxima-se mais à coluvião (JUBERTHIE et al., 1980; OROMI, 2010)? A figura 7 traz um esquema de uma caverna em formação ferrífera, especialmente muito semelhante às cavernas de tubo em lava.

Essas perguntas só demonstram o quão complexo são os habitats subterrâneos em formações ferríferas. Essa complexidade leva justamente ao entendimento da sua fragilidade. Há ainda a influência

climática (atual e pretérita), relacionada às diferentes latitudes em que essas cavernas ocorrem, fatores que fortemente determinam a ocorrência e distribuição da sua biota.

Independente da classificação e da definição a serem adotadas pelos estudiosos desses ambientes, deve-se considerar que a presença de espécies troglóbias e troglomórficas indicam que a ausência de luz é o fator seletivo primário na evolução de morfologia única observada nos animais subterrâneos.

Considerando-se o aporte de alimento, os habitats subterrâneos contrastam enormemente com o meio superficial. Como não existe luz, não é possível a realização da fotossíntese, e os organismos clorofilados, plantas verdes e algas, que dependem da energia solar, não ocorrem aí. A produção nesses habitats, quando ocorre, está restrita a bactérias quimiossintetizantes, que sobrevivem utilizando a energia química de ligação de moléculas simples de ferro (ferrobactérias), enxofre (sulfobactérias), nitrogênio (nitrobactéria), e outras fontes. No entanto, são raros os casos

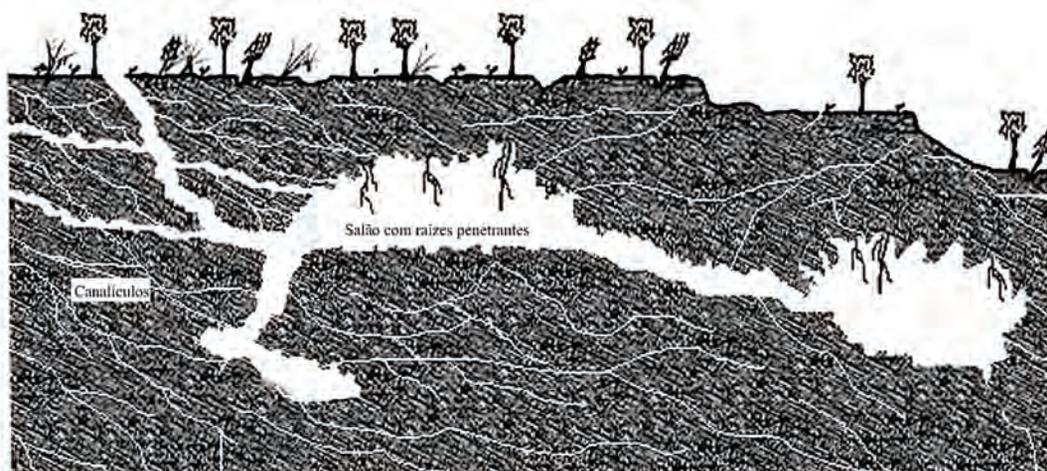
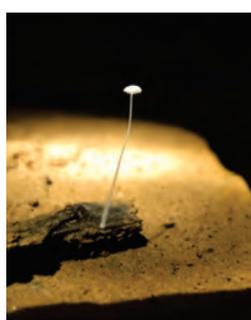


Figura 7 - Representação esquemática de conexões via canalículos em cavernas superficiais, tais como aquelas em formações ferríferas. Desenho: Márcio Bolfarini, (2014).

em que a quantidade desse tipo de bactéria no meio subterrâneo é suficiente para sustentar um número expressivo de outros organismos, e a fauna subterrânea e outros componentes da biota (fungos, protistas, bactérias não quimiossintetizantes) são basicamente sustentados por recursos alimentares importados do meio epígeo, que servem como fontes de energia (HUPPOP, 2000).

As principais fontes de energia observadas em cavernas de diferentes regiões do mundo são os detritos vegetais, restos de animais e plantas, matéria orgânica dissolvida e animais vivos carregados

por rios e enxurradas e mesmo aqueles que penetram em cavernas e aí não sobrevivem, deixando suas carcaças. Também há a água de percolação que goteja através de fendas e fissuras e transportam matéria orgânica dissolvida, além de pequenos organismos que vivem no solo e subsolo acima do teto da caverna, os quais podem ser carregados. Há a possibilidade de esporos (oriundos de fungos), pólen e mesmo bactérias serem carregados por correntes de ar ("aeroplâncton"), entretanto, neste caso, há poucos trabalhos evidenciando a contribuição e aproveitamento pela fauna desses itens alimentares potenciais (Figura 8).



Fungos crescendo em matéria orgânica



Raízes no solo



Raízes, lascas de rocha e opilião - microhabitat higrófilo

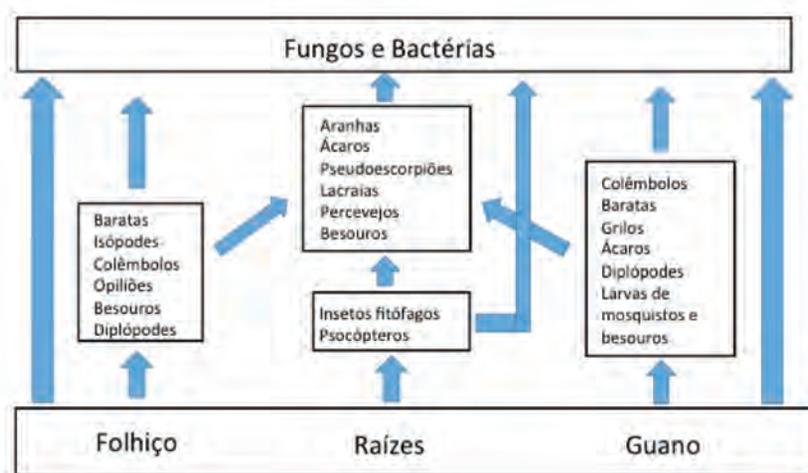


Acúmulo de fezes de morcegos hematófagos - Guano

Figura 8 - Diferentes recursos alimentares encontrados em cavernas do Quadrilátero Ferrífero. As raízes representam um dos aportes mais importantes, além de representarem microhabitats importantes. Fotos: a, c Luciano Faria (2012); b, d, Maria Elina Bichuette (2012).

O guano merece uma atenção especial, pois os morcegos (típicos troglóxenos) alimentam-se fora e depositam suas fezes no interior das cavernas, deixando um recurso alimentar extremamente rico e importante. Entretanto, trata-se de um recurso imprevisível, na maioria dos casos, visto que as colônias de morcegos podem mudar de abrigo devido a perturbações próximas ou mesmo sazonalmente e de acordo com os abrigos próximos disponíveis. É interesse notar que poucos acúmulos de guano são observados nas cavernas do Quadrilátero Ferrífero, entretanto, na Serra dos Carajás, no Pará, os acúmulos representam uma parte significativa no alimento disponível à fauna.

Por fim, raízes que penetram em grutas superficiais trazem uma contribuição especial, pois trata-se de material vivo e rico, inclusive seiva, para diversos organismos. Nesse caso, observa-se em muitas cavernas ferríferas, raízes diminutas por entre os canalículos, que além de contribuir para a cadeia trófica, como também discutido por Ferreira (2005), ofertam abrigo e umidade para uma série de animais. Assim sendo, as raízes configuram uma rede fundamental aos organismos encontrados em formações ferríferas, oferecendo alimento e microhabitats, a exemplo do observado em cavernas vulcânicas (OROMI, 2010) (Figura 9).



Quadrilátero Ferrífero. A base da cadeia é de detritos e raízes, as quais constituem uma das principais fontes de alimento. Diagrama: Rafael Fonseca-Ferreira e Jonas Eduardo Gallão.

A BIODIVERSIDADE DAS CAVERNAS EM FORMAÇÕES FERRÍFERAS – O QUE CONHECEMOS?

Certamente, os ecossistemas associados à canga estão entre os mais peculiares, intrigantes e desconhecidos para a ciência. Formado há bilhões de anos, esses geossistemas, compostos por uma camada superficial de limonita, conhecida como canga, recobrem as Formações Ferríferas Bandadas (FFB) formadas principalmente por itabiritos e hematitas (SIMMONS, 1963), minérios ricos em ferro e altamente visados pelo setor minerário (CARMO, 2010).

Ocorrendo de forma frequentemente descontínua, conhecida como afloramentos, a canga geralmente funciona como “ilhas de ferro” (CARMO et

al., 2012; CARMO; JACOBI, 2013), em altitudes normalmente elevadas (> 1000m), que apresentam condições ecológicas diferentes das paisagens que a margeiam (JACOBI; CARMO, 2008) (Figura 10).

Tais geossistemas abrigam fitofisionomias únicas, conhecidas como campos rupestres ferruginosos, os quais apresentam altas taxas de endemismo de plantas e invertebrados, além de elevada biodiversidade (CARMO et al., 2012, CARMO; JACOBI, 2013). Segundo estudo realizado por Jacobi e Carmo (2008), em quatro afloramentos de canga no Quadrilátero Ferrífero, apenas 5% das espécies de plantas



Figura 10 - Paisagem geral e fitofisionomias associadas às formações ferríferas na Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero, as quais representam “ilhas de ferro” de diversidade. Fotos: Rafael Fonseca-Ferreira (2012).

amostradas ocorreram em todas as áreas, evidenciando-se elevadas taxas de endemismo e especificidade (espécies restritas a regiões geográficas).

Caracterizado por sua alta porosidade e continuidade (SIMMONS, 1963), as formações ferríferas são compostas por um sistema de poros, fissuras, fendas e cavidades, que além de funcionarem em conjunto como “esponjas” de captação e recarga hídrica (CARMO, 2010), atuam como micro e mesocavernas que funcionam como abrigo e vias de locomoção, as quais se conectam às macrocavernas, geralmente superficiais, através de incontáveis interstícios. Tais condições se assemelham às encontradas em cavernas de tubos em lava, comumente encontradas em ilhas vulcânicas. Como retratado em cavernas vulcânicas do Havaí por Howarth (1973), e reforçado por estudos nas Ilhas Canárias (OROMÍ et al., 1991), os microespaços encontrados nessas cavernas possibilitam a dispersão e a evolução de uma complexa comunidade de micro invertebrados, incluindo várias espécies troglóbias. Muitas destas espécies são mantidas principalmente por uma peculiar malha de raízes que penetram pelo teto das cavernas, devido à superficialidade dos solos, e atuam como principal fonte de recurso trófico dessas cavidades. Essas características foram discutidas por Ferreira (2005) em um primeiro trabalho falando de cavernas em formações ferríferas no Brasil e seus microhabitats, potenciais para ocorrência e dispersão de fauna subterrânea.

Embora possua a quinta maior reserva mundial de minério de ferro em termos mundiais, dos quais

63,1% encontram-se em Minas Gerais, seguidas do Pará (18%) e Mato Grosso do Sul (17,2%) (CARMO, 2010), apenas recentemente cavernas inseridas em formações ferríferas se tornaram alvo de estudos da comunidade espeleológica nacional, devido principalmente às alterações na legislação ambiental relacionadas à proteção delas. Ainda que atualmente sejam catalogadas aos milhares, em distintos bancos de dados (principalmente relacionados a empresas mineradoras e órgãos ambientais), e em um ritmo exponencial, poucos estudos acadêmicos foram realizados focando a fauna subterrânea de cavernas inseridas em formações ferríferas (FERREIRA, 2005; SOUZA-SILVA et al., 2011; PROUS et al., 2011; BICHUETTE et al., 2012). Em algumas publicações gerais de listagem de fauna subterrânea brasileira, há referência a várias espécies que ocorrem em regiões ferruginosas, muitas delas consideradas, pelos autores das descobertas, como espécies novas (TRAJANO; BICHUETTE, 2009).

Considerando-se as informações disponíveis publicamente, observamos, na literatura especializada científica, algumas descrições de espécies (troglomórficas ou não), muitas delas endêmicas a cavernas ou regiões com grandes extensões ferríferas (por exemplo, no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais e na Serra dos Carajás no Pará). A confirmação do *status* de troglóbio (ou seja, restrito a cavernas) não foi verificada para grande parte dos táxons descritos; entretanto, a sua ocorrência em formações ferríferas já deve ser considerada como de extrema importância, já que, muitas vezes, a des-

criação da espécie foi feita para a caverna/cavidade, tornando-a localidade-tipo da espécie, relevante em termos científicos e aplicados, como conservação de habitats.

Considerando-se o grande número de trabalhos de levantamento de fauna para fins minerários nessas duas regiões, observa-se uma produção vagarosa de trabalhos acadêmicos, já que a literatura científica apresenta apenas 19 espécies formais, ou seja, descritas e válidas para a ciência. Tal fato é alarmante, pois mostra que enquanto esses dados não forem publicados, essa biodiversidade escondida e desconhecida continuará sem proteção alguma. Ainda, o número de descrições de fauna para a região da Serra dos Carajás é mais que o dobro do número para o Quadrilátero Ferrífero, o que demonstra que esta última região necessita, urgentemente, de estudos e projetos em longo prazo, de cunho ecológico e biogeográfico. Os parágrafos a seguir mostram o panorama atual.

A inserção de espécies em listas de fauna ameaçada (regionais ou globais) depende da descrição formal delas, o que torna os estudos taxonômicos urgentes e fundamentais para que haja uma proteção efetiva dos habitats subterrâneos e seus habitantes. Além desse foco, outros estudos são também fundamentais, já que trazem informações importantes da distribuição e do isolamento das espécies aí encontradas, como por exemplo, trabalhos de longo prazo de cunho populacional (*e.g.*, áreas de vida, abundância de indivíduos e distribuição espacial, estudos genéticos e moleculares) e biogeográfico (distribuição de espécies e evolução de linhagens).

Para o estado de Minas Gerais e região do Quadrilátero Ferrífero (QF), apenas seis espécies, que possuem como localidade-tipo as cavernas em minério de ferro, foram relatadas na literatura (Tabela 1): o diminuto aracnídeo *Eukoenenia ferratilis*, Souza e Ferreira, 2009; pertencente à ordem Palpigradi, o primeiro inseto fitófago (alimenta-se de seiva de

plantas) troglomórfico do país e representante de um novo gênero da família das cigarrinhas *Ferricixius davidi*, Hoch e Ferreira, 2012; a aranha *Brasilomma enigmatica* Brescovit, Ferreira e Rheims, 2012; também registrada em cavernas em outra litologias (quartzito), mas que representa um registro importante para cavernas ferríferas do Quadrilátero, a centopéia *Cryptops hephaestus*, Ázara e Ferreira, 2013; além de duas espécies de piolhos-de-cobra - *Pseudonannolene rolamossa*, Iniesta e Ferreira, 2013 e *Pseudonannolene gogo*, Iniesta e Ferreira, 2013.

Para o estado do Pará, temos 13 espécies válidas (Tabela 1), como os dois palpígrados *Leptokoenenia thalassophobica*, Souza e Ferreira, 2013 e *Leptokoenenia pelada*, Souza e Ferreira, 2013; o Ricinulei *Cryptocellus canga*, Pinto-da-Rocha e Andrade, 2012; os ácaros *Neocarus caipora*, Bernardi, Klompen e Ferreira, 2014 e *Caribeacarus brasiliensis*, Bernardi, Silva, Zacarias, Klompen e Ferreira, 2013; o opilião da família Negoveidae (Cyphophthalmi, gênero e espécie novas) *Canga renatae*, DaSilva, Pinto-da-Rocha e Giribet, 2010; a aranha caranguejeira troglomórfica *Harmonicon cerberus*, Pedroso e Baptista (2014), os diplópodes (piolhos-de-cobra), *Glomeridesmus spelaeus* Iniesta e Wesewer 2012 e *Pseudonannolene spelaea*, Iniesta e Ferreira, 2013; os besouros *Coarazuphium tapiaguassu*, Pellegrini e Ferreira, 2011 e *Copelatus cessaima*, Caetano, Bená e Vanin, 2013 e os crustáceos isópodes (tatuzinhos-de-jardim) *Circoniscus carajasensis*, Campos-Filho e Araujo, 2011 e *Circoniscus buckupi*, Campos-Filho e Araujo, 2011.

A maioria dessas espécies possui troglomorfmismos, como a redução parcial ou total da pigmentação corporal, do tamanho dos olhos ou perda dos mesmos e desenvolvimento de sistemas sensoriais alternativos à visão, como aumento do número de cerdas e alongamento de pernas e antenas, por exemplo (GIBERT; DEHARVENG, 2001; CHRISTIANSEN, 2012) (Figura 11).

Tabela 1. Espécies descritas para cavernas em formações ferríferas no Brasil.

Grande grupo de invertebrados	Ordem	Espécie	Nome popular	Região e n. de espécies
Miriápodes Diplópodes	Spirostreptida* e Glomeridesmida**	<i>Pseudonannolene rolamossa*</i> (QF), <i>P. gogo*</i> (QF), <i>P. spelaea*</i> (CA) e <i>Glomeridesmus spelaeus**</i> (CA)	piolhos-de-cobra	QF e CA (4)
Miriápodes Quilópodes	Scolopendromorpha	<i>Cryptops hephaestus</i> (QF)	centopéias	QF(1)
Crustáceos	Isopoda	<i>Circoniscus carajasensis</i> e <i>Circoniscus buckupi</i>	tatuzinhos de jardim	CA (2)
Insetos Hemípteros	Hemiptera	<i>Ferricixius davidi</i>	cigarrinhas	QF (1)
Insetos Coleópteros	Coleoptera	<i>Coarazuphium tapiaguassu</i> e <i>Copelatus cessaima</i>	besouros	CA (2)
Aracnídeos Ácaros	Trombidiformes* e Opilioacariformes**	<i>Neocarus caipora*</i> e <i>Caribeacarus brasiliensis**</i>	ácaros	CA (2)
Aracnídeos Aranhas	Araneae	<i>Brasilomma enigmatica</i> (QF) e <i>Harmonicon cerberus</i> (CA)	aranhas	QF (2)
Aracnídeos Ricinulei	Ricinulei	<i>Cryptocellus canga</i>	-	CA (1)
Aracnídeos Palpígrados	Palpigradi	<i>Eukoenenia ferratilis</i> (QF), <i>Leptokoenenia thalassophobica</i> (CA) e <i>L. pelada</i> (CA)	palpígrados	QF e CA (3)
Aracnídeos Opiliões	Opiliones	<i>Canga renatae</i>	opiliões	CA (1)

QF, Quadrilátero Ferrífero; CA, Carajás.



Colêmbolo

Aranha

Figura 11 - Troglomorismos observados em alguns grupos de animais registrados em cavernas do Quadrilátero Ferrífero. No diminuto colêmbolo, observa-se uma grande quantidade de cerdas longas nas antenas e a despigmentação corporal. Na aranha, observam-se os olhos ausentes e o alongamento das pernas. Foto: Adriano Gambarini (2013), modificado por Rafael Fonseca-Ferreira.

O mapa a seguir mostra as regiões de Carajás (CA) no Pará e Quadrilátero Ferrífero (QF) em Minas Gerais (Figura 12), locais de ocorrência dessa fauna ainda pouco conhecida. Os pontos pretos representam cavernas. Cabe ressaltar que também há registros de cavernas em formações ferríferas, sem estudos faunísticos, em outras regiões de Minas Gerais, como o Vale do Rio do Peixe Bravo no norte do estado e na região dos municípios de Serro

e Conceição do Mato Dentro no centro-leste do estado (CARMO et al., 2012), em Morraria do Urucum no Mato Grosso do Sul, em Caetité na Bahia e em Pirapora do Bom Jesus, no estado de São Paulo. Nota-se a enorme lacuna e falta de estudos faunísticos nesta litologia, o que impossibilita elencar locais com elevada biodiversidade ou spots de diversidade, o que torna urgente a necessidade de mais estudos.

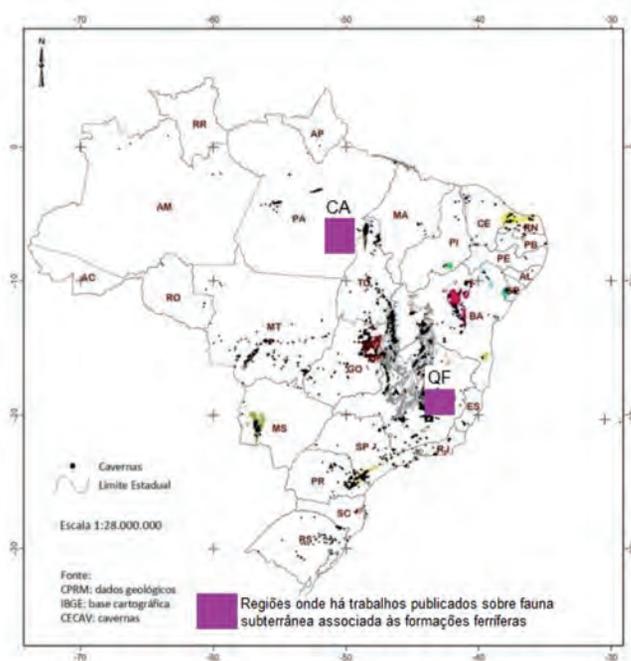


Figura 12 – Mapa do Brasil mostrando ocorrência de cavernas (pontos pretos) com destaque para as regiões de Carajás (CA) e Quadrilátero Ferrífero (QF). Modificado de CPRM; IBGE; CECAV. Mapa: Maria Elina Bichuette (2014).

Ferreira (2005) realizou um estudo contemplando 13 cavernas em formações ferríferas, 12 delas localizadas na região do Quadrilátero Ferrífero (MG) e uma no estado do Tocantins. O autor registrou riqueza de espécies relativamente elevada nessas cavernas, totalizando 334 morfoespécies de animais invertebrados. Destas, 19 foram consideradas troglomórficas/edáficas, com alta dominância de espécies que utilizam microespaços (como interstícios). O termo morfoespécie se refere a unidades parataxonômicas, no caso os espécimes, muito úteis para estudos de biologia da conservação, que são categorizados de forma confiável e conservadora, mas que são altamente susceptíveis a erros, muitas vezes grosseiros. Este tipo de categorização é muito utilizado quando se considera a

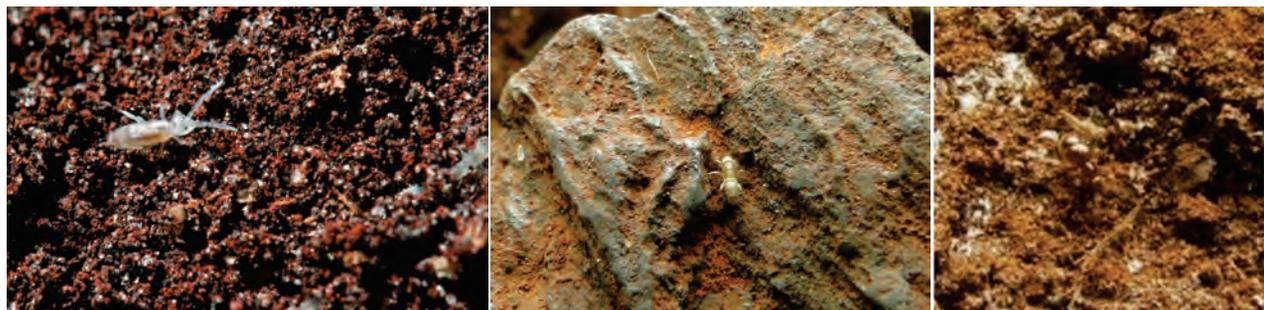
necessidade de economia de tempo na identificação dos espécimes e o problema do impedimento taxonômico causado pela falta de especialistas, comum aos países megadiversos (DERRAIK et al., 2002; KRELL, 2004).

Souza-Silva e colaboradores (2011) amostraram a fauna em 91 cavernas inseridas em diversas litologias, das quais, 17 em formações ferríferas, todas no Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais. Os autores concluíram que apesar da aparente superficialidade dessas cavidades, quando comparadas às inseridas em outras litologias, as cavernas em formações ferríferas apresentam uma elevada biodiversidade (311 morfoespécies). Esses autores discutem a importância da influência da extensa

rede de canaliculos típicos dos sistemas em canga na dispersão desta biota, fato já discutido por Ferreira (2005) e observado em estudos posteriores. Não foi possível contabilizar o número de espécies troglomórficas observadas pelos autores do trabalho, já que não foram listadas e separadas por litologias distintas, o que impede uma extração de dados e discussão mais precisa sobre estas e possível detecção de spots de diversidade, para fins de conservação.

Recentemente, uma pesquisa realizada em três cavernas do município de Caeté, Minas Gerais, na Serra da Piedade e também inseridas no Quadrilátero Ferrífero, revelou um total de 175 morfoespécies, das quais cerca de 43% são aracnídeos (dominado pelas aranhas em 58%) e 37% são insetos. Entre os insetos destaca-se uma elevada riqueza de besouros e uma significativa abundância de cigarrinhas, insetos fitófagos, que assim como colêmbolos (gru-

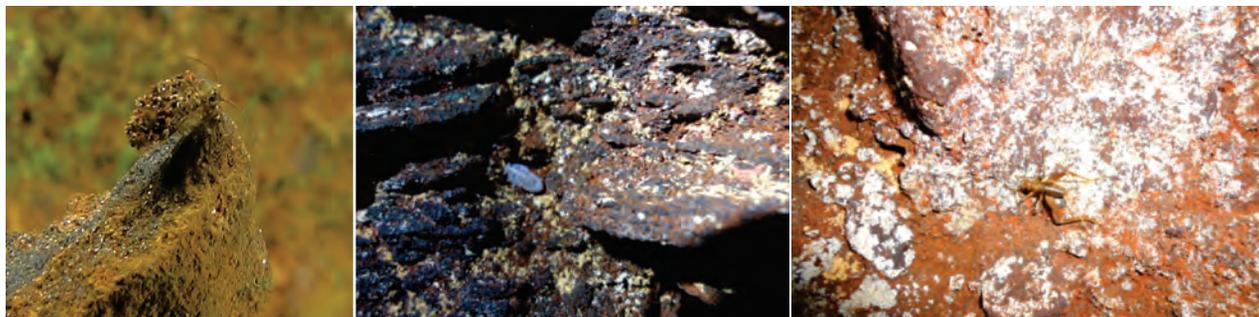
pos primitivos de Hexapoda, do qual os insetos fazem parte) e psocópteros (insetos diminutos), foram geralmente encontrados associadas às raízes presentes nas cavidades ferruginosas. Os quilópodes (lacrarias), diplópodes (piolhos-de-cobra) e isópodes (tatuzinhos-de-jardim), geralmente escondidos e associados a microespaços ou sob fragmentos ferríferos, representam um grupo rico e especial, com características relacionadas a esses microhabitats. Das mais de 170 espécies observadas, 11 possuem traços troglomórficos, com alongamento de cerdas e pernas, olhos ausentes ou diminutos e despigmentação corporal (M. E. Bichuette e colaboradores, dados não publicados) (Figuras 13 e 14 - imagens da biota da Serra da Piedade). Considerando-se a área compreendida pelo estudo (< 5 km²), o polígono formado pelas três cavidades classifica localmente a área como um spot de diversidade subterrânea, o qual deve ser protegido de maneira legal.



Colêmbolo milimétrico no solo

Colêmbolo milimétrico na rocha

Besouro diminuto entre solo e raízes (Coleoptera)



Diminutos insetos psocópteros com sedimento como camuflagem

Inseto fitófago, parentes das cigarrinhas (Hemiptera)

Grilo Phalangopsidae, gênero Endecous, comuns em cavernas brasileiras



Piolho-de-cobra (Diplopoda) do gênero *Pseudonannolene*, despigmentado

Sínfilo (Symphyla) diminuto, típicos de solo

Figura 13 - Entognatos (colêmbolos), insetos e miriápodes (centopéias e afins) observados em cavernas do Quadrilátero Ferrífero. Fotos: a, g, Adriano Gambarini (2013); b, c, d, e, f, h, Luciano Faria (2012).



Aranha-marrom e sua teia em lençol



Aranha carregando ooteca (saco de ovos)



Aranha da família *Pholcidae*, fauna parietal



Aranha utilizando lascas de rocha como microhabitat



Pseudoescorpião diminuto no solo



Opilião *Goniosomatinae* na parede da rocha



Opilião *Gonyleptidae* sobre solo e teias de aranha

Figura 14 - Aracnídeos observados em cavernas do Quadrilátero Ferrífero. Fotos: a, b, Adriano Gambarini (2013); c, d, e, f, g, Luciano Faria (2012).

As cavernas da Serra da Piedade apresentam uma complexa gama de substratos que são utilizados pelas espécies, representando microhabitats importantes, tais como as quase onipresentes raízes, aglomerados de rocha, cascalho, folhiço (acúmulo de folhas, galhos) e manchas de guano. Além disso, observações de morcegos evidenciaram a presença de espécies importantes ecologicamente, destacando-se as frugívoras (por exemplo, a espécie *Carollia perspicillata* – Figura 15, imagem à esquerda) ou nectarívoras (por exemplo, *Anoura geoffroyi* – Figura 15, imagem à direita), as quais são polinizadoras importantes. Os morcegos são importantíssimos não apenas para o ambiente subterrâneo, visto que deixam um recurso alimentar fundamental, o guano (fezes), como também para o ambiente superficial, pois muitas espécies

alimentam-se de insetos e controlam pragas (insetívoras), frutos (dispersam sementes) e polinizam diversas espécies vegetais (nectarívoras). O estudo detalhado dessas espécies que ocupam formações ferríferas como abrigo é de extrema urgência e deve ser foco de Planos de Ação conservacionistas das instituições ambientais governamentais.

Portanto, a maior particularidade associada à fauna presente em sistemas ferríferos, e constatada nos três estudos, é a alta singularidade das espécies e a presença de espécies troglomórficas, quando comparados a estudos realizados em cavernas inseridas em outras litologias, principalmente carbonáticas. Tal fato demonstra particularidades dos microhabitats desses ambientes não observados em outros tipos de cavernas inseridas em outras litologias.



Figura 15 - Morceguinhos observados em cavernas do Quadrilátero Ferrífero. À esquerda, uma espécie frugívora - *Carollia perspicillata*; à direita uma espécie nectarívora - *Anoura geoffroyi*. Fotos: a, Luciano Faria (2012); b, Maria Elina Bichuette (2012).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O DESAFIO DA CONSERVAÇÃO DOS HABITATS SUBTERRÂNEOS EM FORMAÇÕES FERRÍFERAS

Os critérios biológicos internacionalmente aceitos para a determinação de prioridades para proteção dos ecossistemas subterrâneos incluem (TRAJANO; BICHUETTE, 2006) os listados abaixo e, boa parte destes foram e são verificados em cavernas ferruginosas:

- presença de espécies/populações endêmicas (troglóbios – espécies restritas ao meio subterrâneo), as quais podem pertencer a qualquer grupo animal (**sim**);
- alta biodiversidade total (incluindo troglóbios, troglófilos e troglóxenos) (**sim, devido à complexidade de microhabitats**);
- presença de táxons de interesse científico particular, tais como relictos filogenéticos ou geográficos, populações altamente especializadas, táxons basais em filogenias (**sim, gêneros novos propostos, famílias e gêneros relictos**);
- localidades-tipo de táxons (**sim, diversas espécies novas descritas localmente**);
- presença de populações variáveis, com especialização clinal (mudança gradual em caracteres morfológicos hereditários de acordo com sua distribuição geográfica, relacionados com mudanças) ao meio subterrâneo (**a se verificar, necessidade de estudos detalhados e demorados**);
- presença de locais de reprodução/nidificação (**ninhos de aves em entradas, sim**);
- comunidades particularmente diversificadas, com interações ecológicas complexas (**sim**);
- habitats, interações tróficas ou outras características ecológicas peculiares, tais como densidades populacionais excepcionalmente altas (e.g., morcegos, colêmbolos, anfípodos), dependência de fontes alimentares não usuais (**raízes, sim**).

Segundo Carmo (2010), em Minas Gerais, apenas duas unidades de conservação integral contêm áreas de canga, totalizando menos de 300 ha, ao passo que cerca de 40% das áreas de canga do estado já sofreram perda irreversível nos últimos 40 anos. Atualmente 80% das cangas remanescente do Quadrilátero Ferrífero (e obviamente as cavernas inseridas) estão em perigo (CARMO, 2010) (Figura 16 – imagem de mineração na Serra da Piedade). No Pará, a situação é extremamente crítica, pois centenas de cavernas e sua fauna associada estão inseridas na Floresta Nacional de Carajás e correm o risco de serem suprimidas pela mineração, sem mesmo, um maior conhecimento destas espécies pela ciência. Por estarem inseridas no ecossistema amazônico, tais cavernas, assim como o ambiente epígeo, possuem uma elevada diversidade biológica.

Um grave problema associado a inventários realizados por empresas de consultoria é a supercoleta da fauna, devido à presença muitas vezes excessiva de coletores nas cavidades, para otimização do tempo de coleta de acordo com as demandas. O contrário também ocorre, geralmente associado à inexperiência da equipe coletora e problemas no

planejamento amostral, que não utiliza acurácia na definição dos substratos complexos e, conseqüentemente, variedade de microhabitats. Os dois casos podem gerar problemas irreversíveis, pois podem influenciar diretamente nas análises de relevância espeleológica e levar cavidades e sua fauna associada à destruição.



Figura 16 - Mineração na zona limítrofe do Santuário da Piedade, Caeté, Minas Gerais. Note-se a destruição da canga e vegetação atingindo os topos de morros.
Foto: Luciano Faria (Abril de 2012).

Para embasar ações conservacionistas é necessário que as empresas detentoras de grandes projetos em áreas inseridas em cangas, com ocorrência de cavernas, tornem disponíveis à população os relatórios de relevância espeleológica e suas respectivas listas de espécies, para que possam ser comparados aos estudos acadêmicos. Também se fazem necessários novos estudos, com devidas réplicas

(repetições ao longo de ciclos anuais) e aparatos de coleta eficientes com desenhos experimentais robustos para verificação de padrões, além de incentivar as publicações sobre esta fauna. Desta maneira será possível extrair o máximo de informações, de forma ética, parcimoniosa e sistemática, sobre tais ambientes extremamente peculiares e fortemente ameaçados.

AGRADECIMENTOS

Aos membros do Laboratório de Estudos Subterrâneos da UFSCar, que nos auxiliaram neste e em diversos trabalhos da biota subterrânea brasileira, visando sua efetiva proteção; ao fotógrafo Adriano Gambarini e espeleólogo Luciano Faria, pela autorização do uso das belas fotos que ilustram parte dessa fauna; a Pedro Pereira Rizzato e Márcio Bolfarini pelas ilustrações; a Luciano Faria pelo convite para iniciarmos estudos em ambientes tão interessantes, mais especificamente na Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero, MG; ao CNPq e FAPESP, órgãos de fomento que possibilitam nossas pesquisas em cavernas brasileiras.

- BARR, T. C. Cave Ecology and the Evolution of Trogllobites. *Evolutionary Biology*, v. 2, p.35-102, 1968.
- BICHUETTE, M. E.; FARIA, L. E.; FERREIRA, T. F.; MOREIRA, M.; SANTOS, P. V. S.; ROCHA, A. D.; GALLÃO, J. E. Cave Fauna from Iron Caves of Southeastern Brazil - First Data. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUBTERRANEAN BIOLOGY, 21, 2012, Kosice. *Abstract Book...* Kosice: Equilibria, 2012. v.1. p. 28-28.
- CARMO, F. F. *Importância ambiental e estado de conservação dos ecossistemas de cangas no Quadrilátero Ferrífero e proposta de áreas-alvo para a investigação e proteção da biodiversidade em Minas Gerais*. 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- CARMO, F. F.; JACOBI, C. M. A vegetação de canga no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: caracterização e contexto fitogeográfico. *Rodriguésia*, v. 64, n. 3, p. 527-541, 2013.
- CARMO, F. F.; CARMO, F. F.; CAMPOS, I. C.; JACOBI, C. M. Cangas: ilhas de ferro estratégicas para a conservação. *Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, v. 295, p. 48-53, 2012.
- CHRISTIANSEN, K. Morphological adaptations. In: CULVER, D.C.; WHITE, W.B. (Eds.). *Encyclopedia of caves*. EUA: Editora Elsevier, 2012. p. 517-528.
- CULVER, D. C.; PIPAN, T. Superficial Subterranean Habitats: Gateway to the Subterranean Realm. *Cave and Karst Science*, v. 35, n. 1, p. 5-12, 2008.
- DERRAIK, J. G. B.; CLOSS, G. P.; DICKINSON, K. J. M.; SIRVID, P.; BARRATT, B. I. P.; PATRICK, B. H. Arthropoda Morphospecies Versus Taxonomic Species: A Case Study with Araneae, Coleoptera and Lepidoptera. *Conservation Biology*, v.16, n.4, p.1015-1023, 2002.
- ELLIOTT, W. R.. Protecting Cave and Cave Life. In: CULVER, D.C.; WHITE, W.B. (Eds.). *Encyclopedia of Caves*. EUA: Editora Elsevier, 2012. p. 624-633.
- FERREIRA, R. L. A vida subterrânea nos campos ferruginosos. *O Carste*, Belo Horizonte, v. 3, n. 17, p. 106-115, 2005.
- GALLÃO, J. E. *Estado de conservação e Dados de Distribuição da Fauna Troglóbica Brasileira com propostas de áreas prioritárias para conservação*. 2012. 97f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.
- GIBERT, J.; DEHARVENG, L. Subterranean Ecosystems: A Truncated Functional Biodiversity. *BioScience*, v. 52, n. 6, p. 473-481, 2002.
- HOLSINGER, J. R.; CULVER, D. C. The Invertebrate Cave Fauna of Virginia and a Part of Eastern Tennessee: Zoogeography and Ecology. *Brimleyana*, v. 14, p. 1-162, 1988.
- HOWARTH, F. G. The Cavernicolous Fauna of Hawaiian Lava Tubes, 1 - Introduction. *Pacific Insects*. Honolulu, v. 15, n.1, p. 139-151, 1973.
- HÜPPOP, K. How do Cave Animals Cope with the Food Scarcity in Caves? In: WILKENS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHRIES, W. F. *Ecosystems of the World 30: Subterranean Ecosystems*. Amsterdam: Elsevier, 2000. p.159-188 (Capítulo 8).
- JACOBI, C. M.; CARMO, F. F. Diversidade dos campos rupestres ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, MG. *Megadiversidade*, Belo Horizonte, v. 4, p. 24-32, 2008.
- JUBERTHIE, C.; DELAY, D.; BOUILLON, M. Extension du milieu souterrain en zone non calcaire: description d'un nouveau milieu et de son peuplement par les Coléoptères trogllobies. *Mémoires de Biospéologie*, v. 7, p. 19-52, 1980.
- KRELL, F. T. Parataxonomy vs. Taxonomy in Biodiversity Studies - Pitfalls and Applicability of 'Morphospecies' Sorting. *Biodiversity and Conservation*, v. 13, p. 795-812, 2004.
- MOHR, C. E.; POULSON, T. L. *The Life of Cave*. EUA: Mcgraw-Hill, 1966. 232p.
- OROMÍ, P. La fauna subterrânea de Canarias: un viaje desde las lavas hasta las cuevas. In: CARRILLO, J. A. *Volcanes, mensajeros del fuego, creadores de vida, forjadores del paisaje*. Puerto de la Cruz: Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias, 2010. p. 63-98.
- OROMÍ, P.; MARTÍN, J.L.; MEDINA, A. L.; IZQUIEDO, I. The Evolution of the Hypogean Fauna in the Canary Islands. In: EVOLUTION ON ISLAND ARCHIPELAGOES: THE EMERGING PICTURE - SYMPOSIUM, 1991. *The Unity of Evolutionary Biology*, p. 380-395, 1991.
- ORTUÑO, V. M.; GILGADO, J.D.; JIMÉNEZ-VALVERDE, A.; SENDRA, A. PÉREZ-SUÁREZ, G.; HERRERO-BORGOÑÓN, J. J. The "Alluvial Mesovoid Shallow Substratum", a New Subterranean Habitat. *PLoS ONE*, v. 8, n. 10, p. 1-16, 2013.
- POULSON, T. L. Animals in Aquatic Environments: Animals in Caves. In: BILL, D. B. *Handbook of Physiology, Section 4: Adaptation to the Environment*. Baltimore: Williams e Wilkins, 1964. p. 749-771.
- POULSON, T. L.; WHITE, W. B. The Cave Environment. *Science*, v. 165, n.3897, p. 971-981, 1969.
- PROUS, X.; VASCONCELOS, M.; BEZERRA, T. Contribuição ao conhecimento da biologia de cavernas em litologias ferríferas de Carajás, PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 31, Ponta Grossa, 2011. *Anais...* Ponta Grossa: SBE, 2011. p.515-520. Disponível em: <www.cavernas.org.br/anais31cbe/31cbe_515-520.pdf>. Acesso em: jul. 2014.
- SOUZA-SILVA, M. S.; MARTINS, R. P.; FERREIRA, R. L. Cave Lithology Determining the Structure of the Invertebrate Communities in the Brazilian Atlantic Rain Forest. *Biodiversity and Conservation*, v.20, n.8, p. 1713-1729, 2011.
- SIMMONS, G. C. Canga Caves in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *The National Speleological Society Bulletin*, v.25, p.66-72, 1963.
- TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. Diversity of Brazilian Subterranean Invertebrates, with a List of Troglomorphic Taxa. *Subterranean Biology*, v.7, p.1-16, 2009/2010.
- TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. *Biologia Subterrânea: Introdução*. São Paulo: Redespeleo, 2006. 92p.

REGISTRO PALEONTOLÓGICO
EM CAVERNA DESENVOLVIDA
EM FORMAÇÕES FERRÍFERAS
NA SERRA DO GANDARELA (MG)



JONATHAS S. BITTENCOURT

Departamento de Geologia/CPMTC, Instituto de Geociências,
Universidade Federal de Minas Gerais

ANDRÉ GOMIDE VASCONCELOS

Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais

FLAVIO FONSECA DO CARMO

Instituto Prístino

FRANCISCO SEKIGUCHI BUCHMANN

Laboratório de Estratigrafia e Paleontologia,
Universidade Estadual Paulista (UNESP)



INTRODUÇÃO:

AS FORMAÇÕES FERRÍFERAS COMO REGISTRO FÓSSIL

As formações ferríferas em Minas Gerais podem ser colocadas no centro de um grande debate na comunidade científica sobre o papel dos micro-organismos do passado geológico da Terra na formação da atmosfera como a conhecemos. As evidências mais convincentes coletadas em rochas sedimentares do Pré-Cambriano sugerem que o oxigênio livre apareceu em quantida-

des apreciáveis na atmosfera há cerca de 2,45 bilhões de anos (FLANNERY; WALTER, 2012), quando o planeta tinha pouco menos da metade de sua idade atual (Figura 1). Esse oxigênio provavelmente derivou da fotossíntese promovida por cianobactérias, que eram, à época, os mais abundantes organismos de que se tem registro (SCHOPF, 1999).

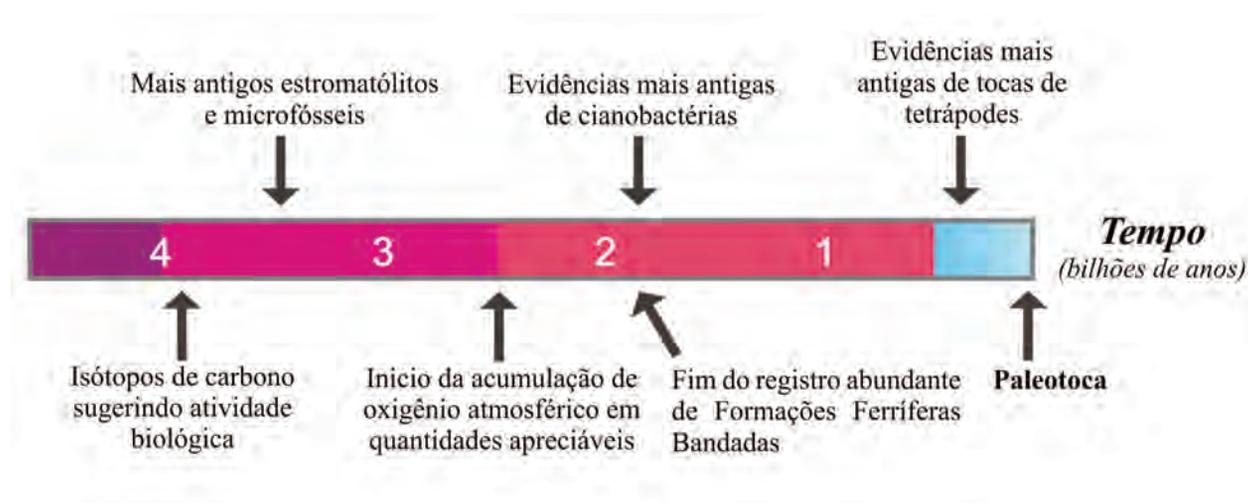


Figura 1 - Quadro resumido do tempo geológico, mostrando os principais eventos associados às formações ferríferas, e a posição temporal dos icnofósseis tratados neste capítulo. As cores correspondem aos éons Hadeano, Arqueano, Proterozoico e Fanerozoico, da esquerda para a direita, respectivamente. Modificado de FLANNERY & WALTER, 2012. Os depósitos ferríferos bandados no Quadrilátero Ferrífero (Formação Cauê) foram formados há 2,65 bilhões de anos (CABRAL et al., 2012).

No entanto, antes da acumulação deste gás na atmosfera, o oxigênio produzido pelos micro-organismos reagia com íons ferro, gerando pelo menos parte de um registro sedimentar em camadas conhecido como Formações Ferríferas Bandadas (FFB) – como as que existem em rochas do Quadrilátero Ferrífero associados à Formação Cauê (DORR, 1958). Alguns autores defendem que os micro-organismos do pré-cambriano participaram diretamente da oxidação e deposição de ferro em formações bandadas (NEALSON; MYERS, 1990; ANN BROWN et al., 1995; KONHAUSER, 2002; CROAL et al., 2004; LI et al., 2013). Nesse caso, elas poderiam ser interpretadas como estruturas semelhantes a estromatólitos –

camadas resultantes da deposição mineral por colônias de micro-organismos fixas ao substrato (RIDING, 1999).

Entretanto, a origem biológica das FFB é bastante controversa (LAURSEN, 2011). Diversos trabalhos sustentam que não há evidência substancial da participação microbiana em sua formação, pelo menos dos mais antigos ou de ambientes profundos, e que eles podem ter sido formados por processos inorgânicos ou mesmo independentes de oxigênio biológico livre (FRANÇOIS, 1986; BRATERMAN; CAIRNS-SMITH, 1987; BONTIGNALI et al., 2013). A questão continua em aberto, mas as evidências em favor do papel dos micro-organismos são cada vez mais fortes.

Mais recentemente, outro tipo de registro fóssil tem sido descoberto em formações ferríferas, mas agora associado às cavernas originadas do intemperismo dos depósitos de ferro. Essas cavidades foram modificadas pela ação de mamíferos da megafauna extinta, por isso são classificadas como paleotocas. Neste capítulo, será apresentada uma descrição inédita de uma estrutura

desse tipo recentemente descoberta no Quadrilátero Ferrífero, que se soma aos registros até então encontrados em formações ferríferas no norte de Minas Gerais (CARMO et al., 2011a) e em outros tipos de litologias na América do Sul (e.g.: BERGQVIST; MACIEL, 1994; BUCHMANN et al., 2003; BUCHMANN et al., 2009; FRANK et al., 2012).

A CAVERNA AP-38: UMA PALEOTOCA

Na vertente oeste das cristas da Serra do Gandarela, onde se divisam os municípios de Caetés e Santa Bárbara (Figura 2), foi descoberta uma cavidade natural registrada como AP-38, com evidência de escavação por organismos extintos. A caverna está associada à canga, definida como um manto superficial de resíduos de rochas produzido pelo intemperismo de depósitos ricos em ferro por águas pluviais (DORR et al., 1952; RUCHKYS, 2007). A canga pode ser considerada um solo antigo, e, pelo menos na Serra do Gandarela, sua formação demandou um longo período de intemperismo que pode remontar à Era Paleozoica. Estudos

recentes sugerem que o atual estágio de desenvolvimento da canga já se estabeleceu desde o início do Cenozoico, há cerca de 50 milhões de anos (SPIER, 2005).

O acesso à caverna se dá pelo município de Rio Acima, na saída para a Fazenda Palmital, a partir da Av. Governador Israel Pinheiro da Silva, às margens de uma estrada vicinal entre Rio Acima e Barão de Cocais, cruzando as escarpas oeste da Serra do Gandarela. A entrada da cavidade localiza-se a mais de 1.500m acima do nível do mar, sendo a paleotoca desenvolvida em formações ferríferas com maior altitude registrada até o momento.

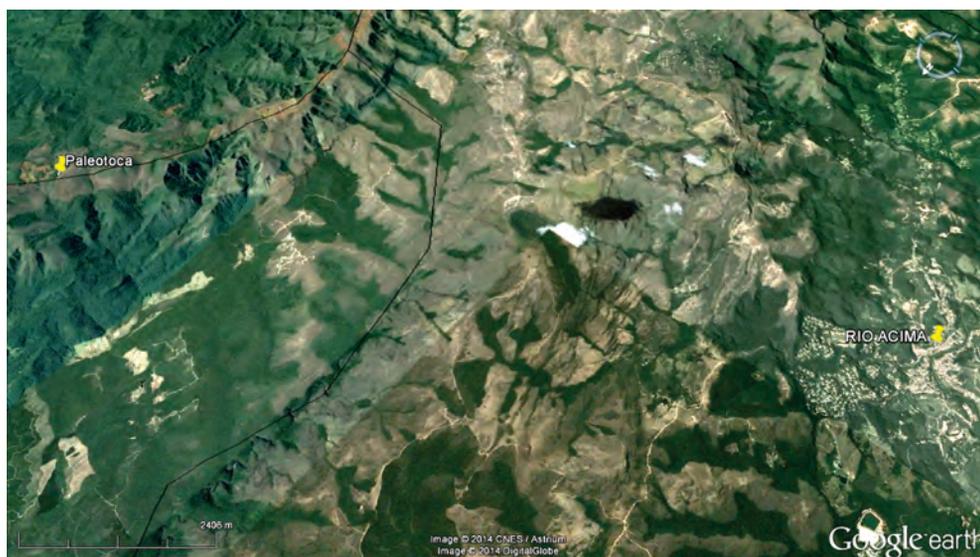


Figura 2 - Mapa da localização da cavidade AP-38 (paleotoca) na Serra do Gandarela (MG), em relação ao município de Rio Acima. As linhas escuras indicam as fronteiras entre os municípios de Santa Bárbara, Caetés e Rio Acima, da esquerda para a direita, respectivamente. Fonte: Google Earth.

A cavidade tem 345m de desenvolvimento horizontal, preferencial no sentido norte-sul, com área e volume respectivos de 672 m² e 798 m³ (Figura 3). As paredes e teto são formados por canga friável (Figura 4A), apresentando canalículos produzidos por fluxos de água (Figura 4B) e escavações recentes de animais fossoriais. Alagamentos perenes são observados em pontos norte, sul e oeste, formando oásis para a fauna de invertebrados. Fluxos gravitacionais de sedimentos finos a partir do solo ou das paredes de canga são frequentes, incluindo um preenchimento parcial da galeria de entrada à caverna. Sedimentos de maior granulometria (seixos, calhaus e matacões) estão esparsamente distribuídos pelas galerias e salões (Figura 3).

Os condutos têm 1–3m de largura e 1–6m de altura (Figura 5). As alturas máximas ocorrem nas interseções dos condutos, onde há também mais depósito de material clástico. Algumas galerias

apresentam superfícies polidas, o que indica atrito pela passagem de animais de grande porte. Nas paredes e tetos das galerias centrais, ocorrem inúmeras marcas distribuídas segundo um padrão espelhado, no qual os sulcos, frequentemente em grupos de dois, com comprimentos semelhantes e paralelos entre si, ocorrem em ângulos baixos e opostos em relação ao plano do piso (Figuras 6–7). As dimensões predominantes são 10–20 cm de comprimento, e 1–3 cm de largura. Algumas, no entanto, são maiores e atingem 30 cm de comprimento e 5 cm de largura (Figura 8A).

Os sulcos são mais comuns nas galerias que têm padrão arredondado das paredes e teto e estão mais concentradas na altura média das seções (aproximadamente 1,50m de altura), incluindo aquelas acima da entrada das galerias baixas. Aqueles mais superiormente localizados nos salões e galerias (aproximadamente 2m de altura) tendem a ser mais paralelos entre si (Figura 8B).

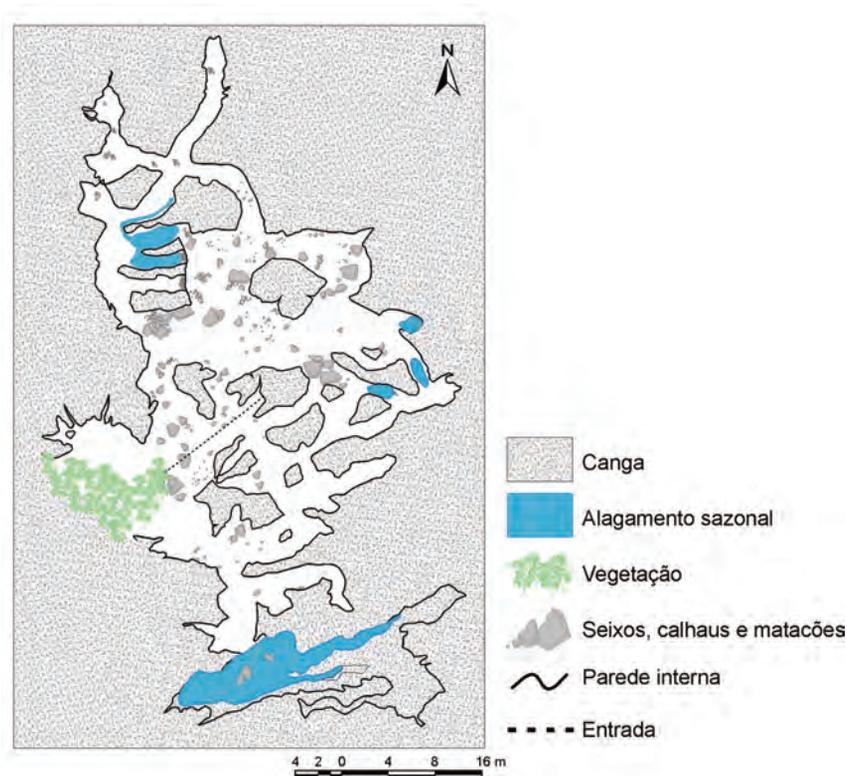


Figura 3 - Esquema simplificado dos organismos subterrâneos nas suas diferentes categorias - troglófilos, troglóbios e troglóxenos. Animais das fotos: aracnídeos da Ordem dos opilídeos, comuns em cavernas do mundo todo. Modificado de: Abel Perez Gonzalez. Montagem: Jonas Eduardo Gallão.



Figura 4 - Visão geral da canga formando a parede interna da cavidade. Notar em B a formação de canaliculos. Fotos: Jonathas Bittencourt.



Figura 5 - Exemplo de galeria da paleotoca na cavidade AP-38.
Foto: Alice Okawara.

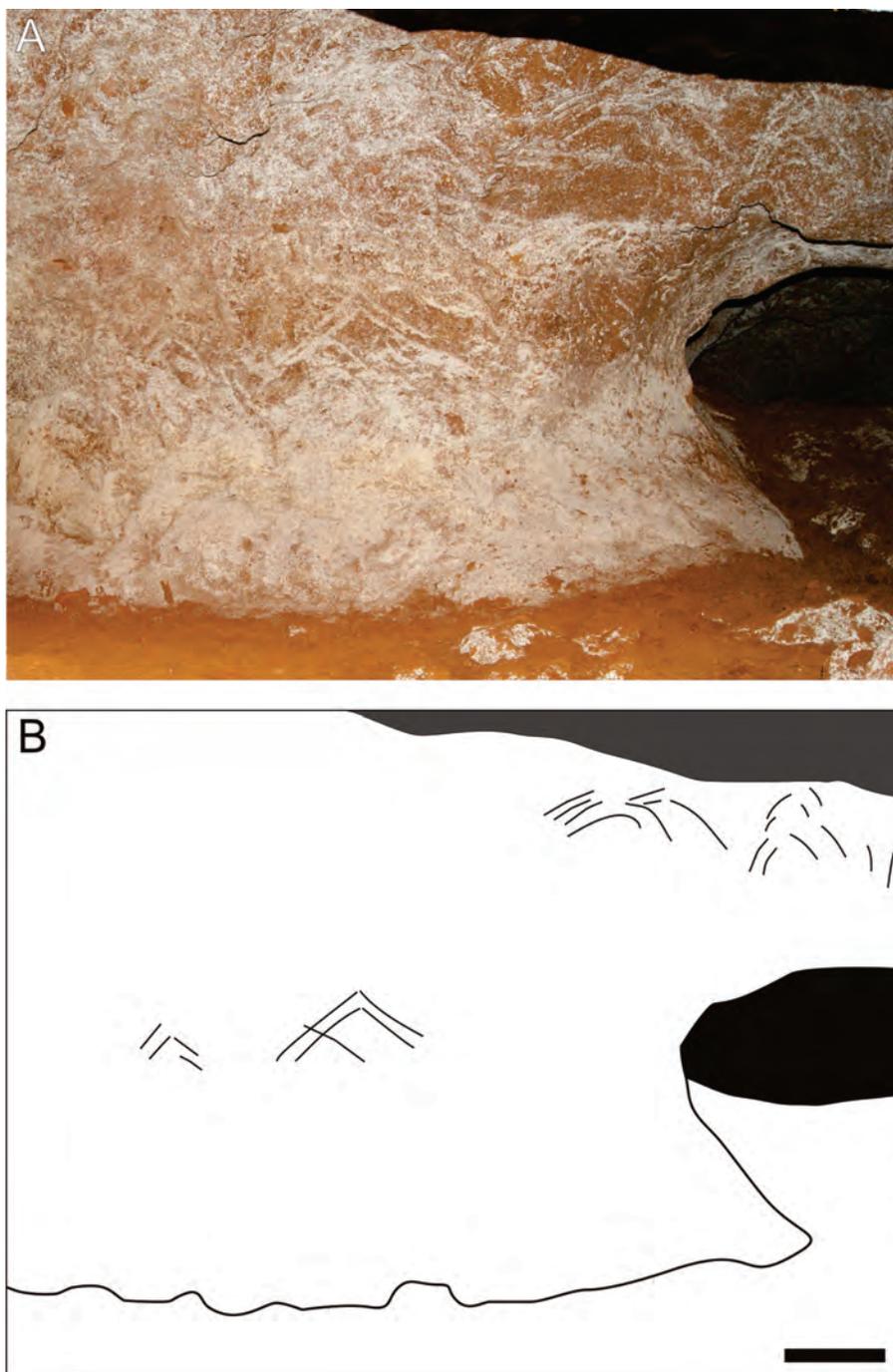


Figura 6 - Foto e desenho das marcas de garras na AP-38, sugerindo a atividade de algum animal fossorial de grande porte da megafauna extinta de mamíferos. Notar formato arredondado das galerias. Escala em B = 25 cm. Foto: Jonathas Bittencourt.

As características citadas acima são compatíveis com marcas de garras deixadas no substrato por algum animal fossorial de grande porte. Elas são distintas das feições erosivas e de ações antrópicas comumente registradas em cavernas (e.g. marcas de instrumentos de escavação). O padrão oposto de angulação é compatível com uma atividade

ambidestra de escavação. A diferença de profundidade dos sulcos pode resultar da interação de variáveis interdependentes como animais de portes distintos, incluindo diferentes espécies ou estágios ontogenéticos; força empregada pelo organismo no processo de escavação de um substrato rígido; e dureza do substrato, o que pode ser constatado em

diversos pontos da cavidade, nos quais as partes basais são mais friáveis que as porções mais próximas ao teto.

Face a essa caracterização, infere-se que pelo menos parte da cavidade AP-38 tenha sido escavada por algum animal para habitação, permitindo então classificá-la como uma paleotoca.

Tocas são as estruturas produzidas por vertebrados (as aqui tratadas), entre outras funções, para habitação, refúgio ou estivação. No registro fóssil, podem ocorrer sob a denominação de paleotoca, quando se preserva a estrutura original da cavidade construída pelo organismo, ou crotoquina, que são

as tocas preenchidas posteriormente com sedimento (BERGQVIST; MACIEL, 1994). Como registro paleontológico, elas são incluídas entre os icnofósseis (do grego *ichnos* = pegada ou rastro), por sua vez definidos como estruturas biogênicas fósseis, que evidenciam algum comportamento do organismo produtor (MCILROY, 2004; PEMBERTON et al., 2007). Em outras palavras, são evidências indiretas de organismos do passado, também conhecidos como bioturbação – um termo mais usado na geologia sedimentar. Nesse caso, dois icnofósseis compõem a paleotoca: as marcas de garra nas paredes da caverna e o conjunto total de galerias e salões escavados.

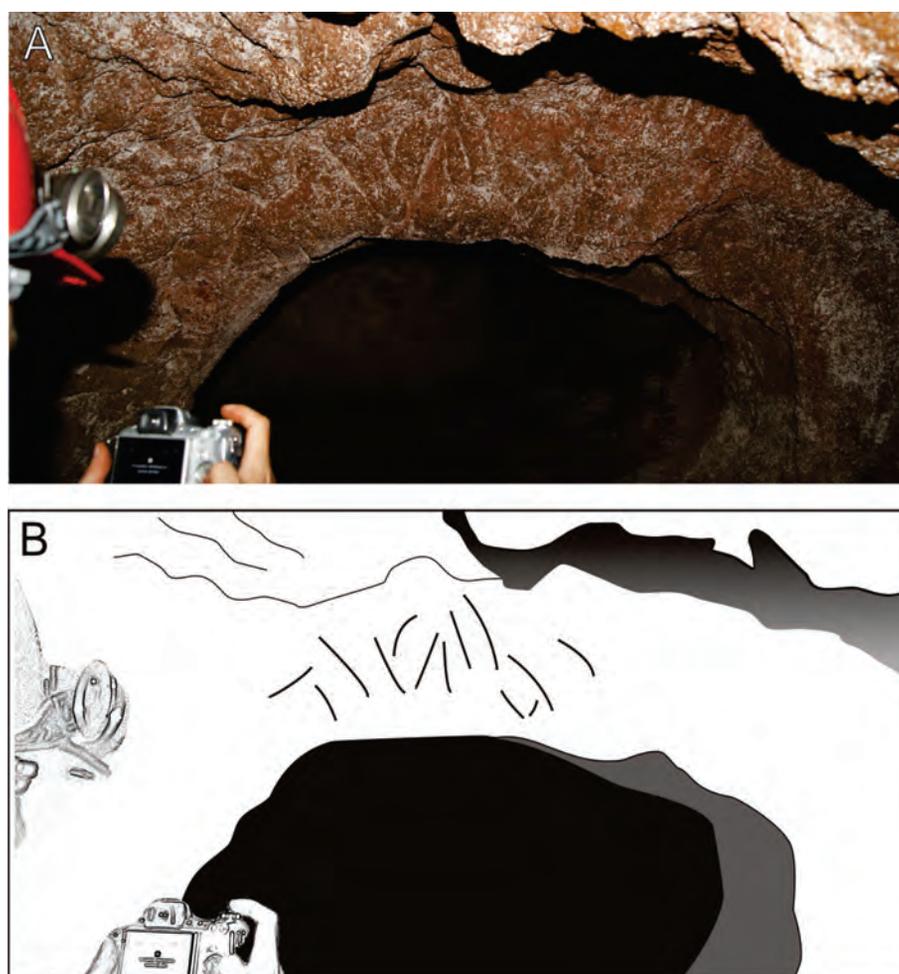


Figura 7 - Foto e desenho das marcas de garras na AP-38, sugerindo a atividade de algum animal fossorial de grande porte da megafauna extinta de mamíferos. Foto: Jonathas Bittencourt.

As estruturas de bioturbação podem ser classificadas segundo um critério etológico, ou seja, que leva em conta o tipo de atividade que resultou na modificação do substrato. Paleotocas são

classificadas como *domichnia* (do latim *domus* = casa), uma vez que os organismos as constroem para habitação (SEILACHER, 1953; BROMLEY, 1990).

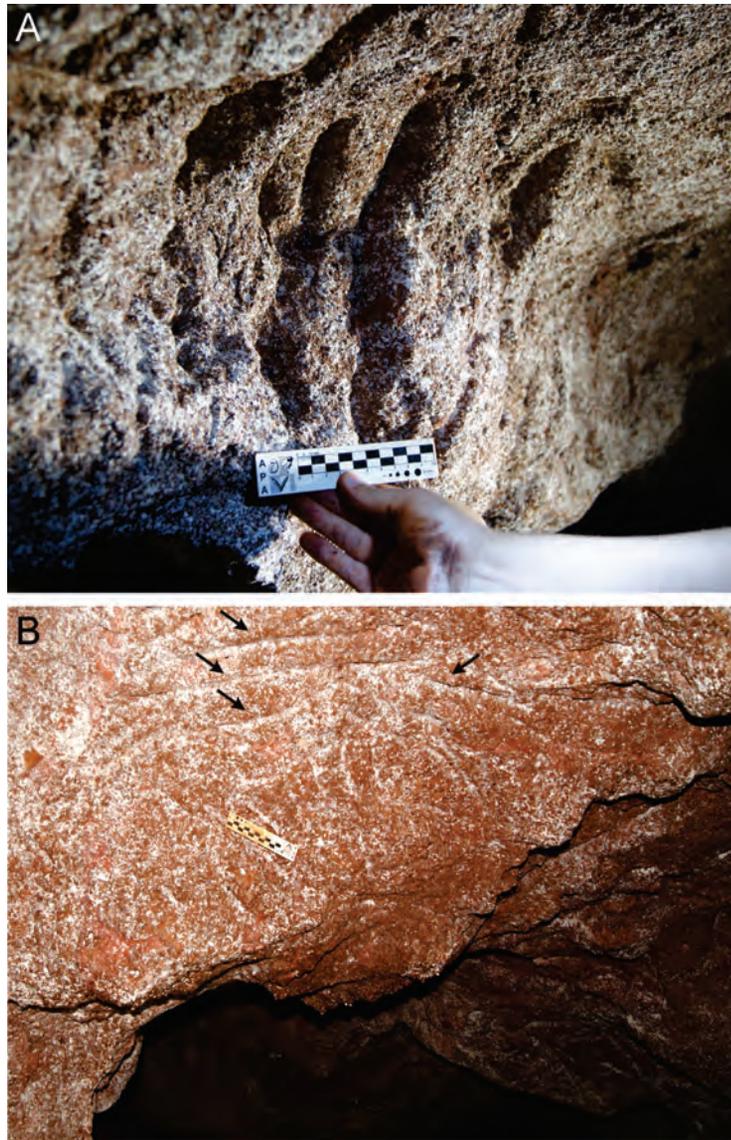


Figura 8 - A) Marcas de garras de maior porte na paleotoxa. B) Padrão paralelo de marcas nas porções mais altas da galeria. Fotos: Jonathas Bittencourt.

POSSÍVEIS PRODUTORES DA PALEOTOCA

As dimensões das marcas de garra e dos condutos escavados, além da própria dureza da canga, sugerem que as estruturas biogênicas descritas anteriormente foram produzidas por algum animal de grande porte. Nenhuma espécie atual preenche os requisitos anatômicos e/ou comportamentais para tal, sugerindo que algum mamífero extinto da era Cenozoica foi o produtor da paleotoxa desenvolvida na AP-38.

Os mamíferos com hábito fossorial e com tamanho compatível com as dimensões da AP-38 fazem parte de um mesmo grupo taxonômico: os Xenarthra (Figura 9; ver revisão de FARIÑA et al., 2013). Os representantes atuais deste táxon incluem os tatus, reconhecidos pela habilidade de escavar o substrato, preguiças arborícolas e tamanduás. Sua diversidade desde o Mioceno, entretanto, era bem maior, e incluía também as grandes preguiças terrícolas, outras espécies de tatus extintos, além dos pampatérios e gliptodontes (PAULA COUTO, 1979; CARTELLE, 1994).

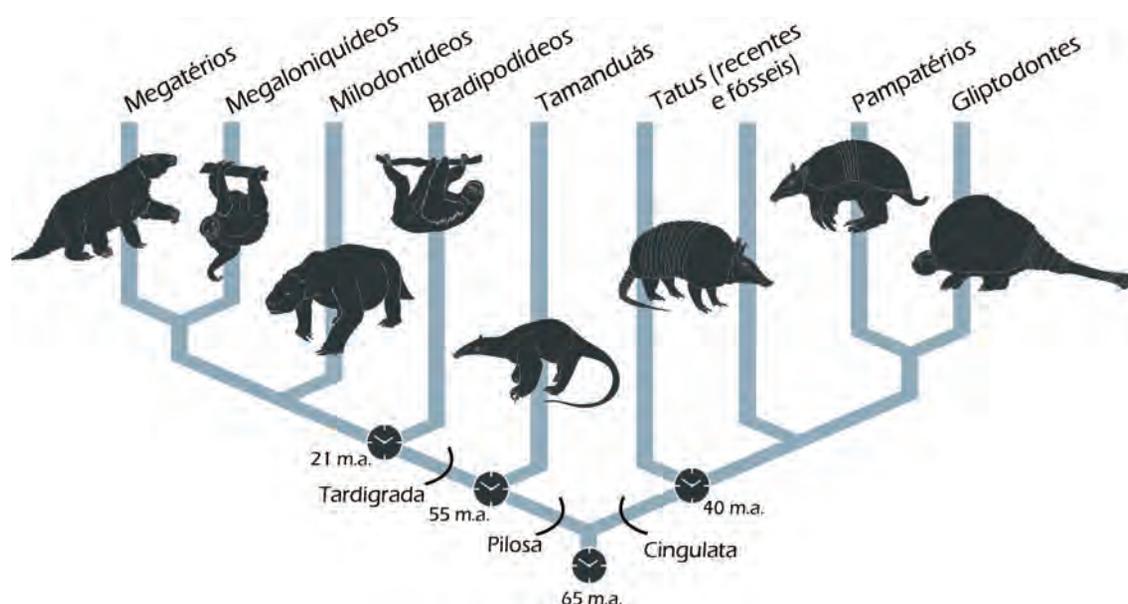


Figura 9 - Filogenia simplificada de Xenarthra segundo dados de Fariña et al. (2013). Os números associados aos nós representam o tempo de divergência (em milhões de anos - m.a.) das linhagens, estimado por relógio molecular (DELSUC et al., 2004). Silhuetas modificadas de várias fontes, incluindo Blanco et al. (2009) e Frank et al. (2011).

Os Cingulata são o grupo de xenartros que inclui os tatus atuais, gliptodontes e pampatérios. São caracterizados pela presença de uma carapaça dorsal formada por fileiras de placas ósseas de origem dérmica – os osteodermas. Nos tatus e pampatérios, algumas fileiras de osteodermas são móveis, enquanto que as placas dos gliptodontes não o são. Algumas espécies de cingulados do Pleistoceno atingiram dimensões maiores se comparados com o tamanho médio de seus parentes atuais. Os gêneros extintos *Eutatus*, *Propraopus* (ambos da mesma família dos tatus atuais, os Dasypodidae) e *Pampatherium* variavam de cerca de um e meio a dois metros de comprimento. Algumas paleotocas e crotovinas descobertas no Rio Grande do Sul e Argentina foram atribuídas a cingulados (BUCHMANN et al., 2009; DONDAS et al., 2009). Por outro lado, autores defendem que pelo menos *Pampatherium* não seria um cavador tão especializado, porque nesta espécie o processo olécrano da ulna (osso do antebraço), e que serve de inserção para os músculos usados para cavar, é menos desenvolvido do que nos tatus atuais (ABRANTES et al., 2005).

Os gliptodontes tinham uma carapaça mais alta e larga do que nos demais grupos (Figura 9), o que os tornavam semelhantes a um jabuti gigante (embora

não pudessem retrair a cabeça!). Algumas espécies podiam atingir mais de três metros de comprimento. Apesar de reunir características da anatomia externa compatíveis com paleotocas de grandes proporções, a maioria dos autores concorda que os gliptodontes não eram cavadores especializados, portanto são candidatos menos prováveis na produção de paleotocas (GILLETTE; RAY, 1981; MILNE et al., 2009).

O outro grupo de xenartros é Pilosa (Figura 9), dividido no ramo das preguiças (Tardigrada) e dos tamanduás (Vermilingua), cujos representantes atuais são, respectivamente, arborícolas e terrestres não fossoriais. Há, no entanto, uma grande diversidade de preguiças gigantes terrícolas extintas com capacidade de escavar, colocando-as como potenciais produtoras de paleotoca.

As preguiças extintas são classificadas (FARIÑA et al., 2013) em: Mylodontidae, animais de médio a grande porte que incluem os gêneros *Glossotherium*, *Mylodon*, *Scelidotherium*, *Catonyx* e *Valgipes*, entre outros; Megatheriidae, o grupo de *Megatherium* e *Eremotherium*, as maiores preguiças terrícolas já encontradas; Nothrotheriidae, que são as preguiças mais aparentadas aos megaterídeos, mas de menor porte; e Megalonychidae, que inclui formas extintas

como *Megalonyx*, *Ahytherium* e a preguiça atual de dois dedos (*Choloepus*) (Figura 9). Todos os grupos são registrados no Brasil (CARTELLE, 2012).

A anatomia das preguiças extintas reúne várias adaptações para o hábito cavador: o alongado processo olécrano da ulna, responsável em parte pela força de movimento de cavar; presença de uma articulação firme entre os ossos do pulso, da palma da mão e as primeiras falanges dos dedos, formando uma estrutura em forma de pá; o grande desenvolvimento dos dedos 2 e 3 da mão (Figura 10B), principalmente das ungueais (falanges que portam as garras); e a localização do centro de massa próximo aos quadris, que sustentaria o animal em posição semiereta durante a escavação (FARIÑA et al., 2013). Pelo menos uma paleotoca encontrada na Argentina tem marcas de garra semelhantes em dimensões às da cavidade AP-38 (DONDAS et al., 2009). Inferiu-se, naquele caso, que seus produtores deveriam ser preguiças extintas, possivelmente *Scelidotherium* ou *Glossotherium*. Na paleotoca da Serra do Gandarela, os sulcos aparecem comumente em grupos de dois, o que é mais compatível com a anatomia de preguiças extintas, que têm

dois dígitos com garras mais bem desenvolvidas, do que de pampatérios, com três (Figura 10).

O tamanho da paleotoca é também uma variável importante para a indicação do produtor. Isso se baseia na premissa de que, por uma razão simples de economia energética, o organismo não irá construir uma toca muito maior do que seu próprio tamanho (LAUNDRE, 1989). Paleotocas recentemente registradas em cavernas desenvolvidas em formações ferríferas no norte de Minas Gerais, com salões com 10 a 40m de comprimento, 5 a 10m de largura e 2 a 4m de altura, mostram dezenas a centenas de marcas de garras por metro quadrado, muitas delas formando marcas duplas paralelas ou entrelaçadas (BUCHMANN et al., 2013a, b). Tocadas com essas dimensões, o que também inclui a AP-38, são em geral atribuídas a preguiças extintas, não a cingulados (FRANK et al., 2012). Adicionalmente, comparações das marcas de garras daquelas paleotocas com a anatomia das mãos de *Pampatherium* e *Valgipes* (Figura 10) sugerem que elas foram de fato produzidas por milodontídeos cavadores (BUCHMANN, op. cit.).



Figura 10 - Mãos de xenartros extintos. A) *Pampatherium paulacoutoi* (Pampatheriidae), espécime MCL 2083. B) *Valgipes* sp. (Mylodontidae), espécime MCL 1293. Os fósseis estão depositados no Museu de Ciências Naturais da PUC-MG. Fotos: Francisco Buchmann.

Atribuir autoria de icnofósseis a determinado organismo é difícil, porque as evidências disponíveis, na maioria dos registros, são indiretas. No caso das cavidades em canga, esse problema é aumentado pelo fato de a canga ser uma feição eminentemente erosiva, o que tende a destruir restos orgânicos que eventualmente fossem incorporados a esse

sistema. Isso difere basicamente das cavernas formadas em rochas carbonáticas, já que o calcário tende a se precipitar sob a forma de sedimentos químicos, favorecendo a preservação do esqueleto. Até o momento, restos esqueléticos encontrados em cavidades de canga não foram confirmados como fósseis (CARMO et al., 2011b).

OUTROS REGISTROS DE PALEOTOCAS

Paleotocas e crotovinas são raras no registro geológico. No entanto, o número de descobertas tem aumentado nos últimos anos, chegando a mais de 1000 ocorrências, e com novas descobertas anualmente. As mais antigas paleotocas e crotovinas feitas por tetrápodes provêm de rochas do Carbonífero (c. 320 milhões de anos atrás), e se referem a estruturas de estivação feitas por anfíbios (STORM et al., 2010). Escavações de vertebrados não estritamente terrestres, como peixes pulmonados, são ainda mais antigas, aparecendo desde o Devoniano (c. 400 milhões de anos) (WADE; HASIOTIS, 2010). Na África do Sul, há um importante registro de crotovinas datadas do fim do Paleozoico (até c. 252 milhões de anos) e início do Mesozoico (até c. 247 milhões de anos), produzidas por sinápsidos - animais terrestres da linhagem evolutiva dos mamíferos (MODESTO; BOTHA-BRINK, 2010).

Ainda mais raro do que paleotocas e crotovinas propriamente ditas é quando fósseis são encontrados dentro da escavação, dando indicações de qual espécie a produziu. Há casos bem registrados, como o do mamífero *Paleocastor*, do Oligoceno-Mioceno dos EUA, que construía tocas em formato espiral do tipo *Daimonelix* (MARTIN; BENNETT, 1977), e do dicinodonte *Diictodon*, com túneis semelhantes aos de mamíferos, na África do Sul (SMITH, 1987). Também neste país, foi encontrado um registro espetacular em rochas do Triássico Inferior, no qual um esqueleto do sinápsideo *Thrinaxodon* e um anfíbio primitivo *Broomistega* compartilharam a mesma escavação, numa possível relação de comensalismo (FERNANDEZ et al., 2013).

Na Argentina, foram descobertas crotovinas com diâmetro médio de 13cm em depósitos do Plioceno Superior (c. 3 milhões de anos), sugerindo atividade fossorial de micromamíferos (GENISE, 1989). Nesse caso, no interior das crotovinas foi encontrado um abundante registro fóssil do seu produtor – roedores do gênero *Actenomys* (GENISE, 1989). Também na Argentina, uma crotovina foi encontrada com restos do gliptodonte *Sclerocalyptus* em seu interior (DE LOS REYES et al., 2006). Os autores sugeriram a possibilidade de o gliptodonte ter reocupado uma toca produzida por um tipo distinto de mamífero.

No Brasil, os vestígios mais antigos de tocas foram descobertos em rochas oriundas de sedimentos eólicos do Permiano, Triássico e Jurássico, na região sul do Brasil, cujos potenciais produtores incluem invertebrados, répteis ou sinápsidos (DENTZIEN-DIAS, 2010).

Escavações em cavernas do período Quaternário são mais bem conhecidas na América do Sul, com registros significativos no Brasil e Argentina (VIZCAÍNO et al., 2001; BUCHMANN et al., 2009; DONDAS et al., 2009; FRANK et al., 2011). A maior parte das ocorrências no Brasil é proveniente da região sul (Figura 11), especialmente dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (FRANK et al., 2010a; 2010b; 2010c; 2011; 2012; 2013). Nestas, há uma grande variabilidade do tipo de substrato que foi escavado, incluindo rochas sedimentares clásticas, basaltos e matrizes de granito-gnaisses (BUCHMANN et al., 2003; 2009). Estruturas típicas de paleotocas não são conhecidas em cavernas de calcário, como as que se formam em grande parte de Minas Gerais. Em parte, isso é devido à facilidade de dissolução do carbonato de cálcio que compõe a parede das cavidades.

Mais recentemente, pelo menos 15 paleotocas associadas a cavernas desenvolvidas em formações ferríferas foram identificadas na região do Vale do Rio Peixe Bravo, na Bacia do Jequitinhonha, norte de Minas Gerais (CARMO et al., 2011a; 2011b; BUCHMANN et al., 2013a; 2013b) (Figura 11), a maior parte delas ainda em fase de caracterização. Três paleotocas já foram estudadas em detalhe: as das cavernas Teto de Coral, Três Buracos e Mocororô (CARMO et al., 2011a). Do ponto de vista litológico, essas cavidades estão associadas ao intemperismo das camadas ferruginosas do Membro Riacho das Poções (Formação Nova Aurora, Grupo Macaúbas), originadas em um ambiente glacial pelo menos 1,5 bilhão de anos após o surgimento das formações ferríferas que deram origem à canga da Serra do Gandarela (VILELA, 2010; CARMO et al., 2011a).

Segundo dados de Carmo et al. (2011a), a caverna Teto de Coral contém um único conduto com cerca de 10 metros, de formato arredondado, com largura e altura mínimas de 2,2 e 1,8m, respectivamente; a caverna dos Três Buracos também se desenvolve em um único conduto linear de 37m e

largura mínima de 4,7m; e a caverna do Mocororô, com 5m de altura máxima no salão central, tem condutos irregulares cuja largura pode chegar a 4,5m. Todas elas apresentam marcas de garra nas paredes dos condutos, sendo que, no caso da caverna do Mocororô (CARMO et al., 2011a), as marcas estão alternadas em ângulos opostos, semelhante ao observado na AP-38 (Figura 12), até uma altura de cerca de 3m. Isso reforça a hipótese de que paleotocas com as dimensões da Mocororô tenham sido produzidas por preguiças extintas de grande porte.

Na caverna Teto de Coral, marcas de garras maiores que 30 por 3 cm (comprimento e espessura, respectivamente) foram registradas, além da presença de superfícies de polimento no teto que sugerem atrito entre o substrato e o organismo que produziu (CARMO et al., 2011a), ou reocupou a toca. Segundo esses mesmos autores, a porção final do conduto nesta caverna é mais larga e alta, sugerindo que se trata de uma câmara de giro, ou a parte que o animal utilizava para mudar o sentido de locomoção dentro da cavidade.



Figura 11 - Mapa das regiões sudeste e sul do Brasil com a localização das paleotocas identificadas no país até o momento. As estrelas vermelhas indicam as paleotocas formadas em substrato ferrífero (predominantemente canga). Estrelas brancas representam paleotocas em outros litotipos. Das ocorrências no norte de Minas Gerais, apenas três foram objeto de estudo detalhado (CARMO et al., 2011a).

As cavidades em canga também podem fornecer pistas sobre o comportamento de grupos extintos. A estrutura de algumas paleotocas descobertas no norte de Minas Gerais, provavelmente escavadas por milodontídeos, sugerem hábitos gregários para seus construtores (BUCHMANN et al., 2013a). Isso é embasado nas dimensões dos salões, que poderiam abrigar até uma dezena de indivíduos, e a presença de várias superfícies elípticas polidas na

base das paredes, interpretadas como sítios de repouso (BUCHMANN et al., 2013a). No entanto, tais hipóteses ainda precisam ser corroboradas pela descoberta de esqueletos fósseis em associação.

No município Cristal, Rio Grande do Sul, foi descoberta uma paleotoca escavada em depósitos de sedimentos aluviais (areias grossas em matriz silto-argilosa), estruturada em um túnel de 33m, com largura e altura médias de 1,46 e 0,9m, e uma

ramificação lateral curta próxima à metade de sua extensão (BUCHMANN et al., 2009). Algumas porções do túnel possuem maior volume, sugerindo a presença de várias câmaras de giro. Esse tipo de estrutura se acomoda no modelo de construção episódica da galeria de habitação, segundo a qual a toca seria construída em estágios (FRANK et al., 2012). Marcas nas paredes incluem grupos de três sulcos produzidos por garras durante a escavação (neste caso chamadas de marcas Tipo II), e um tipo

distinto constituído por cristas paralelas com arranjo retangular em série, equidistantes entre si (Tipo I). Essa morfologia é compatível com a anatomia de osteodermas típicas de cingulados (tatus e pampatérios). Além do tipo de substrato, há então duas diferenças fundamentais entre a AP-38 e a paleotoca Cristal: os vestígios de carapaça e as marcas de garras em grupos de três sulcos – não dois, como na Serra do Gandarela – sugerindo diferentes bioconstrutores para cada paleotoca.

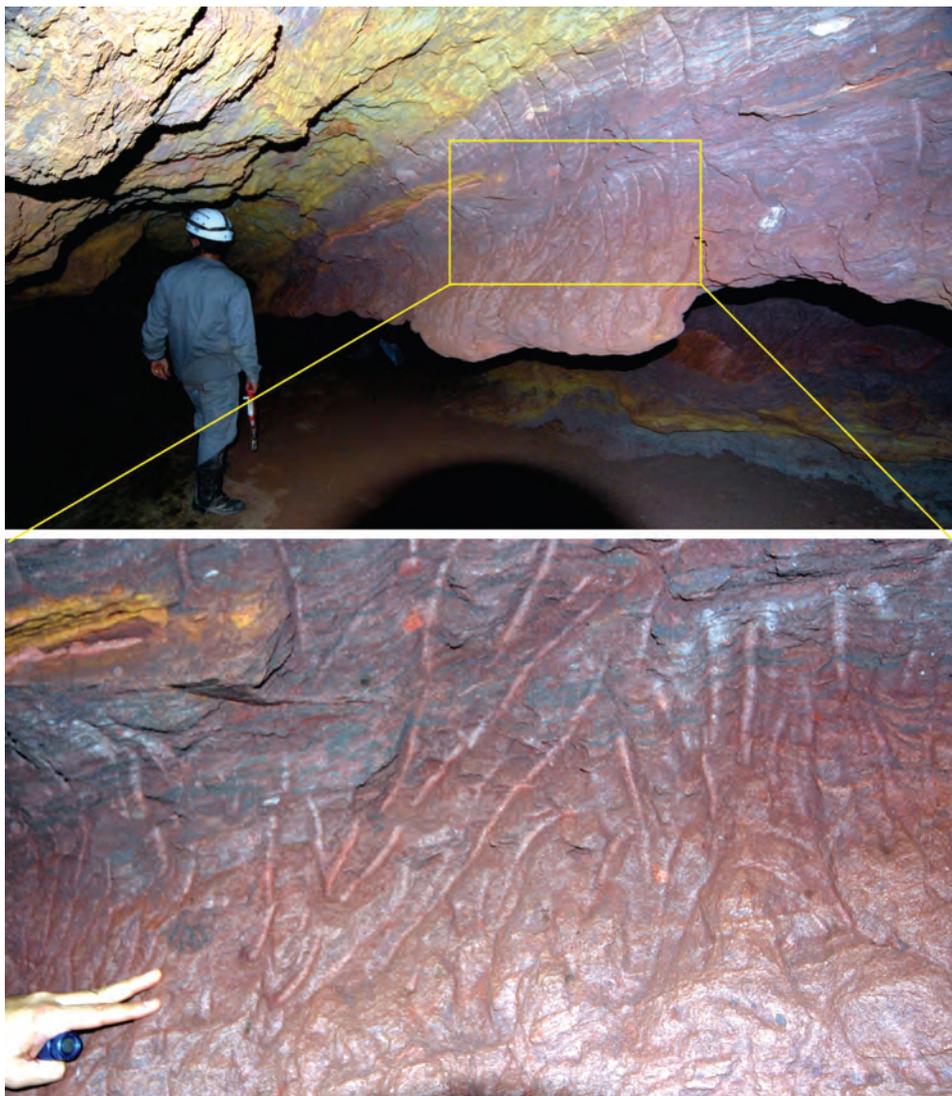


Figura 12 - Foto geral e detalhe das marcas de garra da caverna do Mocarorô, Vale do Rio Peixe Bravo, norte de Minas Gerais. Fotos: Francisco Buchmann.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A divisão tradicional dos fósseis em evidências diretas (restos), que inclui a preservação de partes rígidas ou biomineralizadas de organismos – conchas, esqueletos, carapaças, ossos e dentes – e as evidências indiretas (e.g. icnofósseis), está relacionada ao tipo da informação que ambas as categorias fornecem. Icnofósseis podem registrar grupos extintos onde nenhuma evidência direta deles foi encontrada. A paleotoca da Serra do Gandarela AP-38 é o testemunho da presença de xenartros extintos de grande porte, provavelmente preguiças terrícolas, na região do Quadrilátero Ferrífero.

Paleotocas associadas a formações ferríferas são ainda pouco conhecidas, com registros no norte de Minas e a AP-38, descrita neste capítulo. A maior parte das ocorrências ainda se encontra em fase de caracterização. Conforme abordado anteriormente, a preservação de restos fósseis é menos esperada em cavidades de formações ferríferas, em razão da natureza erosiva dos depósitos de canga. No entanto, uma riqueza de icnofósseis e materiais recentes de interesse da paleozoologia devem estar ocultos nas inúmeras cavidades ainda não exploradas no Brasil. Esse fato é atestado por levantamentos que sugerem que cerca de um quinto das cavernas no território brasileiro se desenvolveram em formações ferríferas (CARMO et al., 2012). Mais particularmente no Quadrilátero Ferrífero, há mais de 650 cavernas cadastradas (PEREIRA, 2010; CALUX, 2013), embora nem todas oriundas deste tipo de rocha. Provavelmente o potencial é maior, e deverá ser conhecido com o prosseguimento das pesquisas científicas, da prospecção para atividade minerária e ações de salvaguarda.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao promotor público Dr. Marcos Paulo de Souza Miranda, que viabilizou o estudo da paleotoca; à Alice Okawara, pela imagem da figura 5; à companhia Vale S.A., pela disponibilização dos dados da paleotoca e aos editores deste livro, pela oportunidade de contribuição.

REFERÊNCIAS

- ANN BROWN, D.; GROSS, G. A.; SAWICKI, J. A. A Review of the Microbial Geochemistry of Banded Iron Formations. *The Canadian Mineralogist*, v.33, p.1321-1333, 1995.
- BERGQVIST, L. P.; MACIEL, L. Icnofósseis de mamíferos (crotovinas) na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 66, p. 189-197, 1994.
- BLANCO, R. E.; JONES, W. W.; RINDERKNECHT, A. The Sweet Spot of a Biological Hammer: The Centre of Percussion of Glyptodont (Mammalia: Xenarthra) Tail Clubs. *Proceedings of the Royal Society B, Biological Sciences*. Disponível em <<http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/early/2009/08/20/rspb.2009.1144.full>>. Acesso em 25 jun. 2014.
- BONTOGNALI, T. R. R.; FISCHER, W. W.; FÖLLMI, K. B. Siliciclastic Associated Banded Iron Formation from the 3.2 Ga Moodies Group, Barberton Greenstone Belt, South Africa. *Precambrian Research*, v. 226, p.116-124, 2013.
- BRATERMAN, P. S.; CAIRNS-SMITH, A. G. Photoprecipitation and the Banded Iron Formations - Some Quantitative Aspects. In: APPEL, P. W. U.; LABERGE, G. L. *Precambrian Iron-Formations*. Atenas: Theophrastus Publications, 1987, p.221-228.
- BROMLEY, R. G. *Trace Fossils: Biology and Taphonomy*. London: Unwin Hyman, 1990. 310p.
- BUCHMANN, F. S.; FRANK, H. T.; FERREIRA, V.; CARVALHO, M. T. N.; CRUZ, E. A.; LEMES, A. C. G. Evidência de Vida Gregária em Mylodontidae (Mammalia, Xenarthra). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 13, 2013a, Gramado. *Boletim de Resumos...* Gramado, 2013a. p. 298.
- BUCHMANN, F. S.; FRANK, H. T.; FERREIRA, V.; CARVALHO, M. T. N.; CRUZ, E. A.; ROSARIO, G. V. Novas Paleotocas Escavadas em Metadiamicitito (Minério de Ferro) em Minas Gerais, Brasil. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 14, 2013b, Natal. *Anais...* Natal: ABEQUA, 2013b.
- BUCHMANN, F. S. C.; CARON, F.; LOPES, R. P.; TOMAZELLI, L. J. Traços fósseis (paleotocas e crotovinas) da megafauna extinta no Rio Grande do Sul, Brasil. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 9, 2003, Recife. *Anais...* São Paulo: Abequa, 2003. p. 5.
- BUCHMANN, F. S. C.; LOPES, R. P.; CARON, F. Icnofósseis (Paleotocas e Crotovinas) atribuídos a mamíferos extintos no Sudeste e Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, v.12, p. 247-256, 2009.
- CABRAL, A. R.; ZEH, A.; KOGLIN, N.; SEABRA GOMES JR, A. A.; VIANA, D. J.; LEHMANN, B. Dating the Itabira Iron Formation, Quadrilátero Ferrífero of Minas Gerais, Brazil, at 2.65 Ga: Depositional U-Pb age of zircon from a metavolcanic layer. *Precambrian Research*, v.204-205, p. 40-45, 2012.
- CALUX, A. S. *Gênese e desenvolvimento de cavidades naturais subterrâneas em formação ferrífera no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. 2013. 218 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais.
- CARMO, F. F.; CARMO, F. F.; BUCHMANN, F. S. C.; FRANK, H. T.; JACOBI, C. M. Primeiros registros de paleotocas desenvolvidas em formações ferríferas, Minas Gerais, Brasil. In: Congresso Brasileiro de Espeleologia, 31, 2011a, Ponta Grossa. *Anais...* São Paulo: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2011a. p. 531-540. Disponível em: <www.cavernas.org.br/anais31cbe/31cbe_531-540.pdf>. Acesso em: 01 de jun. 2014

- CARMO, F. F.; CARMO, F. F.; CAMPOS, I. C.; JACOBI, C. M. Cangas Ilhas de ferro estratégicas para conservação. *Ciência Hoje*, v. 295, p. 48-53, 2012.
- CARMO, F. F.; CARMO, F. F.; SALGADO, A. A. R.; JACOBI, C. M. Novo sítio espeleológico em sistemas ferruginosos, no Vale do Rio Preixe Bravo, norte de Minas Gerais, Brasil. *Espeleo-Tema*, v. 22, p. 25-39, 2011b. Disponível em: <www.cavernas.org.br/espeleo-tema/espeleo-tema_v22_n1_025-039.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2014.
- CARTELLE, C. *Tempo Passado: Mamíferos no Pleistoceno em Minas Gerais*. Belo Horizonte: Acesita, 1994. 132p.
- CARTELLE, C. *Das grutas à luz: Os mamíferos pleistocênicos de Minas Gerais*. Belo Horizonte: Bicho do Mato. 2012. 236p.
- CROAL, L. R.; GRALNICK, J. A.; MALASARN, D.; NEWMAN, D. K. The Genetics of Geochemistry. *Annual Review of Genetics*, v.38, p. 175-202, 2004.
- DE LOS REYES, L. M.; CENIZO, M. M.; LORENZINI, S. Restos de *Sclerocalyptus* en una paleocueva ¿Evidencias de reocupación o posible constructor? In: CONGRESO ARGENTINO DE PELONTOLOGÍA Y BIOESTRATIGRAFÍA, 9, 2006, Córdoba. *Actas...* Córdoba: Academia Nacional de Ciencias, 2006. p. 280.
- DELSUC, F.; VIZCAÍNO, S. F.; DOUZERY, E. J. P. Influence of Tertiary Paleoenvironmental Changes on the Diversification of South American Mammals: A Relaxed Molecular Clock Study within Xenarthrans. *BMC Evolutionary Biology*, v. 4, p. 1471-2148, 2004.
- DENTZIEN-DIAS, P. C. *Ícnofósseis de vertebrados das Rio do Rasto (Permiano) e Guará (Jurássico) do sudoeste do RS*. 2010. 154f. Tese (Doutorado em Geociências), Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- DONDAS, A.; ISLA, F. I.; CARBALLIDO, J. L. Paleocaves Exhumed from the Miramar Formation (Ensenadan Sateg-age, Pleistocene), Mar del Plata, Argentina. *Quaternary International*, v. 210, p.44-50, 2009.
- DORR, J. V. N. The Cauê Itabirite. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, São Paulo, v.7, p.61-62, 1958.
- DORR, J. V. N.; GUILD, P. W.; BARBOSA, A. L. M. The Iron Ore Deposits of Brazil, Origin of the Brazilian Iron Ores. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS - SYMPOSIUM SUR LES GISEMENTS DU FER DU MONDE, 19, 1952, Algiers. 1952. p. 286-298.
- FARIÑA, R. A.; VIZCAÍNO, S. F.; DE IULIIS, G. *Megafauna: Giant Beasts of Pleistocene South America*. Bloomington: Indiana University Press, 2013. 448p.
- FERNANDEZ, V.; ABDALA, F.; CARLSON, K. J.; COOK, D. C.; RUBIDGE, B. S.; YATES, A.; TAFFOREAU, P. Synchrotron Reveals Early Triassic Odd Couple: Injured Amphibian and Aestivating Therapsid Share Burrow. *PLoS ONE*, v. 8, n.6. p.1-7 (e64978), 2013.
- FLANNERY, D. T.; WALTER, M. R. Archean Tufted Microbial Mats and the Great Oxidation Event: New Insights into an Ancient Problem. *Australian Journal of Earth Sciences*, v.59, p. 1-11, 2012.
- FRANÇOIS, L. M. Extensive Deposition of Banded Iron Formations was Possible without Photosynthesis. *Nature*, v.320, p. 352-354, 1986.
- FRANK, H. T.; BUCHMANN, F. S. C.; DE LIMA, L. G.; CARON, F.; LOPES, R. P.; FORNARI, M. Karstic Features Generated from Large Paleovertebrate Tunnels in Southern Brazil. *Espeleo-Tema*, v.22, p.139-153, 2011. Disponível em: <www.cavernas.org.br/espeleo-tema/espeleo-tema_v22_n1_139-153.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2014.
- FRANK, H. T.; BUCHMANN, F. S. C.; DE LIMA, L. G.; FORNARI, M.; CARON, F.; LOPES, R. P. Cenozoic Vertebrate Tunnels in Southern Brazil. *Monografias da Sociedade Brasileira de Paleontologia*, v. 2, p. 141-157, 2012.
- FRANK, H. T.; CARON, F.; LIMA, L. G.; LOPES, R. P.; FORNARI, M.; BUCHMANN, F. S. The Occurrence Pattern of Large Cenozoic Palaeoburrows in a Pilot Area in the State of Rio Grande do Sul, Brazil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA DE VERTEBRADOS, 7, 2010a, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, 2010a. 1 CD-ROM.
- FRANK, H. T.; CARON, F.; LIMA, L. G.; LOPES, R. P.; FORNARI, M.; BUCHMANN, F. S. Uma caverna formada por processos biofísicos e geológicos: A Paleotoca do Arroio da Bica (Nova Hartz, Rio Grande do Sul, Brasil). In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 2, 2010b, Ponta Grossa. *Anais...* UEPG/GUBE/SBE: Ponta Grossa, 2010b. 1 CD-ROM.
- FRANK, H. T.; LIMA, L. G.; CARON, F.; BUCHMANN, F. S.; FORNARI, M.; LOPES, R. P. The Megatunnels of the South American Pleistocene Megafauna. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE ICNOLOGIA, 2010c, São Leopoldo. *Resúmenes/Abstracts...* São Leopoldo: UNISINOS, 2010c. p. 39.
- FRANK, H. T.; LIMA, L. G.; GERHARD, N. P.; CARON, F.; BUCHMANN, F. S.; FORNARI, M.; LOPES, R. P. Description and Interpretation of Cenozoic Vertebrate Ichnofossils in Rio Grande do Sul State, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, v. 16, p. 83-96, 2013.
- GENISE, J. F. Las cuevas con *Actenomys* (Rodentia, Octodontidae) de la Formación Chapadmalal (Plioceno Superior) de Mar del Plata y Miramar (provincia de Buenos Aires). *Ameghiniana*, v.26, p.33-42, 1989.
- GILLETTE, D. D.; RAY, C. E. Glyptodonts of North America. *Smithsonian Contributions to Paleobiology*, v.40, p.1-255, 1981.

- KONHAUSER, K. O. Could Bacteria Have Formed the Precambrian Banded Iron Formations? *Geology*, v.30, p. 1079-1082, 2002.
- LAUNDRE, J. W. Horizontal and Vertical Diameter of Burrows of Fine Small Mammal Species in Southeastern Idaho. *Great Basin Naturalist*, v.49, p.646-649, 1989.
- LAURSEN, L. Banded Iron Formations Have Microbial Link? *Earth*, v.25, p. 18, nov. 2011.
- LI, Y. L.; KONHAUSER, K. O.; KAPPLER, A.; HAO, X.-L. Experimental Low-Grade Alteration of Biogenic Magnetite Indicates Microbial Involvement in Generation of Banded Iron Formations. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 361, p. 229-237, 2013.
- MARTIN, L. D.; BENNETT, D. K. The Burrows of the Miocene Beaver Palaeocastor, Western Nebraska, U.S.A. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 22, p. 173-193, 1977.
- MCILROY, D. The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis: Introduction. *Geological Society Special Publications*, v. 228, p. 1-2, 2004.
- MILNE, N.; VIZCAÍNO, S. F.; FERNICOLA, J. C. A 3D Geometric Morphometric Analysis of Digging Ability in the Extant and Fossil Cingulate Humerus. *Journal of Zoology*, v.278, p.48-56, 2009.
- MODESTO, S. P.; BOTHA-BRINK, J. A Burrow cast with *Lystrosaurus* Skeletal Remains from the Lower Triassic of South Africa. *Palaio*, v.25, p.274-281, 2010.
- NEALSON, K. H.; MYERS, C. R. Iron Reduction by Bacteria: A Potential Role in the Genesis of Banded Iron Formations. *American Journal of Science*, v.290-A, p.35-45, 1990.
- PAULA COUTO, C. *Tratado de Paleomastozoologia*. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1979, 590p.
- PEMBERTON, S. G.; MACEACHERN, J. A.; GINGRAS, M. K. The Antecedents of Invertebrate Ichnology in North America: the Canadian and Cincinnati schools. In: MILLER III, W. *Trace Fossils: Concepts, Problems, Prospects*. Amsterdam: Elsevier, 2007. p.14-31.
- PEREIRA, M. C. *Aspectos genéticos e morfológicos das cavidades naturais da Serra da Piedade - Quadrilátero Ferrífero/MG*. 2010. 149f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- RIDING, R. E. The Term Stromatolite: Towards an Essential Definition. *Lethaia*, v. 32, p. 321-330, 1999.
- RUCHKYS, Ú. *Patrimônio Geológico e Geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: Potencial para Criação de um Geoparque da UNESCO*. 211 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- SCHOPF, J. W. *Cradle of Life: The Discovery of Earth's Earliest Fossils*. Princeton: Princeton University Press, 1999, 369p.
- SEILACHER, A. Studien zur paläontologie: 1. Über die methoden der palichnologie. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, k v. 96, p. 421-452, 1953.
- SMITH, R. M. H. Helical Burrow Casts of Therapsid Origin from the Beaufort Group (Permian) of South Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 60, p. 155-170, 1987.
- SPIER, C. A. *Geoquímica e gênese das formações ferríferas bandadas e do minério de ferro da Mina de Águas Claras, Quadrilátero Ferrífero, MG*. 264 f. Tese (Doutorado em Geologia) -Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- STORM, L.; NEEDLE, M. D.; SMITH, C. J.; FILLMORE, D. L.; SZAJNA, M.; SIMPSON, E. L.; LUCAS, S. G. Large Vertebrate Burrow from the Upper Mississippian Mauch Chunk Formation, eastern Pennsylvania, USA. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 298, p. 341-347, 2010.
- VILELA, F. T. *Caracterização de metadiamicritos ferruginosos da Formação Nova Aurora (Grupo Macaúbas, Orógeno Araçuaí) a oeste de Salinas, MG*. 120 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Departamento de Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- VIZCAÍNO, S. F.; FARIÑA, R. A.; MAZETTA, G. V. Ulnar dimensions and fossoriality in armadillos. *Acta Theriologica* v. 44, p. 309-320, 1999.
- VIZCAÍNO, S. F.; ZÁRATE, M.; BARGO, M. S.; DONDAS, A. Pleistocene burrows in the Mar del Plarta area (Argentina) and their probable builders. *Acta Paleontologica Polonica* v. 46, p. 289-301, 2001.
- WADE, J. T.; HASIOTIS, S. T. Lungfish burrows and earliest record of estivation by vertebrates, Upper Devonian Catskill Formation, Pennsylvania, USA. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, v. 42, p. 253, 2010.

ARQUEOLOGIA NAS CAVERNAS E SUPORTES FERRUGINOSOS



ALENICE BAETA

Artefacto Consultoria

HENRIQUE PILÓ

Artefacto Consultoria



INTRODUÇÃO

Pretende-se apresentar um panorama sobre as pesquisas arqueológicas nos campos ferruginosos no Brasil e seus resultados preliminares, em especial, em Carajás, Pará; Região de Caetité, BA; Morraria de Urucum, MS; focalizando em um segundo momento a diversidade do patrimônio arqueológico situado nas cavernas e suportes de minério de ferro e canga em Minas Gerais. Em um

terceiro momento, vão ser apresentadas sínteses das pesquisas arqueológicas desenvolvidas até o momento por nossa equipe no Quadrilátero Ferrífero, nas 'cavernas de ferro', indicando as peculiaridades da arqueologia no substrato ferruginoso, metodologias, cronologias, interpretações de usos dessa paisagem e sugestões sobre a conservação desse rico patrimônio cultural.

OS PLATÔS DE CARAJÁS-PA

As informações sobre sítios arqueológicos em cavernas de minério de ferro no Brasil até alguns anos atrás se referiam a estudos realizados por pesquisadores do Museu Paraense Emílio Goeldi-MPEG na região de Carajás, nos vales dos rios Itacaiúnas e Parauapebas, sul do Pará.

O missionário e antropólogo Protásio Friel, nos anos 1962 e 1963, visitou essa região e a aldeia *Pukatingro* dos *Xikrin* ou *Putkarôt*, sendo que no primeiro ano foi acompanhado pelo padre François Gentel. Durante essas expedições fez coleta de material arqueológico lítico e cerâmico em vários sítios¹ da região, chamando a atenção para a cultura material arqueológica coletada por ele, que não poderia ser atribuída diretamente aos *Xikrin*², antigos habitantes de lá, mas não produtores de cerâmica. Os próprios *Xikrin* não reconheciam as peças como de sua tradição. A coleção de Friel foi posteriormente analisada e organizada por Napoleão Figueiredo, arqueólogo da mesma instituição, tendo sido parcialmente atribuída à cultura Tupiguarani, chamando a atenção da arqueologia brasileira para a complexidade da pré-história de Carajás e do patrimônio cultural, bem como, da situação indígena do local (SIMÕES, 1986, p.539; SILVEIRA et al., 2009).

Friel ainda obteve dos *Xikrin*, naquela ocasião, relatos sobre a existência de antigas moradias em “locais altos, salvo de águas e enxurradas”, que seriam dos *Kuben Kamrek-ti* ancestrais indígenas que habitavam a região de Itacaiúnas. Suspeita-se que tais informações se referissem às grutas ferruginosas existentes nos platôs da região (SILVEIRA et al., 2009). No entanto, a referência mais recuada de visita a esta localidade data do início do século XVIII, pelo padre Manuel da

Mota, em 1721, especificamente no baixo Itacaiúnas e Parauapebas.

Henri Coudreau, geógrafo e historiador francês, a serviço do Governo do Pará, adentrou alguns rios da região amazônica procurando mapeá-los, dentre eles, Tocantins, Xingu, Araguaia, Parauapebas e Itacaiúnas, em 1898, tendo visitado e registrado travessões, saltos, cachoeiras, aldeias e ilhas. Coudreau, um ano antes de sua morte à margem do rio Trombetas, também no Pará, percorrendo as “águas escuras” do rio Parauapebas, transpondo da cachoeira Seca até a dos Três Braços, menciona a existência de “rochedos escuros” na paisagem, denominada por ele de “pré-históricos” (COUDREAU, 1980, p. 63).

“De súbito, na extremidade de um desses estirões adormecidos, surge no interior uma notável cadeia de montanhas. A cumeeira central ostenta, num dos flancos, uma compacta massa rochosa negra que lembra a cadeia de Aribaru, no Xingu. Essa Serra de Pedra Preta fica na margem direita do Parauapebas” (COUDREAU, 1980, p. 71).

Coudreau informa que nessa incursão deparou-se ainda com alguns indígenas “*Xikrin*” no baixo curso do rio Bacuri, que seguiam na direção de “Jatobá” (COUDREAU, 1980, p. 74).

Entre 1903 e 1913, Manuel Pernambuco da Gama estabeleceu-se no alto Itacaiúnas fazendo contato com indígenas *Caiapós-Xikrins*. Nos anos trinta deste século, acirraram-se os conflitos com os invasores e colonizadores quando ocorreu uma chacina capitaneada por Antônio Borges Leal e seus comparsas, reduzindo a aldeia *Xikrin* à meta-

de de sua população (SIMÕES, 1986). Orientado por Frikel, o frei Dominicano José Caron iniciou trabalho indigenista na região entre os anos 1964 e 1970, sendo que nessa mesma ocasião os *Xikrin* foram aldeados pelo Serviço de Proteção ao Índio-SPI (atual FUNAI), no posto Las Casas, no vale do rio Cateté.

Lux Vidal, antropóloga e etnóloga da USP, em seus estudos (1976;1982) sobre os *Xikrin* da região de Carajás apresenta informações interessantes sobre o seu mundo mítico, que se autodenominam *Mê-be-ngô-kre*: “aqueles que tem origem do buraco d'água”.

Conforme apontado, os rios Itacaiúnas e Paraupebas vinham sendo periodicamente visitados por muitos missionários, viajantes e exploradores, acrescentando ainda, os trabalhos do engenheiro Moraes Rego em 1933, por ocasião de levantamentos geológicos na região de Tocantins e arrabaldes.

A partir dos anos oitenta do século passado, com a implantação definitiva de empreendimentos de exploração mineral e infraestrutura na região de Carajás, é que se iniciaram os primeiros levantamentos arqueológicos relacionados à identificação, mapeamento e definição de possíveis horizontes culturais, sendo que as primeiras pesquisas sistemáticas foram desenvolvidas pela equipe do arqueólogo M. Simões entre 1983 e 1986. Posteriormente, os estudos foram coordenados por seus colegas D. Lopes e K. Hilbert, tendo sido levantados até aquela ocasião aproximadamente 50 sítios arqueológicos, sendo que quatro deles seriam em grutas ferruginosas, além de três alinhamentos de pedras nos pisos rochosos, “localizados sobre os platôs de N3, N4 e N5, somente acessíveis por helicópteros” (SIMÕES, 1986, p.542). Desses sítios, parte foi atribuído ao período pré-cerâmico e o restante já apresentava vestígios de artefatos de barro. Nessa primeira fase, a principal preocupação era identificar sítios ribeirinhos às margens do Itacaiúnas e Paraupebas e nos platôs próximos, quando foi prospectada a gruta ferruginosa da Onça, sendo que,

“(...) os testes realizados na parte central do piso revelaram solo muito compacto, empedrado, com uns poucos fragmentos diminutos de cerâmica e raras lascas líticas” (SIMÕES, 1986, p. 545).

Simões ainda informa que em 1983 uma equipe da UNICAMP identificou uma caverna maior com duas entradas “em grande parte sem iluminação”. Reforçou a necessidade de pesquisas futuras nas grutas que estavam sendo encontradas “mesmo sem conter sinalizações rupestres” considerando ainda que as pesquisas seriam penosas e demoradas, exigindo ainda equipamentos especiais de iluminação (SIMÕES, 1986, p. 545).

Com relação aos alinhamentos de pedra, as inspeções feitas indicaram se tratar de estruturas compostas por “blocos cobertos por musgo e ou líquen, dispostos em linha por vezes ondulantes e sem persistência de orientação, assentados sobre o topo plano e empedrado dos platôs” (SIMÕES, 1986, p. 546).

Frikel, inclusive, já havia mencionado a existência de alinhamentos de pedras similares com blocos um pouco maiores na área de Tumucumaque (PA), no caso, considerados pelos índios *Tirijó* como *Ometaninpe* ('os transformados') de origem atribuída a seus ancestrais, os *Aibuba*, que segundo a lenda, ficaram ali esperando sair o sol quando houve uma noite muito longa... mas a escuridão não quis findar... e os *Aibuba* ficaram sentados até se tornarem pedras. “*E lá ainda estão ...*” (FRIKEL, 1961, p.2).

Oliveira e Aguiar (2012) indicaram a existência de sítios compostos por alinhamentos e montículos de pedras também sobre pisos rochosos em Tocantins, na região do Jalapão, nos municípios de São Félix, Rio do Sono, Novo Acordo e Lizarda. No Amapá, “alinhamentos de esteio de pedra” também foram registrados por Nunes Filho no vale do Araguari (2012). Dessa maneira, esse tipo de testemunho ou ocorrência merece especial atenção, sobretudo nos campos rupestres, platôs e cavernas da região de Carajás e adjacências.

Escavações na gruta do Gavião, ocorridas entre 1985 e 1989, revelaram um nível de ocupação humana antiga, que corresponderia a mais de 8.000 anos antes do presente A.P.³ Seus vestígios estavam muito bem conservados devido às boas condições do solo de alguns salões, mais secos e livres de infiltrações.

“As descobertas de Carajás, reforçam a convicção de que a Amazônia teve algumas das mais antigas ocupações de caçadores-coletores do hemisfério Sul” (SILVEIRA, 1994, p.2 e 22).

Segundo pesquisas de M. Silveira (1994), as escavações realizadas indicaram a existência de três níveis de ocupação por grupos caçadores-coletores pré-cerâmicos, sendo que os vestígios arqueológicos encontravam-se concentrados em duas áreas distintas da caverna. Uma na parte interna, em zonas parcialmente iluminadas dos salões Vaimorê e da Lasca, e a segunda, na área externa junto à entrada, onde foram realizadas as atividades voltadas ao processamento de alimentos e lascamentos. A cultura material encontrada constituía-se principalmente por sementes, carvão e material lítico. A indústria pétrea era composta basicamente por artefatos feitos em quartzo hialino, ametista e citrino, lascados unifacialmente por percussão, além de núcleos, resíduos de lascamento, 'quebra-cocos' e percutores em arenito e granito. Ainda foram encontradas contas de sementes, resinas⁴ e alguns fragmentos cerâmicos⁵. No que se refere às estruturas de combustão, as análises concluíram que as fogueiras foram feitas primeiramente na parte do fundo do abrigo seguindo paulatinamente ao longo do tempo para a área da entrada. Do ponto de vista do estudo zooarqueológico, foram identificadas importantes informações sobre a dieta alimentar e fontes nutricionais de seus habitantes, indicativo de que estes exploravam todos os tipos de compartimentos da Serra dos Carajás, especialmente em busca de animais da floresta⁶. Dentre os diversos grupos destacam-se: mamíferos, répteis, aves, moluscos, peixes e crustáceos, indicando a utilização de uma economia mista e variada, que se manteve razoavelmente em equilíbrio durante os 5.000 anos de ocupação dessa gruta.

A partir de 1990, já na segunda fase de pesquisa, coordenada, por sua vez, pelo também pesquisador do MPEG, M. Magalhães, novas cavidades nos platôs na região foram levantadas. Outras grutas, tais como, Guarita, Mappinguarí e do Rato por apresentarem grande potencialidade arqueológica também foram estudadas meticulosamente e em profundidade, confirmando o antigo horizonte cultural atribuído a Carajás. Segundo Magalhães (2002), estas grutas parecem ter sido utilizadas para outros fins ou por estratos sociais diferentes se comparadas com a

do Gavião. Provavelmente as três cavernas constituíam um mesmo conjunto ou sistema de ocupação, organizado concomitantemente. De forma distinta de o que ocorreu na Gruta do Gavião, cuja área externa foi a que apresentou maior concentração de material lítico, o interior dessas cavidades foi o local privilegiado da atividade artesanal. Os níveis mais antigos também são coincidentes, sendo a datação alcançada na Gruta da Guarita de 8.260 anos A.P. e na Gruta do Rato, entre 8.470 e 7.040 anos A.P. (MAGALHÃES, 1993; 2002).

Num período posterior, há cerca de 3.000 anos, grupos que habitavam essas cavernas passaram a manter contato com sociedades que dominavam a tecnologia da cerâmica, absorvendo as técnicas de manufatura. Posteriormente, a produção oleira se popularizou sendo utilizada, em especial, para armazenamento de água, objetos, sementes e frutos (MAGALHÃES, 2002, p. 33).

Atualmente, há novos estudos que vêm sendo realizados por outras equipes nessa região, expandindo para localidades de Canaã de Carajás, sobretudo no setor D da Serra Azul⁷, além de pesquisas voltadas ao aprofundamento da arqueologia do Holoceno Tardio de Carajás como a realizada por A. Pessoa (2013).

Atribuídas à Tradição Amazônica⁸, é comum haver gravuras rupestres em afloramentos lateríticos em áreas alagáveis de rios e lagos em várias localidades da região amazônica, como é o caso das gravuras de Terra Santa, na região de Oriximiná, PA. Nos sítios arqueológicos Lajedos do Cadena e Lajedo da Cruz, município Conceição do Araguaia, PA, há também inúmeros registros de conjuntos de gravuras em piso laterítico ou ferruginoso.

Assim, os resultados mais recentes vêm reforçar as ricas informações relacionadas à adaptação ambiental, manejo, territorialidade, dispersão dos caçadores-coletores e ceramistas, suas diferentes formas de organização, uso e disposição espacial no interior das cavernas e estratégias de captação de recursos naturais ao longo dos últimos milênios na Serra de Carajás.

AS “GRUTAS DE FERRO” DE CAETITÉ-BAHIA

Através do Projeto Arqueológico Pedra de Ferro, desenvolvido pela equipe do Laboratório de Arqueologia e Paleontologia da Universidade do Estado da Bahia-UNEB, está sendo possível conhecer maiores detalhes sobre o distrito ferrífero “Brejinho das Ametistas”, vale do rio Palmito, porção sul do município de Caetité, centro-sul baiano. Nesta localidade se encontra a gruta do Palmito, que foi escavada no âmbito do projeto supracitado, contemplando, ainda, intervenções em outras três cavernas ferríferas, a dizer, grutas do Ferro, da Baixada e Caixa D’água.

Os estudos preliminares de N. Vieira e C. Santana indicam que as grutas do Palmito e do Ferro estariam associadas à antiga habitação, já as grutas das Baixada e Caixa D’água, teriam sido utilizadas como oficinas líticas. As datações obtidas por meio do método isotópico C-14 indicaram idades que variaram desde os últimos milênios até momentos pós-contato (SILVA; SANTANA, 2013).

Na gruta do Palmito, foi encontrado amplo registro lítico e bioarqueológico, especialmente associado a grandes fogueiras, se destacando a arqueofauna e os vestígios vegetais, que estão for-

necendo importantes pistas sobre o sistema de subsistência dos grupos humanos que habitaram essa região. A base da dieta proteica dos grupos que ocuparam esse abrigo era suprida pelo consumo de mamíferos de pequeno e médio porte, cujos ossos remanescentes maiores foram aproveitados para a confecção de pontas e espátulas. Constatou-se ainda, que os grupos culturais que habitaram essa gruta em momentos mais recentes também se especializaram na caça de pequenos roedores (SILVA; SANTANA, 2013).

Em 2008, H. Piló esteve em cavernas do vale do Palmito (SETE, 2008), quando registrou gravuras e picoteamentos dispersos em bloco ferruginoso liso no piso da gruta do Ferro, já citada. Trata-se de um importantíssimo e raro testemunho de grafismo rupestre em suporte ferruginoso. Essa ocorrência deverá servir de alerta para a possibilidade de se encontrar inscrições rupestres nesse tipo de rocha, inclusive no interior de cavernas, como nessa situação. Em alguns abrigos em afloramentos quartzíticos de Caetité, há ainda uma série de conjuntos de grafismos já conhecidos, o que denota que essa região possui um importante acervo relacionado a testemunhos arqueológicos rupestres.



Figura 1 - Entrada da Gruta do Ferro. Município: Caetité-PA.
Foto: Henrique Piló-2008.



Figura 2 -Detalhe de figura circular picoteada em bloco ferruginoso na Gruta do Ferro. Município: Caetité-BA. Foto: Henrique Piló-2008.



Figura 3 - Detalhe de picoteamentos em bloco ferruginoso na Gruta do Ferro. Município: Caetité-BA. Foto: Henrique Piló-2008.

As figuras da gruta do Ferro se assemelham a outras já observadas em blocos calcários na Bahia e norte de Minas Gerais. Como exemplo de figurações similares pode-se citar o abrigo Pedra Brilhante, em Barreiras, BA ou a gruta Cabeça D'Anta, em São João das Missões, MG. Apesar de possuir poucos

exemplares, o conjunto de gravuras da gruta do Ferro, poderia ser preliminarmente atribuído à denominada Tradição Geométrica central, caracterizada por gravuras com formas geometrizes simples, dentre elas, circulares, alinhamentos de picoteamentos e “depressões cupiliformes” (PROUS, 1992).

AS BANCADAS LATERÍTIAS DO MACIÇO DO URUCUM-MS

Nas Morrarias do Urucum, também denominados 'Brécia do Urucum', ao sul da capital Corumbá, onde há jazidas de exploração de minério de ferro e manganês, há importantes sítios⁹ com petróglifos ou gravuras sobre bancadas ou pisos lateríticos. Passos (1975), Girelli (1994) e Peixoto (1995) pesquisaram a implantação desses lajedos na paisagem e o seu acervo rupestre. Esses lugares se encontram nas proximidades das lagoas do Jadingo e Negra, situando-se acima do nível das cheias.

Segundo Girelli (1994), há duas formas de representação das gravuras, elaboradas por picoteamento, raspagem e ou polimento. O primeiro grupo de figuras é composto por tipos variados e por vezes superpostos, dentre eles, círculos, pontos e formas que sugerem pisadas ou pegadas de felinos, mas sem ligação física entre eles. O outro conjunto é representado por grafismos circulares compostos, sendo alguns conectados por longos sulcos. As 'Gravuras de Corumbá', considerando

as suas peculiaridades estilísticas, se assemelham às figuras identificadas em lajedos no Médio Tocantins, Alto Araguaia e em Roraima, tendo sido assim associadas ao 'Complexo Estilístico Simbolista Geométrico Horizontal' definido por Mendonça de Souza et al., em 1979.

Até o momento, configuram-se dois modelos ocupacionais das paisagens do Pantanal Sul-Mato-Grossense durante o período pré-histórico. A primeira, no planalto residual do Urucum ocupada por populações indígenas portadoras da Tradição Ceramista Tupiguarani e a outra, na planície de inundação, que tem, no capão-de-mata, diques fluviais e lacustres, importantes áreas para a fixação de assentamentos de populações indígenas pré-ceramistas, como também de povos portadores de tecnologia de produção de cerâmica atribuídos à "Tradição Pantanal" (GIRELLI, 1994; PEIXOTO, 1995; SCHIMITZ et al., 1998; EREMITES, 2004).

OS CAMPOS E CAVERNAS FERRUGINOSAS DE MINAS GERAIS

Em Minas Gerais, os campos ferruginosos e suas cavidades, despertaram pouca atenção até o início do século XXI por parte da espeleologia e da arqueologia.

“A pequena dimensão das cavernas, quando comparadas com as suas congêneres em calcário, arenito ou quartzito, foi, sem dúvida, um dos motivos que levaram os espeleólogos a negligenciarem as grutas nesta litologia” (AULER & PILÓ, 2005, p.70).

Provavelmente, a primeira menção a cavidades em minério de ferro tenha sido feita pelo naturalista Auguste De Saint-Hilaire na Serra da Piedade, Caeté, em 1818: “fui ter a uma gruta formada por um largo rochedo que avança horizontalmente acima do solo” (SAINT-HILAIRE, 1974:68). A referência posterior parece ter sido do também francês Noel Aimé Pissis (1842), ao indicar cavidades e estalactites no itabirito do Quadrilátero Ferrífero. Ainda no séc. XIX, em 1871, o mineralogista inglês William Jory Henwood descreveu fendas na região de 'Água Quente', em Catas Altas. Já no séc. XX, em

1947, Raul Tassini¹⁰, ilustrador e museólogo, descreveu uma cavidade em minério de ferro na Serra do Curral (PILÓ; AULER, 2005).

No entanto, o primeiro trabalho científico publicado sobre as cavidades ferruginosas mineiras foi elaborado somente em 1963¹¹ pelo geólogo norte-americano George Simmons, que veio para esta região em 1940, a serviço do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) conveniado com o então *United States Geological Survey* (USGS), sob a chefia de John Van Nostrand Dorr II (AULER, 2005).

Simmons iniciou seus trabalhos na Serra do Curral e região de Barão de Cocais, interessando-se pelas cavernas ferruginosas que encontrava em seus trabalhos de campo. Em parceria com David Simmons, chega a mapear uma caverna em canga na Serra do Tamanduá (AULER, 2005).

Em seu artigo datado de 1963, Simmons menciona a falta de registros e informações sobre cavernas, sendo que as pesquisas até então desenvolvidas focalizaram outros elementos da geologia da região.

“Não há estudos publicados sobre as cavernas em canga do Quadrilátero Ferrífero. A maior parte das referências a cavernas são acidentais, consistindo de relatórios voltados para outros aspectos geológicos da região ferrífera” (SIMMONS, 1963 apud AULER, 2005, p.75).

Simmons menciona os estudos geológicos de P. W. Guild publicados, por sua vez, em 1957 referentes à distribuição de áreas ferríferas, quando menciona a existência de “caverna de erosão” na chamada Casa de Pedra em Congonhas. Ainda menciona informações de grutas nas Serras do Batateiro, do Tamanduá, do Curral e no Morro da Queimada. Informa ainda que o geólogo C. H. Maxwel¹², sem precisar a data, teria descoberto ampla caverna de dissolução no flanco leste da Serra do Caraça.

A partir de 2003 os campos ferruginosos de Minas Gerais começaram novamente a chamar a atenção sob perspectiva espeleológica e arqueológica, uma vez que nos estudos ambientais relacionados a empreendimentos de exploração de minério de ferro e outros que necessitem de licenciamento ambiental, se tornaram obrigatórias pesquisas temáticas, seguindo assim a legislação ambiental e patrimonial¹³ em vigência.

Os primeiros estudos foram realizados nas adjacências da Serra do Rola Moça, no vale do córrego seco, em localidade conhecida como Capão Xavier, município de Nova Lima. Durante os trabalhos de prospecção espeleológica nessa localidade executados sob a coordenação de L. Piló e A. Auler (2005), foram identificadas algumas grutas, além de cavidades não penetráveis, sendo que a existência da gruta Capão Xavier I, já havia sido indicada em estudo técnico anterior (MOURÃO et al., 2003).

As grutas Capão Xavier-CPX I e II¹⁴, incluindo as áreas externas, possuíam, ainda, vestígios arqueológicos pré-históricos sotopostos (líticos e cerâmicos) e na superfície do solo, sendo que a gruta CPX I ainda apresentava testemunhos históricos, configurando se tratar de um sítio multi-componencial. Posteriormente, esses dois sítios foram alvo de salvamento arqueológico, sendo que os resultados dessa pesquisa reforçaram a noção de que em campos rupestres e cavernas ferruginosas, independente da sua dimensão, também pode haver testemunhos da passagem e ocupação humana, pelo menos, a partir dos últimos milênios (BAETA; PILÓ, 2005; PILÓ; BAETA, 2007).



Figura 4 - Entrada da Caverna Capão Xavier I-CPXI. Município: Nova Lima-MG.
Foto: Henrique Piló -2004.



Figura 5 - Detalhe de vestígios arqueológicos no interior da Caverna Capão Xavier I-CPX I. Município: Nova Lima-MG. Foto: Henrique Piló - 2004.



Figura 6 - Detalhe de peça lítica no interior da Caverna Capão Xavier I -CPX I. Município: Nova Lima-MG. Foto: Henrique Piló - 2004.

Em seguida, a partir de um programa de mapeamento de cavernas em formações ferruginosas em algumas localidades das Serras do Rola Moça (alguns no interior do Parque Estadual do Rola Moça-PESRM), do Gandarela e da Moeda, dezenas de grutas foram identificadas pela equipe de espeleologia. Visando exclusivamente um reconhecimento preli-

minar, foi possível constatar que pelo menos parte dessas cavidades também possuíam vestígios de ocupações humanas pretéritas, sobretudo fragmentos de utensílios cerâmicos, carvões e algumas lascas de quartzo. Confirma-se assim a grande potencialidade arqueológica também nas cavernas de ferro de Minas Gerais.

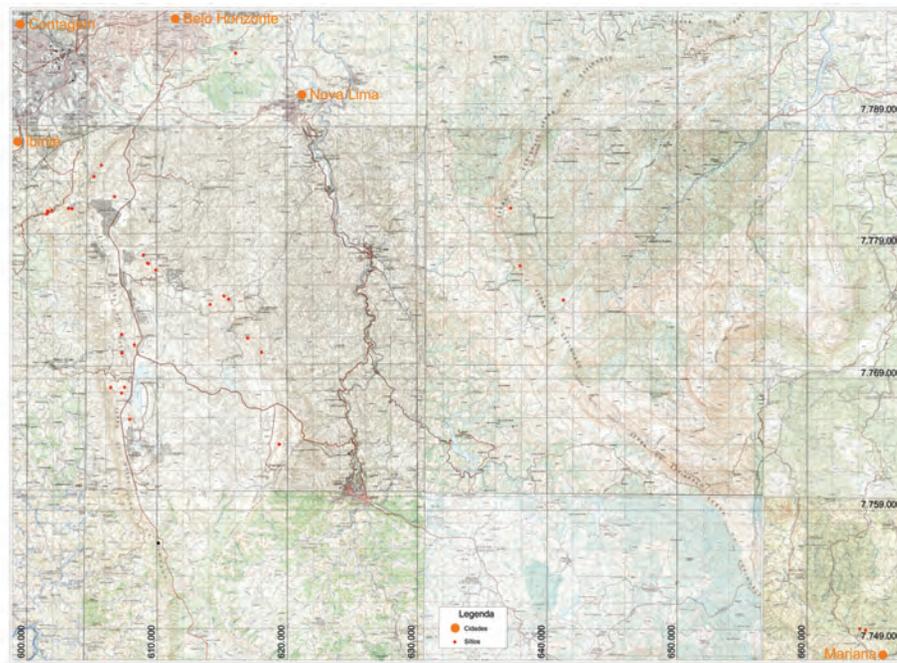


Figura 7 - Distribuição geral e espacial das cavernas com identificação de ocupações pretéritas (pontos laranja) a partir das pesquisas realizadas pela Artefacto Consultoria. Quadrilátero Ferrífero, MG

Posteriormente, também foram realizadas escavações nas cavernas ferríferas, onde estavam situados os Sítios Arqueológicos Ponte de Pedra-POPE e Capitão do Mato-CM. O primeiro abrigo situa-se no vale do córrego homônimo, no entorno do Pico do Itabirito, município de Itabirito. Essa gruta encontra-se em uma quebra de canga que se situava abaixo de uma antiga estrada que interligava as minas Pico e Galinheiro. Esse sítio continha exclusivamente peças líticas e refugos de lascamentos de quartzo, configurando se tratar de uma oficina de lascamento. O abrigo Capitão do Mato, situado em Nova Lima, possuía exclusivamente testemunhos pré-históricos: fragmentos de utensílios cerâmicos e líticos. Por último, a gruta Várzea do Lopes¹⁵, em Itabirito, apresentava material histórico relacionado a momentos distintos dos períodos colonial e imperial.

Esses estudos foram fundamentais para uma interpretação preliminar sobre a dinâmica de ocupação humana no substrato ferrífero de Minas Gerais e suas possíveis conexões com as paisagens e litologias distintas adjacentes. Instrumentos de hematita, encontrados em sítios do Carste de Lagoa Santa e Serra do Cipó, teriam sido 'exportados' das áreas ferrosas, conforme já constatado (PROUS, 1992; BAETA; PILÓ, 2012).

Próximos ao contato com os substratos ferruginosos, nos afloramentos de quartzito na região da Serra da Moeda e arredores, há abrigos ou pequenas escarpas com grafismos rupestres pré-coloniais. Esse tipo de sítio está situado especialmente nessa localidade, nas zonas fronteiriças desses compartimentos litológicos, em zonas altas, no sentido norte-sul, acompanhando as bordas das serras. Os melhores exemplos de sítios que configuram esse modelo de ocupação espacial são: os Abrigos Retiro das Pedras e Casa Branca (município: Brumadinho), Abrigo do Pico (município: Itabirito) e Abrigo Mirandinha (município: Mariana). Analisando as características estilísticas e técnicas das figurações desses abrigos, estas podem ser atribuídas à Tradição Planalto (PROUS, 1992), encontrada na porção central de Minas Gerais e em algumas de suas zonas periféricas. Essa tradição estilística é reconhecida pelo predomínio visual de figuras zoomorfas, sobretudo, cervídeos e peixes associados a conjuntos compostos por pontos, pequenos traços, bastonetes, além de formas humanas filiformes. Nos sítios aqui focalizados, os grafismos foram pintados apresentando detalhes anatômicos em suas representações, além de preenchimentos compostos por pontos, traços e traçados tênues. Esse estilo pictural aproxima-se bastante da forma de representação gráfica das pinturas rupestres da região da Serra do Cipó, indicando relações diretas entre as localidades sob esse prisma (BAETA, 2011).



Figura 8- Abrigo sob rocha quartzítica Mirandinha, próximo a substrato ferruginoso em Mariana, MG. Conjunto de figuras zoomorfas preenchidas por sistema tracejado (Tradição Planalto). Foto: Henrique Piló, 2012.

No item seguinte, segue uma síntese dos resultados das escavações arqueológicas, em especial no Capão Xavier I, tendo em vista ter sido, até então, o

sítio de referência ou guia para as nossas pesquisas, pois apresentou o maior número vestígios, tipologia variada e diferentes níveis cronológicos.

AS GRUTAS DO 'SISTEMA CPX-CAPÃO XAVIER' E SUAS CONEXÕES

O nível arqueológico mais antigo detectado no interior da Gruta Capão Xavier I encontrava-se entre 22 e 30cm de profundidade. Apresentava um sedimento mais compactado com vestígios orgânicos, destes, destacam-se uma estrutura de combustão na parte central da caverna e, na entrada, uma linha de vegetais carbonizados associados a cinzas. Esses carvões foram submetidos à datação radiocarbônica¹⁶, que indicaram uma idade que pode variar entre 1.540 a 1.250 anos A.P.

Os carvões relacionados ao nível arqueológico intermediário (-8cm de profundidade) foram datados com a idade de 560 anos +/- 70 A.P. Próximos a esses carvões havia lascas e núcleos de quartzo hialino e leitoso, artefatos de minério de ferro, de rocha verde e de quartzito, com vestígios de polimento e/ou de utilização.

Já os carvões relacionados ao nível mais superficial, já em período histórico, são oriundos do séc. XVIII, tendo sido datados em aproximadamente 280 anos +/- 60 A.P. Nesse mesmo piso, também foram encontrados testemunhos de ocupações mais recentes, dos séculos XIX e XX. Por se tratar de vestígios ainda mais atuais do ponto de vista cronológico, não houve tempo para uma sedimentação e criação de nível arqueológico distinto.

Nos locais mais profundos da caverna havia, no entanto, pequenas estruturas de combustão associadas a alguns blocos e artefatos, como lascas e núcleos de quartzo hialino e leitoso.

Na parte externa, próxima à entrada, havia um número bem maior de vestígios e artefatos do que

na parte interna (como também observado na gruta do Gavião, em Carajás). Em algumas sondagens foram encontrados fragmentos cerâmicos em até 70cm de profundidade, apresentando um sedimento orgânico com coloração marrom escuro. Também havia, nos pacotes de sedimentos orgânicos, minério de ferro polido e lascado, plaquetas de quartzito, núcleos e lascas de calcário dolomítico, além de instrumento de arenito utilizado para polimento e batedores de quartzito e de quartzito. Boa parte desse material se concentrou na meia encosta e no pequeno platô de acesso à boca da caverna. Por se tratar de sedimento mais perturbado, sobretudo por raízes de árvores, os dados cronológicos não foram precisos, mas há uma forte possibilidade de esse material estar relacionado ao nível arqueológico intermediário da parte interna, devido às características tecnológicas dos artefatos. Também

foram encontradas nas camadas mais próximas da superfície do atual piso, fragmentos de louças, de cerâmica histórica, vidros e material metálico em avançado estado de degradação, configurando um nível superior e recente.

Foram identificados pequenos braseiros na área interna de CPX I. A presença de braseiros na área interna devia-se, principalmente ao clima frio da região; apenas a fogueira externa, utilizada para afugentar animais à noite, não seria suficiente para manter aquecido o ambiente interno das grutas. As fogueiras maiores certamente encheriam de monóxido de carbono o pequeno ambiente sem ventilação, o que sufocaria seus ocupantes. Com os pequenos braseiros era possível aquecer, sem, contudo, produzir muita fumaça. Essas conclusões foram propostas a partir de trabalhos experimentais.



Figura 9 - Detalhe de nível de carvão na Caverna Capão Xavier 1-CPX I. Município: Nova Lima-MG. Foto: Henrique Piló - 2004.

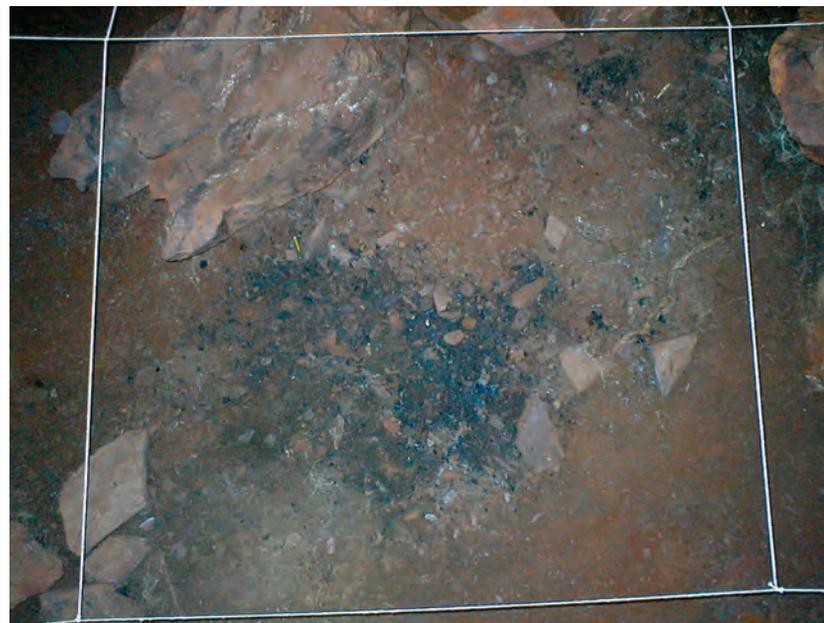


Figura 10 - Detalhe de concentração de carvões na Caverna Capão Xavier 1-CPX I. Município: Nova Lima-MG. Foto: Henrique Piló - 2004.

A gruta vizinha CPX II apresentou uma menor quantidade de material arqueológico, em especial de artefatos líticos, se comparado a CPX I, no entanto, o número de carvões no piso dessa caverna foi superior.

Essa caverna também parece ter sido menos visitada nas últimas décadas, talvez por apresentar uma entrada mais discreta, situada no alto da encosta, o que colaborou para a preservação dos vestígios em superfície. Foi o que ocorreu com um utensílio cerâmico globular, quase inteiro, que ainda se encontrava no local, em um dos compartimentos internos dessa gruta, associado a carvões. O objeto apresenta uma morfologia peculiar não só pela espessura muito fina e delicada, mas também por possuir um gargalo lateral (ou “biquinho”) para escoamento do líquido.

Em um salão interno da gruta, mais seco, porém ainda iluminado parcialmente pela luz natural, havia carvões e fragmentos recentes de pequenos ossos de aves e de mamíferos. Esses carvões foram datados com a idade de 540 anos \pm 50 AP, estando, dessa forma, associados à segunda ocupação pré-colonial ou intermediária da Gruta CPX I. Na porção lateral, foram encontrados a 3cm de profundidade, fragmentos de utensílios cerâmicos associados a resíduos de sementes queimadas e carvões.

Na parte externa, havia, por sua vez, algumas microlascas de quartzo na superfície próxima à entrada. Em sua vertente de acesso, foram abertas sondagens e trincheiras à procura de vestígios enterrados, no entanto nada foi encontrado, a não ser isoladamente um batedor de rocha verde.



Figura 11 - Detalhe de concentração de fragmentos cerâmicos identificados em sondagem arqueológica próxima a entrada da Caverna Capão Xavier 1-CPX I. Município: Nova Lima-MG. Foto: Henrique Piló - 2004.



Figura 12 - Detalhe de peça histórica em pedra-sabão ou esteatita na Caverna Capão Xavier 1-CPX I. Município: Nova Lima-MG Foto: Henrique Piló -2004.

Foram identificados pequenos braseiros na área interna de CPX I. A presença de braseiros na área interna devia-se, principalmente ao clima frio da região; apenas a fogueira externa, utilizada para afugentar animais à noite, não seria suficiente para manter aquecido o ambiente interno das grutas. As fogueiras maiores certamente encheriam de monóxido de carbono o pequeno ambiente sem ventilação, o que sufocaria seus ocupantes. Com os pequenos braseiros era possível aquecer, sem, contudo, produzir muita fumaça. Essas conclusões foram propostas a partir de trabalhos experimentais.

A gruta vizinha CPX II apresentou uma menor quantidade de material arqueológico, em especial de artefatos líticos, se comparado a CPX I, no entanto, o número de carvões no piso dessa caverna foi superior.

Essa caverna também parece ter sido menos visitada nas últimas décadas, talvez por apresentar uma entrada mais discreta, situada no alto da encosta, o que colaborou para a preservação dos vestígios em superfície. Foi o que ocorreu com um utensílio cerâmico globular, quase inteiro, que

ainda se encontrava no local, em um dos compartimentos internos dessa gruta, associado a carvões. O objeto apresenta uma morfologia peculiar não só pela espessura muito fina e delicada, mas também por possuir um gargalo lateral (ou “biquinho”) para escoamento do líquido.

Em um salão interno da gruta, mais seco, porém ainda iluminado parcialmente pela luz natural, havia carvões e fragmentos recentes de pequenos ossos de aves e de mamíferos. Esses carvões foram datados com a idade de 540 anos +/-50 AP, estando, dessa forma, associados à segunda ocupação pré-colonial ou intermediária da Gruta CPX I. Na porção lateral, foram encontrados a 3cm de profundidade, fragmentos de utensílios cerâmicos associados a resíduos de sementes queimadas e carvões.

Na parte externa, havia, por sua vez, algumas microlascas de quartzo na superfície próxima à entrada. Em sua vertente de acesso, foram abertas sondagens e trincheiras à procura de vestígios enterrados, no entanto nada foi encontrado, a não ser isoladamente um batedor de rocha verde.



Figura 13 – Parte externa da Caverna Capão XavierII-CPX II. Município: Nova Lima-MG. Foto: Alenice Baeta - 2004.



Figura 14 – Interior da Caverna Capão Xavier II-CPX II, com escuros. Município: Nova Lima-MG. Foto: Henrique Piló - 2004.

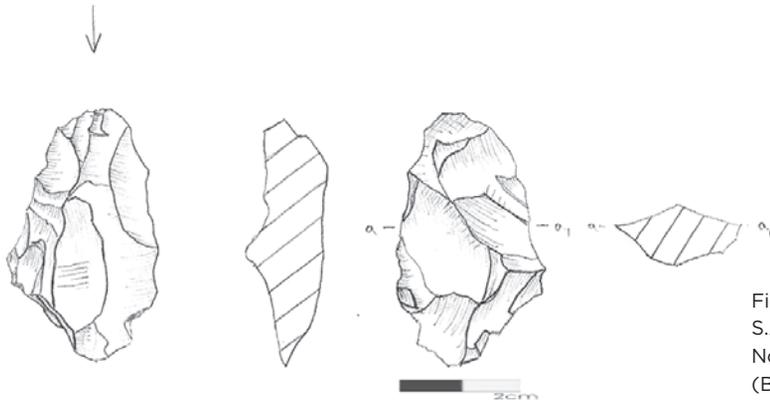


Figura 15 - Exemplo de lasca bipolar. S.A. Capão Xavier I -CPX I. Município: Nova Lima-MG. Desenho: A. Pessoa (BAETA e PILÓ, 2005, p.24).

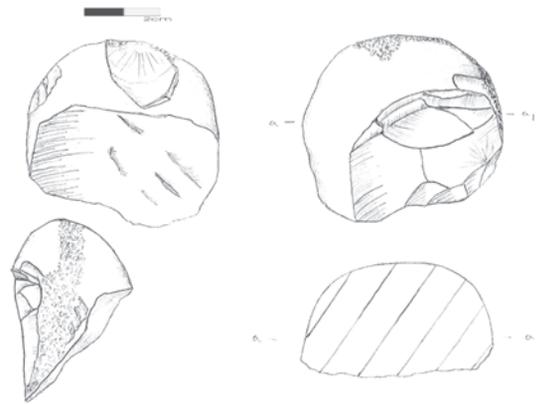
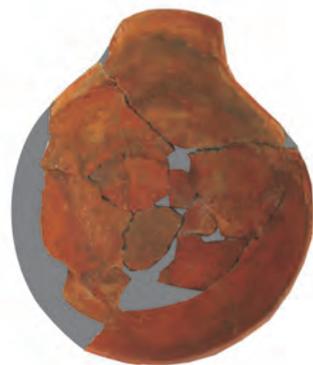


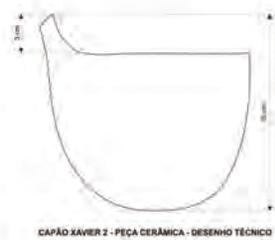
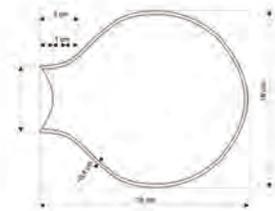
Figura 16 - Batedor de hematita. S.A. Capão Xavier I-CPX I. Município: Nova Lima-MG. Desenho: A. Pessoa (BAETA e PILÓ, 2005, p.24).



Figura 17 - Lascas em hematita-CPX1 Município: Nova Lima-MG. Foto: Henrique Piló-2005.



CAPÃO XAVIER 2
PEÇA CERÂMICA
SIMULAÇÃO DAS PERDAS



CAPÃO XAVIER 2 - PEÇA CERÂMICA - DESENHO TÉCNICO

Figura 18 - Projeção da vasilha cerâmica. Capão Xavier II-CPX II. Município: Nova Lima, MG. (Desenho: Helena Davi) (BAETA & PILÓ, 2005, p.127).



Figura 19 - Vista geral da Caverna Ponte de Pedra-POPE. Abrigo sob estrada que interligava as minas do Pico e Galinheiro, na época, MBR. Município: Itabirito, MG. Foto: Henrique Piló -2006.



Figura 20 - Detalhe de um dos abrigos que compõe o Sítio Arqueológico Ponte de Pedra-POPE. Município: Itabirito, MG. Foto: Henrique Piló -2006.

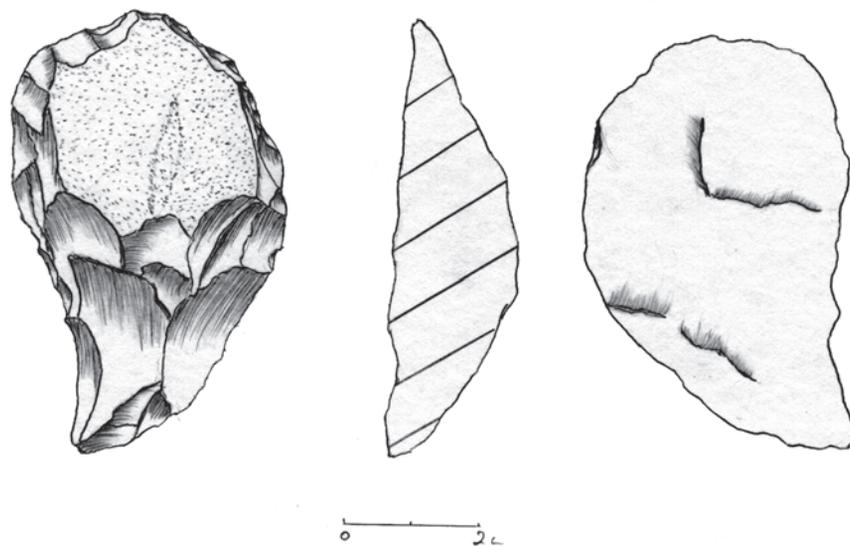


Figura 21 - Lasca em quartzo com presença de retoques em seu gume.
Sítio Arqueológico Ponte de Pedra-POPE,2005. Município: Itabirito, MG.
Desenho: A. Pessoa (BAETA e PILÓ, 2005, p.24).



Figura 22 - Vista a partir da entrada da Caverna Capitão do
Mato-CM. Ao fundo, o Pico do Itabirito. Município: Nova
Lima-MG. Foto: Henrique Piló -2006.



Figura 23 - Detalhe de fragmentos cerâmicos em área de gotejamento na Caverna Capitão do Mato. Município: Nova Lima-MG. Foto: Henrique Piló -2006.



Figura 24 - Detalhe de retirada com seringa de água para continuidade de decapagem arqueológica na Caverna Capitão do Mato-CM. Município: Nova Lima-MG. Foto: Henrique Piló -2006.



Figura 25 - Exemplo de baixa visibilidade de caverna na Serra do Rola Moça- MG com vestígios arqueológicos em superfície. Município: Brumadinho, MG. Foto: Henrique Piló -2005.



Figura 26 - Detalhe de fragmentos cerâmicos com vestígios de engobo vermelho na superfície do piso no interior de caverna. Município: Brumadinho. Foto: Henrique Piló -2005.

Fazendo uma comparação intersítios, percebe-se que a Gruta CPX I apresentava condições mais propícias para ocupação humana, por possuir uma morfologia interna mais adequada, com poucos obstáculos, possuindo alturas que possibilitavam a seus usuários, uma melhor movimentação e locomoção em boa parte da gruta. Outro aspecto que parece ser relevante na escolha do abrigo é que essa gruta também se apresenta menos úmida que a Gruta II, com base em nossas observações ao longo do ano de 2004.

Parte do material cerâmico identificado nos abrigos ferruginosos vem sendo atribuído a Tradição Sapucaí¹⁷, a partir de seus caracteres tecnológicos e estilísticos. Esse horizonte cerâmico é atribuído a populações Jês. Sítios a céu aberto 'Sapucaí' persistem nas zonas baixas dos vales do rio das Velhas e Paraopebas, testemunhos de antigos assentamentos de povos ceramistas, pelo menos no último milênio, segundo datações recentes.

Interessante observar as peculiaridades dos sítios em cavernas ferruginosas até agora estudados, pois de forma geral, constata-se que o sítio CPXI, foi um local de ocupação mais permanente e estratégica; o sítio Ponte de Pedra, além de ter sido utilizado como ponto de parada, atraído por uma corredeira, serviu também como ateliê lítico e a gruta Capitão do Mato, a princípio, parece ter

sido lugar de apoio aos 'caçadores-coletores' que por ali transitavam.

Essas proposições foram elaboradas tendo em vista o panorama atual em que os sítios estão inseridos, não podendo, em alguns casos, precisar se se tratavam de sítios periféricos ou centrais, uma vez que o ambiente já se encontrava, no início das pesquisas, bastante alterado por atividades de exploração mineral. A partir da entrada da caverna Capitão do Mato, se avista o Pico do Itabirito, importante marco geográfico da região e que certamente também teria sido ponto de referência para os povos durante a pré-história.

Merecem ser citadas algumas situações similares, como na Serra da Piedade, Caeté, onde cavernas ferruginosas indicam vestígios de ocupação humana, como na gruta do Triângulo em cujo piso repousam concentrações de carvões e pequenos fragmentos cerâmicos, aparentemente de tempos históricos, inclusive em zonas de penumbra.

Próximo a essa gruta, rente a um caminho que culmina no Santuário Nossa Senhora da Piedade, há pequenos abrigos ferruginosos que foram utilizados pelos caminhantes, peregrinos e religiosos como pontos de parada, descanso e rituais, compondo o circuito simbólico e imaterial que paira por toda a serra.



Figura 27- Entrada da Gruta do Triângulo, onde há vestígios de cerâmica história e estruturas de combustão. Serra da Piedade, Município: Caeté, MG. Foto: Alenice Baeta, 2014.



Figura 28- Detalhe de artefatos históricos religiosos deixados por antigos peregrinos em abrigo ferruginoso situado junto ao caminho que leva ao Santuário da Serra da Piedade. Há indícios de que esse local tenha sido o mesmo indicado por Saint-Hilaire em 1818. Serra da Piedade, Município: Caeté, MG. Foto: Alenice Baeta, 2014.

Na região de Mariana, a cidade mais antiga das 'minas geraes', as atividades mineradoras deixaram muitos estigmas na paisagem ferrífera, inscrevendo também em algumas de suas cavernas, seus sinais de extração e exploração da mão-de-obra escrava. Cavidades naturais foram aproveitadas na abertura de grandes galerias subterrâneas, como constatado nos Morros Santana ou Gogô e Santo Antônio¹⁸, situados nos arredores do centro histórico e arquitetônico de Mariana. Esse tipo de sítio pode ser mais comum em toda essa região do que se imagina. As cavernas naturais como a ilustrada neste texto ficam 'rodeadas' de estruturas de alvenaria de pedras, galerias e sarilhos, configurando um cenário exuberante.

Ainda no contexto do escravismo colonial, constata-se que muitas cavidades ferruginosas e escarpas no quartzito foram utilizadas como locais de esconderijos, vigília e/ou rotas de fuga, como observadas em grutas como, por exemplo,

Várzea do Lopes I (Itabirito) e Canela 2 (Mariana), onde se encontram cachimbos, potes cerâmicos históricos, louças, estruturas de fogueiras, blocos reassentados, metais, dentre outros indícios, configurando um modelo de ocupação organizado nessas pequenas 'cafurnas'. A grande maioria delas se encontra voltada para antigos caminhos coloniais, sendo que elas se situam em pontos difíceis de serem avistadas de longe, explorando assim as quebras e sinuosidades do piso ferroso; todavia, da entrada dessas cavidades, há possibilidade de um bom controle visual de seu entorno, vigiando-o.

Em virtude da constante atividade mineradora que remonta aos tempos coloniais, estima-se que diversas cavidades naturais que poderiam conter vestígios arqueológicos já foram suprimidas ou bastante impactadas, restringindo assim o universo da pesquisa a determinados ambientes ferruginosos mineiros.



Figura 29- Caverna natural associada a estruturas de mineração e ruínas no Morro de Santo Antônio. Município: Mariana, MG. Foto: Alenice Baeta, 2012.



Figura 30- Caverna natural onde foi desenvolvida galeria de mineração durante o período colonial no Morro do Gogô ou Santana. Município: Mariana, MG. Foto: Henrique Piló, 2008.



Figura 31- Identificação de cultura material em superfície de cavidade natural. Sítio Arqueológico Canela 1. Município: Mariana, MG. Foto: Alenice Baeta - Acervo Artefactto Consultoria.



Figura 32- Material cerâmico em superfície. Sítio Arqueológico Canela 2. Município: Mariana, MG. Foto: Henrique Piló, 2011.

Ampliando um pouco mais nossa reflexão sobre esse tipo de patrimônio arqueológico, vale a pena mencionar o conjunto de cavernas ferruginosas situado no vale do rio Peixe Bravo, que abrange os municípios de Riacho dos Machados, Grão Mogol, Fruta do Leite e Serranópolis, norte do Estado. A região do antigo arraial de Grão Mogol abrange parte dessa localidade, apresentando uma grande variedade de sítios arqueológicos pré-coloniais e de interesse histórico que se situam também nas proximidades das cavernas de ferro do Peixe Bravo e Pardo. Em Grão Mogol, encontra-se o geosítio 'Morro da Pedra Rica', que constitui a primeira localidade em nível mundial onde diamantes foram lavrados pelo desmorte de uma rocha, de 1827 (CHAVES et al., 2009). Desde

1998, esse importante sítio e parte de outros conjuntos de mineração e lapas em afloramentos quartzíticos do vale do córrego dos Bois encontram-se inseridos nos limites do Parque Estadual de Grão Mogol.

Nos arredores de Peixe Bravo¹⁹ há abrigos rochosos, alguns deles em escarpas, outros em blocos e afloramentos rochosos que encobrem parte do leito do rio Itacambiruçu, com vestígios de ocupação pré-colonial. Alguns já conhecidos sítios de Grão Mogol e Botumirim possuem grafismos rupestres típicos da Tradição Planalto já descrita, mas em alguns deles observa-se elementos estilísticos típicos da Tradição São Francisco²⁰, configurando que seus distintos autores transitaram nesse território, no passado.



Figura 33- Região de Grão Mogol, Norte de Minas Gerais, onde há importantes geosítios, como a mina de Diamantes 'Pedra Rica', incluindo ainda o Vale do Rio Peixe Bravo, onde se encontram cavernas e paleotocas em substratos ferruginosos. Foto: Alenice Baeta, 2011.



Figura 34- Sítio Pedra Pintada 6 em abrigo quartzítico, Grão Mogol, próximo a região ferruginosa do Vale do Rio Peixe Bravo. Foto: Henrique Piló, 2009.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os campos ferruginosos e suas cavernas espalhadas por regiões distintas do país foram ambientes utilizados por populações pré-históricas ao longo de vários milênios, como já atestado na região de Carajás, no Pará, e pelo menos nos últimos dois milênios, na região do Quadrilátero Ferrífero mineiro e de Caetité, na Bahia. Em cada região, foram deixados nas cavernas e suportes ferruginosos testemunhos materiais específicos das culturas pré-históricas que habitaram ou utilizaram esses ambientes, indicando a complexidade dos territórios culturais pré-coloniais e formas diferenciadas de se relacionar com as distintas paisagens adjacentes. As pesquisas nas duas últimas localidades são bem mais recentes que as desenvolvidas em Carajás, como já indicado; no entanto, já trazem dados instigantes que certamente incentivarão futuras pesquisas, inclusive com possibilidade de se encontrar indicativos de ocupações humanas ainda mais antigas.

Como demonstrado, cada caverna pode testemunhar maneiras distintas de uso e organização do espaço em cada um de seus níveis arqueológicos componentes. Por meio da interpretação e análise de seus vestígios, pode-se inferir sobre mudanças ou permanências culturais relacionadas, por exemplo, a recursos alimentares, tratamentos tecnológicos em suas indústrias pétreas ou cerâmicas e aproveitamento de matérias-primas.

Essas informações dão importantes indicadores de que cada caverna pode 'guardar' dados arqueológicos específicos e diferenciados, como um 'quebra-cabeça', onde cada qual possui informações peculiares e importantes para se entender de forma sistêmica e contextual o processo de ocupação humana regional.

Sobre os testemunhos históricos, estes são muito comuns no Quadrilátero Ferrífero em função da história de colonização dessa região a partir do fim do séc. XVII. Algumas grutas ferruginosas (independente de já possuírem vestígios pré-coloniais) foram também utilizadas a partir de então, seja para fins religiosos ou espirituais, ou mesmo aproveitadas em suas zonas mais profundas para abertura de galerias de mineração à procura de veios de ouro; ou ainda, como pontos de parada de viajantes, de tropas e de catadores de raízes, cascas e plantas; tendo ainda sido utilizados como esconderijos, armadilhas de animais, locais de contrabando e rotas de fuga, moradias de eremitas e andarilhos, dentre outros usos.

Isto posto, recomenda-se que, ao adentrar uma caverna, nunca se deve coletar, ou retirar, qualquer tipo de vestígio de seu lugar. Os indícios mais vulneráveis, como carvões e resíduos alimentares, correm sérios riscos de serem pisoteados e, conseqüentemente, esmagados. Por isso, a entrada indiscriminada nesses ambientes se torna extremamente prejudicial. A conservação dos vestígios *in loco* certamente irá favorecer o mapeamento, interpretação e diagnóstico de cada sítio e definição das medidas preventivas relacionadas à sua conservação e pesquisa. Acrescenta-se que, nas cavernas ferruginosas, os vestígios de baixa visibilidade ficam 'mascarados' e corados em contato com o sedimento avermelhado do ferro, dificultando bastante a sua identificação.

No caso de estudos especializados como a bioespeleologia, por exemplo, em ambientes cavernícolas que também possuam interesse histórico e arqueológico, sugere-se que estes sejam planejados e desenvolvidos em consonância com a identificação e registro topográfico dos vestígios arqueológicos de superfície.

Entende-se que somente por meio de ações conjuntas preventivas das áreas afins que se dedicam ao estudo das cavernas e de seus usos, será possível proteger e conhecer o magnífico patrimônio natural e cultural nele contido, em parte ainda desconhecido.

¹ Dentre os sítios visitados onde houve coleta citam-se: Carrasco, Encontro, Alto Bonito, Aldeia Velha de *Xikrin* e Aldeia Velha do Cateté (SIMÕES, 1986, p. 539).

² Os *Xikrin* pertencem ao grupo linguístico Jê, sub-grupo dos Kayapó Setentrional. Eram aliados de grupos Tupi com os quais mantinham alianças comerciais e guerreiras. Possuíam relações hostis ou amistosas com os Carajá do Araguaia. Passavam a maior parte do ano percorrendo o seu território compreendido entre o Araguaia, Xingu, Aquiri, serra da Seringa, Itacaiúnas e Cateté, caçando, pescando e coletando, sendo que no inverno (período de chuvas, entre novembro e março) ocupavam o alto das serras (VIDAL, 1982).

³ A Gruta do Gavião apresentou datações que variam entre 8.140 mais ou menos 130 A.P. e 2.900 mais ou menos 90 A.P. (SILVEIRA, 1990).

⁴ As análises das resinas coletadas indicaram ter sido estas utilizadas como combustível nas fogueiras, cola na elaboração dos instrumentos e ainda para transportar fogo na ponta das flechas (SILVEIRA, 1994, p. 29-30).

⁵ Segundo Silveira (1994, p. 33) os fragmentos cerâmicos foram encontrados em menor quantidade na gruta do Gavião, geralmente na superfície do piso, não configurando assim uma evolução do estágio pré-cerâmico para o cerâmico. Apresentava manufatura acordelada, simples e decoração incisa (linhas paralelas ou zig-zag) ou ainda com engobo vermelho.

⁶ A estratégia de forrageiro tem como característica não estocar alimentos e sim procurá-los diariamente. Possuindo uma base residencial estes grupos saíam em busca de alimentos e regressavam no fim da tarde. Essa parece ter sido a dinâmica ocupacional na Gruta do Gavião (SILVEIRA, 1994, p.66).

⁷ Levantamentos realizados no Lago do Violão e sítios arqueológicos, como as grutas Capivara, Ossos e Superior (In: *O Estado de São Paulo*, 2011).

⁸ Os grafismos rupestres da região Amazônica possuem predominância de figuras antropomórfas, com formatos 'geometrizes' e estilizados. Um tema comum são os rostos com traços identificáveis, como olhos, bocas, nariz e orelhas, sendo que em alguns exemplares há ainda raios divergentes no entorno das cabeças. Foram produzidas por meio da técnica mista de picoteamento e polimento, por isso também são denominadas gravuras. O conjunto geral com essas figurações foi denominado "Tradição Amazônica", podendo ser observada em vários sítios do noroeste paraense e estado do Amazonas (PEREIRA, 1994;2003).

⁹ Foram registrados cinco sítios com gravuras, cujas siglas são: MS-CP-01, MS-CP-02, MS-CP-03, MS-CP-04 e MS-CP-41.

¹⁰ Raul Tassini foi aluno do pintor e historiador Aníbal Mattos, integrante da Academia de Ciências de Minas Gerais. Também é autor da obra: 'Verdades Históricas e Pré-Históricas de Belo Horizonte- Curral Del Rey', Belo Horizonte, 1947.

¹¹ Artigo traduzido para o português por A. S. Auler e publicado na revista *O Carste*, vol. 17, n. 3 em 2005. Título original: SIMMONS, G. C. Canga Caves in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *The National Speleological Society Bulletin*, 2, p.66-72.

¹² Suas pesquisas foram desenvolvidas, sobretudo, na Serra do Caraça (1972) e na Bacia do Fonseca, onde há o sítio paleontológico fossilífero do Fonseca, município de Alvinópolis.

¹³ A Portaria Federal n. 230 de 2003, orienta e regulamenta a pesquisa arqueológica em consonância com as fases de licenciamento ambiental (LP/LI/LO), reforçando a necessidade de estudos etnohistóricos e trabalhos de campo nas áreas de abrangência de empreendimentos econômicos que pretendem se implantar ou se instalar.

¹⁴ As pesquisas foram desenvolvidas no contexto dos estudos ambientais relacionados a processos de licenciamento ambiental de interesse do empreendedor Minerações Brasileiras Reunidas-MBR entre os anos 2004 e 2008 (Grutas Capão Xavier I e II, Capitão do Mato e Ponte de Pedra, esta última na Mina do Pico).

¹⁵ Estudo relacionado aos estudos ambientais em Várzea do Lopes, Serra da Moeda, de interesse da Gerdau Açominas (2009).

¹⁶ *Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory*-Flórida USA

¹⁷ A Tradição "Aratu-Sapucaí" foi identificada inicialmente pelo arqueólogo Calderón (1969), que propôs a Tradição Aratu para a Bahia, Sapucaí para Minas Gerais e Uru em Goiás (incluindo parte do Tocantins). Em regra, a cultura material cerâmica Sapucaí não apresenta decoração plástica, no entanto, a sua tecnologia indica grande investimento em sua confecção, com acréscimo de temperos, tais como, areia mais ou menos fina, quartzo moído e outros aditivos dependendo da região estudada. No Quadrilátero Ferrífero-QF, onde se situam os sítios arqueológicos aqui tratados, podem ser observados como antiplásticos ainda, a pirita, minério de ferro, carvão, feldspato e manganês. Em alguns exemplares, são constatados indícios de banho vermelho ou branco.

¹⁸ Os Morros Santana e Santo Antônio foram objetos de tombamento municipal tendo em vista a grande variedade de sítios e estruturas de mineração dos sécs. XVIII, XIX e XX, incluindo cavernas e galerias subterrâneas (BAETA & Piló, 2007).

¹⁹ As cavernas ferruginosas do Vale do Rio do Peixe foram pioneiramente pesquisadas por F. Fonseca do Carmo e equipe (2011a;2012) quando ainda indicaram que parte das grutas seriam "Paleotocas", cavidades em forma de túneis escavadas originalmente por tatus e preguiças gigantes extintas (CARMO et al., 2011 b). Essas paleotocas se situam em localidade conhecida como "Vale dos Gigantes". Em caráter complementar, Buchman (2012) realizou estudos paleontológicos no vale do rio Pardo, municípios: Grão Mogol e Padre Carvalho.

²⁰ A região de Grão Mogol acrescentando ainda Cristália, possui figurações semelhantes aos conjuntos associados a Tradição Planalto no município Botumirim (Veredas de Estiva), mas possivelmente por se situar mais a norte do estado, há em alguns de seus sítios figurações típicas da Tradição São Francisco; caracterizada por apresentar um predomínio de figurações geometrizes ou não identificáveis. Em Grão Mogol, as figuras "São Francisco" são monocromáticas, e nos casos de justaposições até então notados, encontram-se sobre as figuras Planalto, dando pistas sobre o processo de ocupação humana no período pré-colonial nesta região.

AGRADECIMENTO

Agradecemos ao prof. L. Faria por nos apresentar às cavernas da Serra da Piedade, Caeté.

REFERÊNCIAS

- AULER, A. S. O Legado espeleológico de George Simmons. In: *O Carste*, v. 17, n.3, p.73, Belo Horizonte, 2005.
- AULER, A. S. & PILÓ, L. B. Introdução às cavernas em minério de ferro e canga. In: *O Carste*, v. 17, n. 3, Belo Horizonte, 2005.
- BAETA, A. *Os Grafismos Rupestres suas Unidades Estilísticas no Carste de Lagoa Santa e Serra do Cipó* (Tese de Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Arqueologia Brasileira. Museu de Arqueologia e Etnologia-MAE/USP, São Paulo, 2011.
- BAETA, A. M. & PILÓ, H. Arqueologia do Quadrilátero Ferrífero- Aspectos Preliminares sobre sua ocupação Estudo de Caso do Capão Xavier In: *O Carste*, vol. 17, n.3, Belo Horizonte, Julho de 2005.
- BAETA, A. & PILÓ, Henrique. Arqueologia do Quadrilátero Ferrífero. In: *Anais do XIII Congresso da Sociedade de Arqueologia Brasileira-SAB*, v. 1 (Resumos), Campo Grande, 2005.
- BAETA, A. M. & PILÓ, H. Capitão do Mato: um abrigo arqueológico no minério de ferro. In: *Anais do XIV Congresso da Sociedade de Arqueologia Brasileira-SAB*, vol.1. Florianópolis, 2007.
- BAETA, A. M. & PILÓ, H. Patrimônio Arqueológico dos Morros Santana e Santo Antônio. In: *Dossiê de Tombamento- Conjunto Paisagístico e Arqueológico Morros Santana e Santo Antônio, Mariana-MG*. Memória e Documento/ Prefeitura de Mariana, Mariana, 2007.
- BAETA, A. M. & PILÓ, H. A Utilização de Minerais de Ferro no Período Pré-Colonial. In: *Marcas Históricas Miguel Burnier, Ouro Preto* (Orgs. BAETA, A. M. & PILÓ, H.) P.28-39, Belo Horizonte, 2012.
- BUCHMANN, F. S. *Estudo Paleontológico complementar com foco na ocorrência de Paleotocas na área de estudo do Vale do rio Pardo* (Relatório). Municípios: Grão Mogol e Padre Carvalho, 2012.
- CALDERÓN, V. A Fase Aratu no Recôncavo Baiano e litoral norte do Estado da Bahia-PRONAPA. In: *Revista do MPEG*, n. 3, Belém, 1969.
- CARMO, F. F. *Novo Polo para conservação em Geossistema Ferruginoso na Região do Rio do Peixe Bravo, norte de Minas Gerais* (Dissertação de Mestrado). ICB/UFMG, Belo Horizonte, 2012.
- CARMO, F. F., CARMO, F. F., SALGADO, A. A. R. & JACOBI, C. M. Novo sítio espeleológico em sistemas ferruginosos, no vale do rio Peixe Bravo, norte de Minas Gerais, Brasil. In: *Espeleo-Tema*. Vol.22, n.1, 2011a. Disponível em: <www.cavernas.org.br/espeleo-tema/espeleo-tema_v22_n1_025-039.pdf>. Acesso em: jun. 2014
- CARMO, F. F., CARMO, F. F., BUCHMANN, F. S. C., FRANK, H. T. & JACOBI, C. M. Primeiros registros de paleotocas desenvolvidas em formações ferríferas, Minas Gerais, Brasil. *Anais do 31º Congresso Brasileiro de Espeleologia-SBE*, Ponta Grossa-PR, 2011b. Disponível em: <www.cavernas.org.br/anais31cbe/31cbe_531-540.pdf>. Acesso em: jun. 2014
- CARON, Frei José. *Curé d'Indiens*. Union Générale d'Éditions, 1971.
- CHAVES, M. L. de S, C.; BENITEZ, L. & ANDRADE, K. W. Morro da Pedra Rica, Grão Mogol, MG. In: *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil-SIGEP*. WINGE, M. et al. (Ed.). V. 2. SIGEP 130. Brasília: CPRM, 2009.
- DOMINGUES-LOPES, R. *Desvendando significados: contextualizando a Coleção Etnográfica Xikrin do Cateté* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.
- FIGUEIREDO, N. A cerâmica arqueológica do rio Itacaiúnas. In: *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-MPEG*, Série Antropologia, n. 27, Belém, 1965.
- FRIKEL, P. Notas sobre os Xikrin do Cateté. In: *Revista do Museu Paulista*, n.5, XIV, 1963.
- FRIKEL, P. Os Xikrin - *Equipamento e Técnica de Subsistência*. Belém, Pará, 1968.

- GIRELLI, M. *Lajedos com gravuras na região de Corumbá, MS* (Dissertação de Mestrado). UNISINOS, São Leopoldo, 1994.
- GROSSI, Y. de S. *Mina de Morro Velho: A extração do homem*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1981.
- LOPES, D. & HILBERT, K. Salvamento Arqueológico em Carajás, PA (PA-AT-69/ Gruta do Gavião), *Relatório do MPEG*, Belém, 1989.
- MAGALHÃES, M. P. *Arqueologia de Carajás*. Cia Vale do Rio Doce, Belém, 1994.
- MENDONÇA DE SOUZA, A.; FERRAZ, S. & MENDONÇA DE SOUZA, A. *Projeto Bacia do Paranã. A Fase Paranã*. Museu Antropológico, UFGO, 1977. 210 p.
- MENDONÇA DE SOUZA, A.; FERRAZ, S. & MENDONÇA DE SOUZA, A. *Projeto Bacia do Paranã II. Petróglifos da Chapada dos Veadeiros - Goiás*. Goiânia, Museu Antropológico, UFGO, 1979. 91 p.
- MOURÃO, R. C.; DIAS, M. S. & EVAGELISTA, C. *Mapeamento e Descrição de Cavidade Natural em Futura Área de Atividade Minerária da Mineração-MBR*. Nova Lima, 2003.
- O ESTADO DE SÃO PAULO 'Mina da Serra Azul é Paraíso Ecológico', Canaã dos Carjás. In: *O Estado de São Paulo*, Domingo, 02 de Outubro, Caderno Economia, B11, São Paulo, 2011.
- OLIVEIRA, J. E. *Arqueologia das Sociedades Indígenas no Pantanal*. Campo Grande: Ed. Oeste, 2004.
- OLIVEIRA, J. E. & AGUIAR, R. L. S. Do Megalitismo às gravuras rupestres. Contribuições para a arqueologia da região do Jalapão, Tocantins, Brasil. In: *Maracanan*, 2011.
- PASSOS, J.A. de M. B. *Alguns Petróglifos no Mato Grosso com apêndice sobre outros do Paraguai e Bolívia*. Tese de Livre Docência-USP, São Paulo, 1975.
- PEIXOTO, J. L. S. *A ocupação tupi-guarani na borda oeste do Pantanal Sul-Mato-Grossense* (Dissertação de Mestrado). Porto Alegre: PUC/RS, 1995. 125 p.
- PEREIRA, E. da S. Arte Rupestre no Noroeste do Pará In: *Revista de Arqueologia*, 8 (1), São Paulo, 1994.
- PEREIRA, E. da S. *Arte Rupestre na Amazônia - Pará*. São Paulo/ Belém: Unesp/Museu Paraense Emílio Goeldi-MPEG, 2003.
- PESSOA, A. *As cavidades, as fontes minerais e as pessoas nos Platôs da Serra Norte de Carajás durante o Holoceno* (Dissertação de Mestrado). Departamento de Antropologia, UFPA, Belém, 2013.
- PILÓ, H. & BAETA, A. As Ocupações Pré-Coloniais nos Campos Ferruginosos de Minas Gerais: um panorama preliminar. In: *Arqueologia e Patrimônio de Minas Gerais*. OLIVEIRA, A. (Org.) Juiz de Fora: Editar, 2007.
- PILÓ, L. B. & AULER, A. Cavernas em minério de ferro e canga de Capão Xavier, Quadrilátero Ferrífero, MG. In: *O Carste*, v. 17, n. 3, p. 92-105, Belo Horizonte, 2005.
- PISSIS, N. A. Mémoire sur la position géologique des terrains de la partie australe du Brésil et sur les soulèvements qui, à diverses époques, ont changé le relief de cette contrée. *Mémoires de l'Institut de France*. 10:353-413, 1842.
- POMERENE, J. B. *Geology and ore deposits of the Belo Horizonte, Ibirité and Macacos Quadrangles*, Minas Gerais Brasil/USGS - Prof. Paper 341-D, 1964.
- PROUS, A. *Arqueologia Brasileira*. Brasília: Ed. UNB, 1992.
- PROUS, A.; MOURA, M. T. T. & BAETA, A. *Lauda Técnico Arqueológico sobre Vale do Rio Peruaçu, MG*. Ministério Público Federal em Minas Gerais/Setor de Arqueologia do MHN/UFMG, Fiat Automóveis, Belo Horizonte, 1999.
- RENFREW, C. & BAHN, P. *Arqueologia Teorias, Métodos y Prática*. Ed. Akal, Madrid, 1993.

SAINT-HILAIRE, A. *De Viagem pelo Distrito dos Diamantes e Litoral do Brasil*. Belo Horizonte:Ed. Itatiaia;São Paulo:Ed. da USP, 1974.

SCHMITZ, P. I. et al. Aterros Indígenas no pantanal do mato Grosso do Sul. In: *Pesquisas* (Série Antropológica), São Leopoldo, n. 54, 1998.

SEDA, P. Espaço e Tempo nas Sociedade Primitivas: as Tradições Una e Tupiguarani no Rio de Janeiro Pré-Colonial. In: *Tempo, Espaço e Trabalho*. MOURA, A. M. S. & LIMA, C. A. M. (Org.) Rio de Janeiro: LEDDES, 2002.

SETE Soluções e Tecnologia Ambiental. *Relatório de Diagnóstico Arqueológico - Mina Pedra de Ferro-BA*. Belo Horizonte, 2008.

SILVEIRA, M. I. da et al. Prospecção Arqueológica em áreas de floresta contribuindo metodológica da pesquisa na área do Projeto Salobo (Pará). *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia*, n. 19, São Paulo, 2009.

SIMMONS, G. Cavernas de Canga no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. (Artigo Original de 1963) In: *O Carste*, vol. 17, n. 3, Belo Horizonte, 2005.

SIMÕES, M. F. Salvamento Arqueológico In: *Carajás - Desafio político, ecologia e desenvolvimento*. São Paulo: Ed. Brasiliense, 1986.

VIDAL, L. As categorias de idade como sistema de classificação e controle demográfico de grupos entre os Xikrin do Cateté e de como são manipulados em diferentes contextos. In: *Revista do Museu Paulista-USP*. Nova Série, n. 23, São Paulo, 1976.

VIDAL, L. *Levantamento da Situação Atual dos Índios Xikrin do PI Kateté-Carajás, PA* (Laudo), USP, São Paulo, 1982.

VIEIRA, N. S. & SANTANA, C de C. S. Análise da Fauna Arqueológica do Sítio Abrigo do Palmito, Caetitê, Bahia In: *Resumos Anais da 65 Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência-SBPC*, UFPE, Recife, 2013.

ROLIM, F.G. & THEODOROVICZ, A. (Coord.) *'Dossiê Geopark Bodoquena-Pantanal' de Candidatura a Rede Global de Geoparks Nacionais sob auspício da UNESCO*. CPRM-SGB/Gov. do Estado de MS, Corumbá, Outubro de 2010.

TASSINI, R. *Verdades Históricas e Pré-Históricas de Belo Horizonte antes do Curral Del Rey*. Belo Horizonte: Ed. do autor, 1947.

Sites consultados:

www.biblioteca.ibge.gov.br

www.corumba.com.br/pantanal/pant_relevo.htm

<http://marte.museu-goeldi.br/arqueologia/carajas/index.html>

www.canalciencia.ibict.br/pesquisa/0006-Teoria-da-pre-historia-valoriza-culturas-ancestrais-na-amazonia.html

www.folhadomeio.com.br/publix/fma/folha/2001/07/arq.html

www.sbpnet.org.br/livro/65ra/resumos/resumos/9615.htm

www.edp.com.br/geracao-renovaveis/geracao/amapa-para/uhe-cachoeira-caldeirao/meio-ambiente/programas-ambientais/Documents/PBAArqueologia.pdf

VALOR CÊNICO, TURISMO E RELIGIÃO



LUIZ EDUARDO PANISSET TRAVASSOS

Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia da PUC Minas



INTRODUÇÃO

A experiência nos mostra que é possível dizer que os ambientes naturais em meio os quais as sociedades humanas se desenvolveram podem ter influenciado, entre outras coisas, os vários sistemas de crenças espirituais e religiosas. A natureza como um todo, mas em especial as montanhas e as cavernas figuram-se como “centros do mundo sagrado” para as religiões tradicionais e politeístas e até mesmo algumas daquelas que são consideradas monoteístas. Talvez devido ao valor cênico inerente às imponentes montanhas, afloramentos ou “bocas” de cavernas, a religião, bem como o turismo em seus vários segmentos, possui forte apelo em várias partes do mundo.

Não seria diferente que isso ocorresse, portanto, em regiões que possuem cavernas em formações ferríferas como os municípios que compõem o Quadrilátero Ferrífero (QF), por exemplo. Observa-se que a própria história do Estado de Minas Gerais, muito importante para o “Ciclo do Ouro” colonial, contribuiu para o surgimento de mitos, assimilação das religiões de matriz africana dos escravos e a religião católica dos colonizadores.

Por esse motivo, é objetivo deste capítulo identificar a relação entre o valor cênico, o turismo e as manifestações religiosas com base em alguns exemplos selecionados sem, obviamente, esgotar assunto tão rico e complexo. Assim sendo, o material apresentado aqui é fruto da pesquisa e contribuição de diversos pesquisadores e ambientalistas que auxiliam na divulgação desse rico patrimônio.

Destaca-se, também, que em muitos casos a dimensão sagrada conferida a alguns sítios pode

ser considerada uma espécie de medida protetiva necessária a muitos desses locais. Paradoxalmente, o próprio uso sagrado de alguns sítios como as cavernas pode, muitas vezes, protegê-la do descaso, vandalismo ou mesmo da supressão, ainda que seu uso histórico seja muitas vezes responsável por danos irreversíveis. Estes, uma vez identificados, devem servir para educar as futuras gerações e fazê-las compreender um tipo de comportamento ocorrido no passado quando da inexistência de regulação.

Outro ponto a ser discutido é o fato de que muitas das cavernas utilizadas como espaços sagrados guardam registros arqueológicos, históricos, geográficos e etnográficos em várias partes do mundo e não “surgem” frequentemente de uma hora para outra. São, portanto, antigos registros que devem ser respeitados e preservados como o direito à memória dos povos. Assim, não se espera com esse capítulo realizar análises complexas sobre a teoria do turismo, medições, demandas ou seus impactos econômicos, por exemplo. É objetivo principal do trabalho destacar aqueles locais passíveis de visitação (em especial no QF) e que possuam estreita relação com o valor cênico, o turismo e a religião. Destaca-se que se limitarmos o trabalho ao uso religioso das cavernas em formações ferríferas, poucos exemplos seriam identificados devido aos tipos de manifestações encontradas, bem como ao pouco conhecimento disponível sobre a temática. Portanto, serão destacados aqui apenas alguns exemplos de serras e cavernas que integram valor cênico, o turismo e a religião em tais formações ferríferas.

CONTRIBUIÇÕES DO TURISMO NO PIB E ALGUNS ASPECTOS GERAIS DA ATIVIDADE

De acordo com Goeldner, Ritchie e McIntosh (2002) quando as pessoas refletem sobre o turismo, elas, muitas vezes, pensam no deslocamento para passeio, visita a amigos ou parentes, tirar férias e se divertir. De forma mais profunda, é possível incluir nessa definição aquelas pessoas que estão participando de convenções, reuniões de negócios, ou em alguma atividade profissional ou acadêmico-científica. Por esse motivo, a Organização Mundial

do Turismo (OMT) conceitua o turismo como sendo o conjunto das atividades de deslocamento e permanência em locais fora do ambiente de residência do viajante, por período inferior a um ano consecutivo, por razões de lazer, negócios ou outros propósitos.

Entretanto, a atividade turística pode ser considerada tão antiga quanto a própria história humana, sendo o valor cênico das paisagens (naturais ou construídas), uma das motivações que levam o indivíduo

a se tornar um turista. Para Ignarra (2011), mesmo que antiga, somente recentemente essa atividade tem despertado a curiosidade dos pesquisadores, principalmente desde 1991 quando o World Travel and Tourism Council (WTTC) passou a medir o impacto econômico do turismo.

Em 2014, o relatório do WTTC destacou a importância dos aportes dos turistas internacionais registrando uma contribuição global para a economia de cerca de US\$ 7 trilhões no ano de 2013. O setor não só ocupou uma porção maior na economia mundial, como também cresceu mais rápido do que outros setores, como os de serviços financeiros, transporte e indústria. No total, quase 266 milhões de empregos foram apoiados pelo Turismo em 2013, ou seja, cerca de 1 em cada 11 postos de trabalho no mundo. No Brasil, em 1990 o WTTC informava que o país registrava cerca de US\$ 32 bilhões no setor que veio apresentando crescimento chegando a cerca de US\$ 113.897 bilhões em 2014. Na geração de empregos diretos e indiretos, em 2013, a contribuição total do turismo foi cerca de 8.498.500, ou 8,4% da população economicamente ativa. Para 2014 o WTTC espera um crescimento de 4,5% elevando para 8.883.000 empregos, projetando-se cerca de 10.684.000 postos de trabalho para o ano de 2024. No tocante às contribuições do setor no Produto Interno Bruto (PIB), o relatório do WTTC aponta para uma soma de cerca de R\$ 294,5 bilhões. Destes, 85,7% (R\$ 252,4 bilhões) foram gastos somente com as viagens de lazer e os 14,3% restantes (R\$42,1 bilhões) foram gastos com viagens de negócios. Assim sendo, destaca-se a importância inegável da atividade turística para o país, embora a realidade seja aquém do que desejamos quando aliada a melhores estruturas e segurança, por exemplo.

Se levarmos “ao pé da letra” a definição da OMT, consideramos que o turismo já existia desde a Antiguidade, embora de forma bem diferente da que conhecemos hoje em dia. Extrapolando um pouco esse conceito, podemos considerar a existência da atividade desde as migrações dos primeiros homínidos em uma fase que poderíamos chamar de pré-histórica, assim como a geografia de então. O turismo e a geografia existiam para atender às necessidades básicas de sobrevivência daqueles grupos e era bem diferente de como conhecemos hoje.

Para Goeldner, Ritchie e McIntosh (2002), a invenção do dinheiro pelos sumérios (4.000 a.C.) teria marcado o desenvolvimento do comércio, fato que exigia o estabelecimento de uma rede de caminhos, estradas ou rotas marítimas e, conseqüentemente, a possibilidade de se pagar pelos transportes e hospedagens, por exemplo. No Egito, cruzeiros eram realizados e em 1480 a.C. a rainha Hatshepsut já havia chegado à costa leste africana conforme as inscrições presentes no templo de Deit El Bahari, em Luxor.

O início da fase *inicial* ou *primitiva* do turismo talvez tenha surgido na Grécia e Roma antigas, continuando na Idade Média com as peregrinações aos lugares sagrados e depois com as rotas comerciais e as Grandes Navegações. Com o tempo os caminhos se transformaram em estradas e as trocas tornaram-se ainda mais intensas. Como Goeldner, Ritchie e McIntosh (2002) afirmam, existe uma relação entre a concentração de pessoas em cidades poderosas e a história das estradas, a exemplo daquelas construídas por Alexandre, o Grande. Estradas mais elaboradas foram construídas pelos romanos a partir de 150 a.C. e os mesmos autores destacam uma rede aproximada de cerca de 80.000 km, afirmando que os romanos podiam viajar até 160 km por dia trocando de cavalos em postos de descanso a cada 13 ou 14 km, fazendo um tipo de turismo que fazemos até hoje: utilizavam guias de viagem, contratavam profissionais, deixavam grafites em toda parte (algo politicamente incorreto nos dias de hoje devido às preocupações ambientais) e compravam lembranças.

A Idade Média, conhecida como “Idade das Trevas”, muitas vezes mascara a importância que a geografia, assim como a atividade turística, teve no período. É certo que grandes discussões epistemológicas não ocorreram no período, mas não podemos nos esquecer de que as peregrinações religiosas desempenharam um importante papel. Entretanto, ainda eram poucos aqueles que se aventuravam por terras longínquas até o final desse período, quando muitos passaram a se aventurar por regiões mais seguras do que a Terra Santa, como o caminho de Santiago de Compostela, por exemplo. Igualmente importantes foram as contribuições de geógrafos árabes muçulmanos como Ibn Battuta, também motivado pela religião (TRAVASSOS, 2013), bem como chineses como Xu Xiake, que visitou e descreveu inúmeras cavernas naquele país a fim de adquirir conhecimento sobre novas terras.

Uma fase *elitista* do turismo surgiu quando o ato de viajar somente era permitido à nobreza, devido aos altos custos da atividade. Nessa fase, Goeldner, Ritchie e McIntosh (2002) destacam a Grand Tour dos séculos XVII e XVIII que era feita apenas por diplomatas, empresários e estudiosos que viajavam por toda a Europa. Estes últimos, no entanto, viajavam por terras mais distantes na ânsia de melhorar o conhecimento científico da época.

No início do século XX tem-se uma fase de transição com uma relativa estagnação devido à Primeira Guerra Mundial. Depois, tem-se a fase do turismo de massa, iniciada após o término da Segunda Guerra Mundial e percebida até hoje, com destaque para o início da década de 90 como uma atividade mais acessível a diversos segmentos da sociedade e em uma escala nunca antes vista. Com base em Lickorish e Jenkins (2000) conclui-se que, especialmente a partir de 1945, o turismo se desenvolveu e especializou tornando-se uma indústria internacional bastante significativa.

No Brasil, Ignarra (2011) destaca que o turismo começa com seu próprio “descobrimento” pelos colonizadores, pois, de certa forma, as Grandes Navegações não deixavam de ser uma espécie de turismo de aventura. Com a fundação das Capitanias Hereditárias e do Governo-Geral, criou-se, nas palavras do autor, um turismo de negócios entre a metrópole e a colônia. Já as viagens de intercâmbio cultural começaram a ocorrer quando os filhos das classes mais abastadas eram enviados à Portugal para estudar. Ainda que com estrutura precária, não é possível negar a existência dessas atividades que continuaram com as Bandeiras e com as explorações dos naturalistas (turismo de aventura e turismo científico, respectivamente). As atividades eram consideradas turísticas, pois envolviam a combinação de atividades e serviços diversos, ainda que, conforme destacado, com estrutura precária.

Como é sempre preciso uma delimitação espacial e geográfica para uma pesquisa, escolheu-se o Quadrilátero Ferrífero. Foi principalmente no século XIX que inúmeros viajantes naturalistas chegaram à então colônia brasileira e deixaram registros riquíssimos sobre a natureza, a economia e os costumes dos brasileiros. Neste último tipo de registro, muitos foram os que escreveram sobre os aspectos da religiosidade colonial, inclusive com o registro do uso religioso de cavernas no QF. Outros aspectos que

tornam essa área uma importante região turística com diversos atrativos são, especialmente, a história, as artes, o artesanato, a gastronomia típica, o folclore (na forma das músicas e danças tradicionais), a religiosidade e, obviamente, o contato com a natureza. Destaque deve ser dado ao *geoturismo* que, a partir do século XX, passou a ser melhor divulgado em todo o mundo, incentivando a conservação do patrimônio geológico de uma região, muitas vezes esquecidos pelos gestores quando da elaboração de roteiros ecoturísticos e de programas de conservação da natureza.

Trigo et al. (2007) nos lembram que a estabilidade política, social e econômica são fatores fundamentais para o desenvolvimento do turismo em um país ou região. Por esse motivo, no Brasil, a primeira fase de desenvolvimento do turismo como conhecemos hoje ocorreu na década de 1970 com o fomento à implantação de uma estrutura hoteleira, cursos superiores e técnicos de turismo e divulgação de nossos atrativos que acabaram por não surtir muito efeito, devido aos problemas causados pela crise do petróleo, bem como o despreparo de muitos “planejadores” que não se preocuparam com a preservação ambiental e com a qualidade e formação de profissionais qualificados a atuar no setor.

Assim, desde meados da década de 70 até meados da década de 90, várias crises econômicas cíclicas marcaram a história do país e o turismo ficou quase paralisado, apresentando-se melhor a partir de então. Destaca-se que o Ministério do Turismo foi criado somente a partir de 2003, devido à antiga reivindicação do setor para que os problemas da área fossem tratados em um ministério específico (TRIGO et al., 2007). Talvez isso explique, em alguns casos, o relativo estado de atraso e despreparo que pode ser percebido no país, ainda que dados de 1999 da OMT apontem que o setor movimentava cerca de 450 milhões de dólares.

Para Lickorish e Jenkins (2000), embora em termos mundiais a maior proporção de visitantes ainda viaje dentro da Europa, Estados Unidos, Canadá e México (e entre essas duas regiões), há claramente um crescimento em relação às viagens de longas distâncias. Assim, devemos ficar atentos para que a crescente demanda turística nos países em desenvolvimento não prejudique os próprios centros receptivos, em especial, aqueles do Quadrilátero Ferrífero.

VALOR CÊNICO, TURISMO E RELIGIÃO: EXEMPLOS SELECIONADOS

Quando nos referimos a uma paisagem, quase automaticamente relacionamos o termo ao seu valor cênico. Se conectarmos ao turismo e à religião, tal afirmativa torna-se ainda mais verdadeira. Sabe-se que a *paisagem* é amplamente estudada pelos geógrafos, embora não seja exclusiva desses profissionais. Para a Geografia, Travassos e Amorim Filho (2001) afirmam que foi a partir do século XIX que o termo passou a ser amplamente utilizado, sendo, em geral, concebido como um conjunto de formas relativas a uma parte ou seção da superfície terrestre. A partir de então, novas concepções surgem e fazem com que os naturalistas de então reflitam de forma mais profunda sobre como se davam os processos de organização na superfície terrestre. Para Naveh e Lieberman (1984) citados por Travassos e Amorim Filho (2001), as primeiras concepções do termo baseavam-se em valores estéticos e aspectos cênicos (qualidades visuais) e com o decorrer do tempo, as transformações do pensamento humano incorporaram preocupações voltadas não apenas à sua composição e traçado, mas ainda ao desenvolvimento de uma consciência englobando a qualidade ambiental e qualidade de vida como fatores vitais à sobrevivência das comunidades.

Mesmo que hoje saibamos das diferentes percepções e representações do espaço, acredita-se que toda paisagem possui um valor cênico para determinado grupo social ou indivíduo e é justamente esse valor a mola propulsora para o turismo. Para Goeldner, Ritchie e McIntosh (2002), muitas das atividades de lazer ao ar livre estão relacionadas aos esportes e foram classificadas na área do turismo de aventuras.

Entretanto, devemos lembrar que muitas atividades ligadas ao uso religioso da paisagem, ou de uma caverna, não se encaixam necessariamente nesse segmento turístico. A visita a locais históricos ou festivais religiosos não apresentam ligação alguma com o turismo de aventuras, mesmo que muitas vezes o sacrifício faça parte da jornada do turista. Assim sendo, destacaremos a seguir alguns exemplos que aliam valor cênico, turismo e religião, bem como aqueles que aliam pelo menos o valor cênico e o turismo. Muitos são sítios que perfazem uma unidade maior como uma Serra, outros são aqueles sítios propriamente ditos como uma cavidade natural subterrânea, ou abrigo sob rocha.

Do ponto de vista cênico, Ruchkys (2007) destaca que os picos e serras mais elevados que se destacavam na paisagem do Quadrilátero Ferrífero serviam como referências geográficas para o deslocamento dos bandeirantes e depois dos tropeiros, caixeiros viajantes, mercadores de gado e, finalmente, para os viajantes naturalistas que se aventuravam pelas Minas Gerais.

Ruchkys (2007) destaca que os caminhos percorridos, muitas vezes, não passavam de “picadas”, trilhas abertas precariamente no meio do mato ou nas margens dos rios. Os marcos sinalizadores de roteiros para as minas eram identificados e nomeados por denominações indígenas e religiosas, dentre outras. Matos (1837) citado por Ruchkys (2007) salienta que nos Setecentos os bandeirantes definiam os nomes dos lugares em atos impregnados de simbolismo quanto à posse do território, e as redes toponomásticas criadas buscavam identificar e nomear os marcos sinalizadores de entrada e trânsito no espaço natural ainda virgem. Dentre os marcos geográficos e paisagísticos do QF vários estão associados à ocorrência de formações ferríferas e já estavam representados no primeiro mapa geológico do QF, elaborado por Claussen, em 1841. Eram eles: 1) o Pico de Itabira (atual Pico de Itabirito) localizado no município de Itabirito, na Serra das Serrinhas (Sinclinal Moeda), 2) a Serra do Curral que corresponde ao limite norte do QF, estando a cidade de Belo Horizonte localizada em seu sopé e 3) a Serra da Piedade que está localizada na divisa dos municípios de Sabará e Caeté, correspondendo ao extremo NE da Serra do Curral (Figura 1).

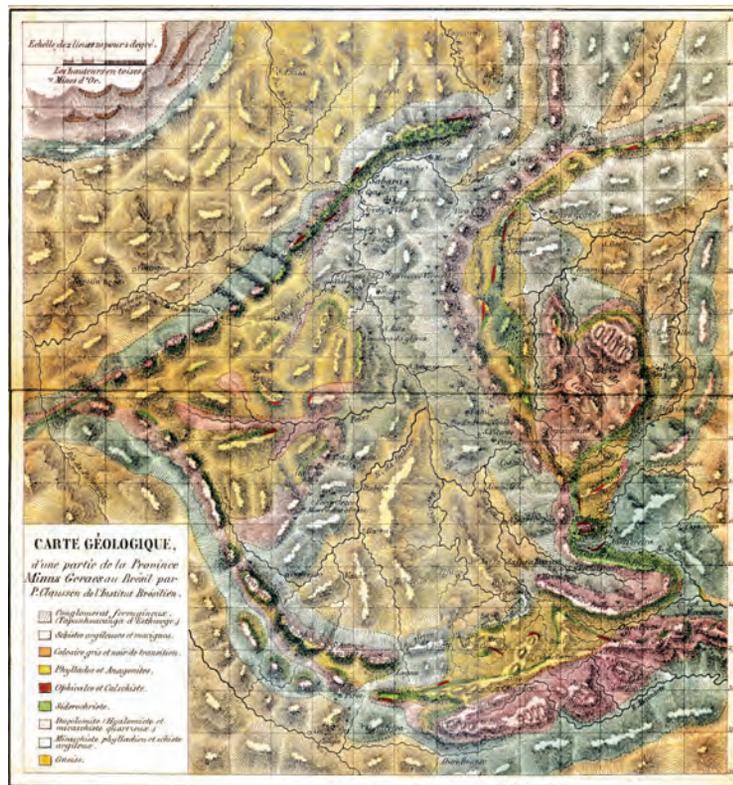


Figura 1 - Marcos geográficos e paisagísticos do QF no mapa de Claussen (1841) com destaque para aqueles associados a ocorrência de ferro: Serra do Curral, Pico de Itabirito e Serra da Piedade. (RUCHKYS, 2007, p.114)

A SERRA DA PIEDADE

A Serra da Piedade (Figura 2) forma a extremidade oriental do conjunto da Serra do Curral. Localizada na divisa dos municípios de Sabará e Caeté (MG), cerca de 50 km a nordeste de Belo Horizonte, em uma altitude de 1.746 metros, a Serra da Piedade é reconhecida como patrimônio histórico, geológico, paisagístico e religioso pela SIGEP (RUCHKYS et al., 2007).



Figura 2 - Comboio de diamantes passando por Caeté com a Serra da Piedade ao fundo. Desenho de J.M. Rugendas, 1824.

Morfologicamente, é sustentada pelas rochas do Supergrupo Minas. Tal sequência é composta por sedimentos clásticos e químicos, sendo os últimos os que constituem a formação ferrífera do Itabirito Cauê e os calcários da Formação Gandarela. Segundo Ruchkys (2007), os naturalistas alemães J.B. von Spix e C.F.P. von Martius, na ocasião em que estiveram em Caeté, subiram a Serra da Piedade (Figura 3) e escreveram no 2º volume da obra *Viagem pelo Brasil* que

essa montanha de rocha eleva-se a noroeste da vila, inteiramente isolada no vale (...). (...) Soberbo é o panorama que se descortina do alto desta montanha, de mais ou menos 5.400 pés de altitude, em cuja ascensão gastamos quatro horas; estão deitados como gigantes em torno dela: o Pico de Itabira, perto de Sabará; a Serra do Caraça, perto de Catas Altas; a Serra da Lapa (atual Serra do Cipó), etc.; e, diante de nós, a oeste, resplandecia a Lagoa Santa.



Figura 3 – Vista da Serra da Piedade a partir do município de Nova Lima. Foto: L.E.P. Travassos.

Como em muitas partes do mundo, sua sacralidade ocorreu em função de uma *hierofania*, ou manifestação do sagrado. A tradição oral registrada por Santos Pires (1902) dá conta que uma menina conhecida como a “muda da Penha” filha de piedosa família e muda de nascença, teria avistado a Virgem Santíssima com Jesus nos braços no alto da Serra da Piedade e, desde então, voltou a falar imediatamente. Assim, os boatos em relação à aparição da Virgem foram a razão pela qual Antônio da Silva Bracarena deu início

à construção de uma capela, em 1767, que hoje encontra-se muito bem conservada, devido a constantes trabalhos de restauração (Figura 4). Ruchkys et al. (2007) destacam que o elevado valor religioso da Serra fez com que, em novembro de 1958, o Papa João XXIII consagrasse a imagem do Santuário de Nossa Senhora da Piedade como Padroeira do Estado de Minas Gerais e, todo ano, entre 15 de agosto e 7 de setembro, acontece o jubileu em sua homenagem reunindo milhares de fiéis no alto da Serra.



Figura 4 – Vista geral do Santuário no alto da Serra da Piedade. (oto: L.E.P. Travassos.

Do ponto de vista espeleológico, Cassimiro et al. (2011) e Pereira (2012) destacam a região como sendo um local de alto potencial para o desenvolvimento de cavernas no itabirito, na canga, ou desenvolvidas no contato entre essas duas litologias. Além disso, cavernas do tipo talus ocorrem desde o topo até a baixa vertente e existem aquelas que são utilizadas por fiéis católicos, bem como aqueles de matriz africana.

Desde o século XVIII a região foi ocupada por eremitas que sempre a perceberam e a defenderam como um lugar sagrado. Portanto, achavam que deveria ser protegida. Dentre os representantes religiosos que habitaram a serra, destaca-se o Frei Rosário Joffily (1913–2000) que, ao longo do século XX, lutou pelo tombamento do Santuário localizado no topo da serra (CASSIMIRO et al., 2011). Em relação aos naturalistas do século XIX que palmilharam o território mineiro, Cassimiro et al. (2011) destacam Johann Baptist von Spix (1781 – 1826) e Carl Friedrich Philipp von Martius (1794 – 1868), que subiram a serra em 1818, embora não tenham mencionado os “milagres” ou a existência de cavernas. No caso específico da religião, nota-se que de acordo com as referências históricas e rela-

tos de funcionários do Santuário de Nossa Senhora da Piedade, existem sítios “milagrosos” que são visitados pelos romeiros com o objetivo de recolher a água dos gotejamentos. Atualmente, dois rochedos são chamados de “milagres” e não possuem nenhuma outra denominação específica, sendo referenciados em 1832 por Wilhelm Ludwig von Eschwege em sua obra “Contribuição a geognóstica” (CASSIMIRO et al., 2011). Em 1818, somente o francês Auguste Saint-Hilaire visita e registra uma gruta utilizada como pouso pelos eremitas e que apresentava vestígios de seu uso pelos fiéis. Outra referência histórica importante sobre as cavernas de uso religioso na Serra da Piedade também foi registrada por Cassimiro et al. (2011). Os autores destacam a existência de um croqui com a representação dos principais “caminhos” dos romeiros e que foi elaborado pelo Frei Rosário Joffily no período em que foi reitor do Santuário de Nossa Senhora da Piedade. No roteiro estão destacadas a gruta do Eremita (Figura 5) e a gruta dos Monges (Figura 6), bem como a gruta de São Tomé. Mesmo que fora do roteiro, na região é possível identificar, ainda, a gruta dos Romeiros (Figura 7). Além dessas cavernas que são utilizadas por fiéis de crença católica, destacam-se, na



Figura 5 – A gruta do Eremita possui aproximadamente 25 metros de desenvolvimento linear e é formada por depósitos de talus. Na placa em letras menores está escrito “Aqui o Frei Rosário se recolhia à solidão”. Foto: Rafael Camargo.

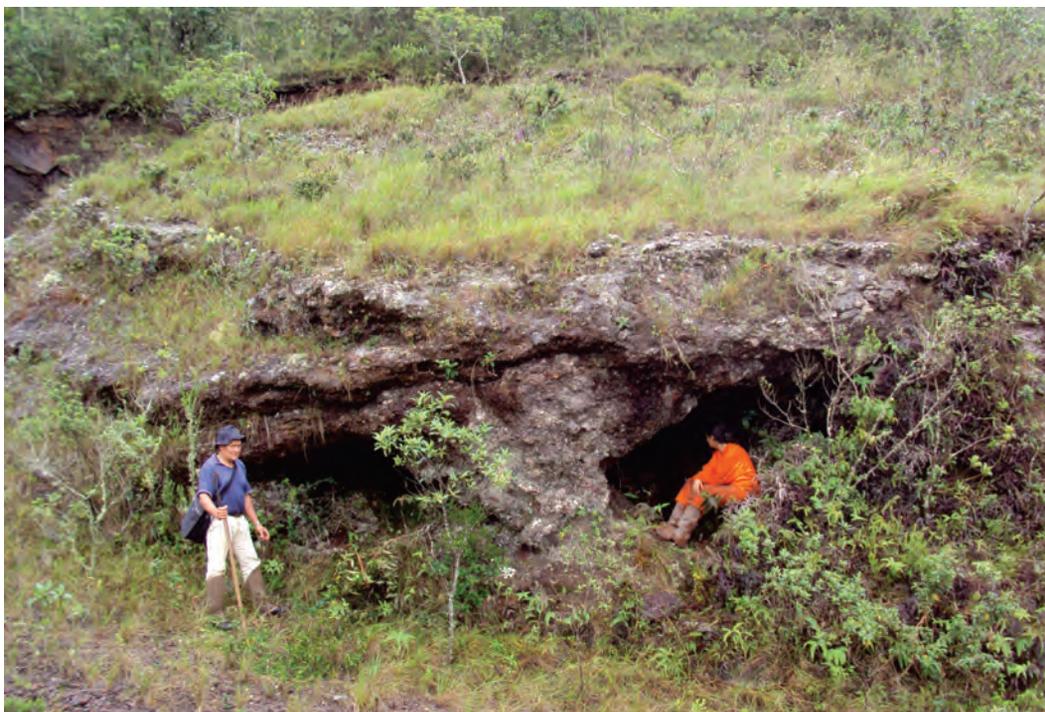


Figura 6 - A gruta dos Monges é uma pequena cavidade de aproximadamente 25 metros de desenvolvimento linear em canga. Encontra-se localizada em média vertente e próxima a estrada não pavimentada. Foto: Roberto Cassimiro.



Figura 7 - A gruta dos Romeiros também é uma pequena caverna, tem aproximadamente 15 metros de desenvolvimento linear e encontra-se em média vertente, sendo formada basicamente por um grande bloco de itabirito inclinado e acomodado sobre a canga. Foto: Rafael Camargo.

região, cavernas utilizadas em práticas rituais de religiões de matriz africana. Sobre esse tipo de religião em associação ao subterrâneo, é possível encontrar referências mais detalhadas em Guimarães et al. (2011). Na Serra da Piedade tem-se os trabalhos de Cassimiro et al. (2011) e Pereira (2012) que identificam a caverna da Macumba. Os autores

fazem a identificação geomorfológica da caverna que recebeu a denominação popular devido a objetos encontrados no seu interior. De acordo com Pereira (2012), ela se insere na borda da unidade denominada de Platô Superior e apresenta três entradas de formas diferentes, indo de estreitas a amplas (Figura 8).



Figura 8 - Entrada da gruta da Macumba e detalhe de uma reentrância na porção sudeste da gruta que foi utilizada como um altar ornamentado com flores de plástico, velas, copos de plástico e garrafas quebradas utilizados em rituais religiosos. Fotos: Manuela Corrêa Pereira.

A SERRA DO CURRAL

Do ponto de vista cênico, a Serra do Curral, localizada entre os municípios de Belo Horizonte e Nova Lima, surge na paisagem como uma superfície imponente em relação ao contexto regional. Silva (2007) destaca que é topograficamente elevada e sustentada por formações ferríferas, sendo reconhecida como patrimônio paisagístico e natural do município de Belo Horizonte, tombado desde a década de 1970. Por seu valor cênico também é considerada o maior símbolo e referência natural da capital mineira.

Ruchkys (2007) salienta que Richard Burton faz referência sobre a visibilidade da serra por longas distâncias, destacando seu valor paisagístico:

A Serra do Curral é curiosamente desagregada em rochedos e proeminências (...). (...) Ficou visível durante muitas milhas, e a avisariamos mesmo do rio. Parece ser ela o limite

setentrional da região montanhosa metalífera, especialmente no que se refere às grandes formações piritíferas, e, para além dela, começam os terrenos mais planos e mais cultiváveis, especialmente os grandes campos de pedra calcárea.

Do ponto de vista religioso, Ruchkys et al. (2012) citam Lima Jr. (1901), que destaca o fato de uma capela de pau e palha ter sido erigida em 1716 e a partir deste local, à base da serra do Curral, desenvolveu-se o Curral Del Rey, hoje Belo Horizonte. No Parque das Mangabeiras, são conhecidas cinco cavidades naturais subterrâneas em formações ferríferas e no Parque Paredão da Serra uma cavidade tem uso religioso (Figura 9a). Na sua extremidade Y, a Serra do Curral recebe a denominação de Serra Azul com registro para uma imagem de Nossa Senhora deixada em um abrigo sob rocha (Figura 9b).



Figura 9 - Imagens de Nossa Senhora deixadas em abrigos de canga. Fotos: Úrsula Ruchkys.

Rodrigues (1988) destaca uma conhecida “Gruta do Parque das Mangabeiras”, cavidade que veio a público no fim da década de 1980. A gruta teria sido descoberta no Parque por uma visitante e seus filhos. De acordo com Faria (2014), a divulgação em massa levou diversas pessoas e especialistas ao local onde puderam contemplar uma gruta de teto

baixo, de aproximadamente 16 metros de extensão, apresentando poucos espeleotemas e uma colônia de morcegos frugívoros que dela faziam morada. Apesar da visita que se seguiu à descoberta dessa caverna, outra gruta vizinha não foi descoberta ou divulgada na época, talvez pelo seu difícil acesso ou tamanho reduzido (8-6 metros).

A SERRA DO GANDARELA

Outra serra de importância cênica, ambiental e científica, a Serra do Gandarela (Figura 10) é palco de constantes conflitos entre setores da sociedade civil e o setor produtivo mineral. De acordo com Fonseca e Andrade (2013) a serra é uma das feições pertencentes à área do Quadrilátero Ferrífero, localizada entre os municípios de Santa Bárbara, Rio Acima e Barão de Cocais. Destacam-se em suas paisagens a importância da água confinada em aquíferos, a formação litológica, as formas de relevo, as espécies existentes e a conexão harmônica de todos esses aspectos com as comunidades/localidades inseridas em seu entorno.

Além de inúmeros trabalhos sobre a região, mais recentemente, em 2012, foi publicada uma dissertação no mestrado de Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Universidade Federal de Minas Gerais. O trabalho de Sanches (2012) destaca que a região apresenta um grande número de cavidades naturais subterrâneas em canga, bem como o potencial da região em se tornar um Parque Nacional, o que foi concretizado em 2014.

Sabe-se, ainda, que a região possui paleotocas (cavernas ou tocas escavadas por tatus gigantes extintos que viveram na região até cerca de 10 mil anos atrás), além de artefatos de pedra e cerâmica associados às cavernas desenvolvidas em canga, fato que comprova a ocupação humana há pelo menos 1,5 mil anos antes do presente inclusive com petroglifos (desenhos na rocha) na couraça ferruginosa da Serra (CARMO et al., 2012). Importante contribuição sobre o registro de paleotocas pode ser vista em Ruchkys et al. (2014).



Figura 10 - Serra do Gandarela vista do Prata. Foto: Paulo Baptista.

Para Baptista (2012; 2013; 2014), a região apresenta alto potencial turístico associado ao seu patrimônio geológico, paisagístico, cultural e histórico. De forma resumida, o autor também cita como fatores importantes do ponto de vista cênico, paisagístico e cultural a existência de diversos outros atrativos naturais, como cachoeiras (Figura 11), lagoas de altitude e mirantes panorâmicos (Figura 12), além de várias comunidades em seu entorno que guardam tradições religiosas, culturais e gastronômicas. A localização privilegiada da Serra do Gandarela e entorno, muito próximas a Belo Horizonte e na interseção dos dois principais roteiros turísticos da

região central de Minas Gerais (o Circuito do Ouro e a Estrada Real) também contribui significativamente para seu potencial de aproveitamento turístico como fator de desenvolvimento econômico local e regional. Soma-se a isso a proximidade dos santuários religiosos da Serra da Piedade e do Caraça, bem como a criação do Parque Nacional da Serra do Gandarela, em outubro de 2014. Destaque deve ser dado ao fato de que o PARNA Gandarela é a primeira Unidade de Conservação Federal de proteção integral em regiões ferríferas, contribuindo significativamente para a preservação e desenvolvimento da região.



Figura 11 - Cachoeiras do Viana e do Índio, córrego do Viana. Foto: Paulo Baptista.



Figura 12 – Vista do Mirante Maquiné. Foto: Paulo Baptista.

SERRA DO ROLA MOÇA

A Serra do Rola Moça foi descrita por Ruchkys (2007) como um importante sítio geológico do Quadrilátero Ferrífero pela ocorrência da canga, considerada solo fóssil que testemunha várias mudanças climáticas, refletindo condições paleoambien-

tais diferentes das atuais. Na Serra do Rola Moça é possível observar a camada de canga nas partes altas da serra, e como é quimicamente estável e muito resistente à erosão, sustenta o relevo e lhe confere um grande valor paisagístico (Figura 13).



Figura 13 - Vista panorâmica de um mirante no Parque Estadual da Serra do Rola Moça. Foto: L.E.P. Travassos.

A área é protegida pelo Parque Estadual do Rola Moça, criado em setembro de 1994 pelo Decreto Estadual 36.071/94. Dentro do Parque são conhecidas algumas cavidades naturais subterrâneas em formações ferríferas, o que atesta

mais ainda sua importância científica. Sabe-se por informações orais da existência de pequenos abrigos utilizados para cultos de religião de matriz africana, fato que não foi confirmado pelo autor.

SERRA DA MOEDA

A Serra da Moeda corresponde a um alinhamento de serras no sentido norte-sul composta por rochas do Supergrupo Minas, em especial pelas Formações Moeda, Batatal e Cauê, esta última caracterizada pela ocorrência de formações ferríferas. A serra é sustentada em alguns locais por quartzitos e em outros por itabiritos, podendo ocorrer canga. Sua importância para o entendimento da evolução da Terra no Quadrilátero Ferrífero fez com que Ruchkys (2007) a caracterizasse como significativo patrimônio geológico dessa região. Em 2008 a Brant Meio Ambiente realizou um estudo sobre a serra destacando sua elevada beleza cênica com crista, cumes e picos que atraem o interesse dos visitantes.

O uso turístico da serra é marcante e em seu topo existe um tradicional ponto de salto de asa

delta e parapente. O local é oportuno para a prática desses esportes e atrai profissionais, iniciantes e curiosos de todo o mundo. Silva (2007) também destaca a importância turística da Serra da Moeda no contexto do Quadrilátero Ferrífero que, além dessas atividades, é utilizada para *mountain bike* e pelos amantes das caminhadas. O relato da Brant (2008) atesta a ocorrência de festas religiosas em homenagem a Nossa Senhora do Rosário e aos Santos negros, influenciadas pelo fato de no período colonial ter havido na região um expressivo número de escravos e de afro descendentes. Por esse motivo, ainda hoje, constata-se presença significativa nos calendários da região celebrações e manifestações profanas, como as cavalhadas, as danças de Congo, de Marujos e de Moçambique.

O PICO DE ITABIRA

O Pico de Itabira (também conhecido como Pico de Itabirito) apresenta-se como importante marco dos diversos períodos de ocupação do Estado de Minas Gerais (ROSIÈRE et al., 2005). Dotado de valor cênico e científico, Ruchkys et al. (2012) destacam o sítio como sendo um corpo verticalizado de minério de ferro compacto, constituído de óxidos de ferro bem antigos, do ponto de vista geológico. Assim como a Serra da Piedade, serviu como marco de orientação para os bandeirantes e exploradores do território mineiro no século XVI e

XVII e para os naturalistas viajantes no século XVIII, tendo sido descrito por Burton na oportunidade em que visitou Cata Branca, em 1869. Os autores continuam destacando sua importância cênica em meio à paisagem regional ao afirmarem que ele foi registrado, junto com o pico do Itacolomi e a Serra do Caraça, na Carta da Capitania de Minas Gerais, elaborada por Eschwege em 1822. O pico encontra-se tombado como patrimônio nacional, desde 1962 e, desde 1989, tombado como patrimônio paisagístico.

SÍTIOS NÃO FERRÍFEROS

Todos os exemplos até aqui descritos estão geologicamente inseridos em formações ferríferas. Do ponto de vista do patrimônio espeleológico, embora não seja objeto deste trabalho, cabe ressaltar a ocorrência das seguintes cavidades naturais subterrâneas não associadas a formações ferríferas no Quadrilátero Ferrífero e que apresentam elevada importância científica, cultural e religiosa regional: a gruta da Igrejinha e a lapa de Antônio Pereira (ambas em dolomitos) e as cavidades em quartzito da Serra do Caraça.

A GRUTA DA IGREJINHA

Iniciando a identificação de lugares que aliam beleza cênica, religião e os subterrâneos, destaque merece ser dado à gruta da Igrejinha. Bem conhecida e estudada por espeleólogos mineiros e, em especial, aqueles da SEE – Sociedade Excursionista Espeleológica, a gruta foi tema de publicação recente de Meyer, Rosada e Lucon (2013) que buscaram sua valoração. Assim, destacam que a cavidade está inserida na APP de mesmo nome, localizada entre os municípios de Ouro Preto e Ouro Branco, entre a Estação Ferroviária de Hargreaves e a Comunidade do Morro Gabriel no Distrito de Miguel Burnier. Na década de 1980, a gruta foi objeto do conhecido conflito entre interesses minerários e de conservação devido à exploração dos mármore dolomíticos do entorno.

A LAPA DE ANTÔNIO PEREIRA

Caverna desenvolvida em dolomitos da Formação Gandarela, o sítio visivelmente alia beleza cênica e religiosidade e foi estudada por Paula et al. (2007), Travassos et al. (2007), Travassos e Rodrigues (2011) e Travassos (2010; 2011). De importância histórico-religiosa, acredita-se que o culto de Nossa Senhora da Lapa tenha se iniciado em função da forte influência portuguesa na região durante o período Colonial.

A tradição oral afirma que existem pelo menos dois acontecimentos históricos conhecidos: o primeiro evento teria ocorrido em 1722, quando algumas crianças estavam procurando lenha na floresta e avistaram um pequeno coelho entrar numa caverna. Ao procurarem o animal, teriam avistado Nossa Senhora rodeada por uma luz brilhante; em seguida, teriam encontrado a imagem da Santa. A tradição conta, ainda, que a imagem teria sido levada da caverna para a Igreja da aldeia, mas teria retornado sozinha para a gruta várias vezes até que um altar fosse construído em seu interior. É importante ressaltar que o retorno da imagem ao abrigo original é semelhante aos fatos supostamente ocorridos em Portugal, no século XV (TRAVASSOS, 2010; 2011).

O segundo evento, também destacado por Travassos (2010; 2011), teria ocorrido em 1767, quando um jovem rapaz que também foi atraído para a gruta por um coelho, ao entrar, teria avistado Nossa Senhora sentada sobre uma rocha. Depois de sair da caverna e dizer a todos sobre o ocorrido, teria retor-

De acordo com os autores, a gruta da Igrejinha apresenta parâmetros geológicos que garantem seu enquadramento como uma cavidade natural subterrânea de relevância máxima, pois, se comparada suas notáveis dimensões em nível local e regional, é considerada a segunda maior na unidade espeleológica em que se insere. Destaca-se, também, sua posição em relação ao Parque Estadual do Ouro Branco que abriga, em sua delimitação atual, a quase totalidade da Área de Preservação Permanente (APP) da Gruta da Igrejinha, a maior caverna em mármore do Quadrilátero Ferrífero (MEYER; ROSADA; LUCON, 2013).

nado e encontrado a imagem de Nossa Senhora. Assim como nas estórias de Portugal e na primeira versão, a imagem foi levada para a igreja da aldeia por ordens do padre local, mas teria retornado várias vezes à gruta até que fosse construído um altar em seu interior. Com a destruição da igreja por um incêndio de origem desconhecida, o fato também foi interpretado como a vontade da Santa de retornar ao seu lugar de origem. Assim, o número de romeiros que iam à caverna foi intensificado e desde então, em 15 de Agosto, milhares de pessoas visitam a gruta de Nossa Senhora da Conceição da Lapa.

Em relação à sua importância histórica, o Padre Aires de Casal (1817) afirma que “em distância de 2 léguas ao nordeste de Mariana, junto ao Arraial de Antônio Pereira (seu fundador), num morro, que fica no fim dum vale ameno, está uma gruta, obra da natureza, convertida pela devoção em uma capelinha dedicada a Nossa Senhora da Lapa, onde todos os sábados há missa cantada, e uma festividade, a 15 de Agosto. No teto, que é de pedra calcária, há várias estalactites, ou como pedaços de cristal formados pela infiltração da água que se congela” (CASAL, 1817/1976, p.170). Além do religioso, Spix e Martius (1824, p.277) também identificam a gruta que se localiza em um afloramento de calcário cinza claro que se destaca na paisagem (...). É provavelmente calcário primitivo e (...) nele encontra-se uma caverna com estalactites, transformada na Capela de Nossa Senhora da Lapa (SPIX; MARTIUS, 1824,

p.277). Outro viajante de igual importância e que registrou a gruta foi D. Pedro II que destacou o fato de existir no interior uma capela e que deveriam ter aproveitado somente as pedras naturais. O Imperador teria visitado todos os salões e afirma que em 15 de agosto ocorre a romaria (D. PEDRO II, 18 de abril de 1881, [s.i])

Em resumo, a Lapa de Antônio Pereira, com cerca de 239,48 m de projeção horizontal, divide-se

em um salão principal onde se encontra o altar e outras estruturas próprias de uma igreja ou capela. À direita do altar é possível ver um espeleotema percebido pelos fiéis como a imagem de Nossa Senhora. Na parte posterior do altar, outro salão recebe as velas depositadas pelos peregrinos, especialmente no dia da padroeira, 15 de Agosto (Figuras 14 e 15).

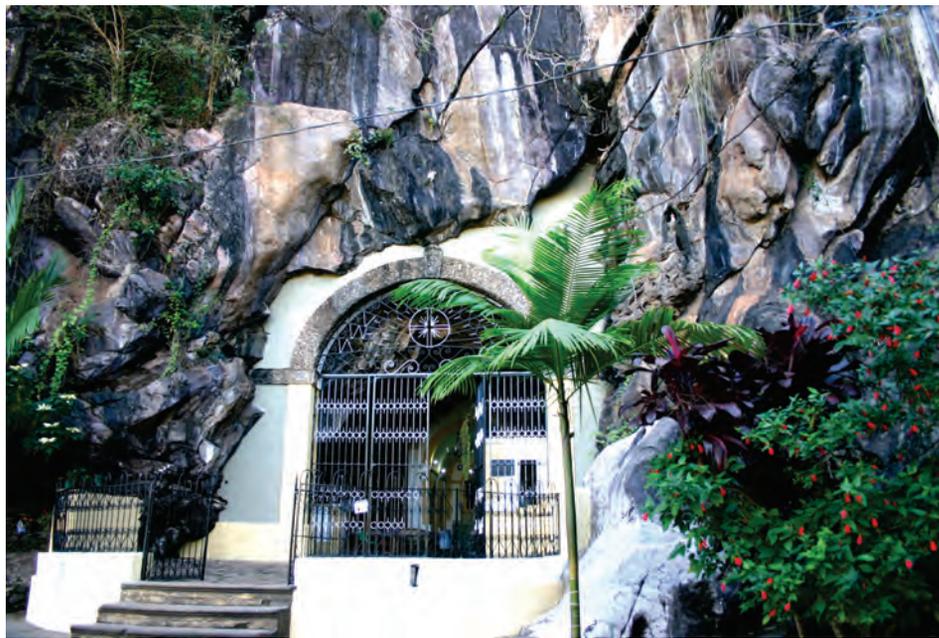


Figura 14 - Aspecto geral da entrada da caverna no maciço dolomítico. Foto: L.E.P. Travassos.



Figura 15 - Altar no interior da lapa, bem como nicho onde está localizado o espeleotema percebido como Nossa Senhora (Detalhe). Fotos: L.E.P. Travassos.

A SERRA DO CARAÇA

Embora não apresentando formações ferríferas, a Serra do Caraça (Figura 16) destaca-se na paisagem regional como importante sítio de valor cênico. Além dessa primeira característica, a região apresenta importantes sítios espeleológicos, entre eles, os destacados por Dutra et al. (2002) que afirmam ser a Serra composta essencialmente por quartzitos, loca-

lizada no Quadrilátero Ferrífero, porção sul, e uma das mais elevadas altitudes dessa região. Dentre os picos mais elevados, destaca-se o do Inficionado, com 2.068 m de altitude, grandes abismos e cavidades naturais subterrâneas significativas em escala mundial, como as grutas do Centenário, do Centum, do Bloco Suspenso, da Fumaça e da Bocaina.



Figura 16 - Aspecto geral da Serra do Caraça vista em trilha dentro da Reserva Particular do Patrimônio Natural do Caraça. Foto: L.E.P. Travassos.

A história do Caraça e adjacências está intimamente ligada à união entre história, beleza cênica regional e religiosidade, esta última especialmente por causa da criação do Colégio Caraça que funcionou de 1821 a 1968. De acordo com informação do site oficial do Santuário do Caraça, a Igreja de Nossa Senhora Mãe dos Homens foi erigida em função do aumento do número de pessoas na região. Após sete anos de construção, foi consagrada em 27 de maio de 1883 e conta com a presença de elementos da geodiversidade regional em sua construção, como a pedra sabão retirada de local próximo à Cascatona, mármore (das proximidades de Mariana e Itabirito) e quartzito (da região do Caraça e vizinhanças), sendo reconhecida como a primeira igreja neogótica do Brasil (Figura 17).



Figura 17 - Entrada da Igreja de Nossa Senhora Mãe dos Homens. Foto: L.E.P. Travassos.

Do ponto de vista espeleológico, Dutra et al. (2002) afirmam que as visitas ao Pico do Inficionado tornaram mais constantes, com padres e alunos desbravando as entranhas do maciço, com destaque à gruta do Centenário, cujo nome é homenagem ao centenário da Independência do Brasil, ocorrido em 1922. Foi somente em 1996 que o Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas começou um trabalho sistemático com atividades de exploração, topografia e estudos das cavidades e fendas do Pico do Inficionado (Figura 18).

Ainda em Catas Altas, Ruchkys et al. (2012) destacam como importante geossítio do Geoparque do QF o Bicame de Pedra em Catas Altas. Os autores destacam que foi construído em 1792 por Manuel Ferreira Pinto para fornecimento de água para a mina de ouro na Serra de Boa Vista e hoje é atração turística da Estrada Real, além de oferecer uma bela vista para a Serra que se apresenta como geossítio de interesse internacional do ponto de vista científico, educativo, estético, cultural, religioso, histórico e turístico.



Figura 18 - As muitas fendas do Pico do Inficionado, na Serra do Caraça. Foto: L.E.P. Travassos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o presente trabalho tentou-se demonstrar que é perfeitamente aceitável estabelecer uma estreita relação entre os aspectos da beleza cênica de uma paisagem, a religião e o turismo. Destaca-se que os exemplos que foram selecionados aqui estão longe de serem os únicos representantes, mas são, certamente, dentro da área do Quadrilátero Ferrífero, os mais conhecidos e os que aliam os aspectos identificados no próprio título do capítulo. Sabe-se da existência de outros locais que apresentam valores similares, entretanto, o foco principal deste livro são as formações ferríferas. Nesse caso, exemplos que possam existir na Serra dos Carajás não foram identificados devido à carência de informação a respeito da interação entre beleza cênica, turismo e religião.

Não foram levados em conta os aspectos número de visitantes, nem instalação de infraestrutura turística básica, embora muitos dos exemplos selecionados apresentem-se acessíveis ao turista “comum”. Em muitos casos a sacralidade da paisagem ou de um sítio específico enfrenta desafios relacionados à preservação em função da exploração econômica ou do uso inadequado do espaço.

REFERÊNCIAS

- BAPTISTA, P. *Contribuições para publicação "Patrimônio Espeleológico em Formações Ferríferas: propostas para sua conservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.* [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por: <sbe@cavernas.org.br> em 19 ago. 2014.
- BAPTISTA, P. *Parque Nacional da Serra do Gandarela: contribuições para a economia local e regional.* 2013. Extrato de apresentação realizada no VI SAPIS/ELAPIS/IGC/UFMG, Belo Horizonte, 2013.
- BAPTISTA, P. *Aspectos cênicos e paisagísticos da região da Serra do Gandarela,* 2012.
- CARMO, F.F. do; CARMO, F.F. do; CAMPOS, I.C. de; JACOBI, C.M. Cangas: ilhas de ferro. *Ciência Hoje*, v. 50, n. 295, p.49-53, 2012.
- CASAL, M.A. de. *Corografia Brasileira ou Relação histórico-geográfica do Reino do Brasil* (1817). São Paulo: EDUSP/Itatiaia Editora, 1976.
- CASSIMIRO, R. PEREIRA, M.C.; GUERRA, A.; CAMARGO, R.; HISSA, L.de B.V.; FARIA, L.E.; RINGER, F.E. Referências históricas sobre os "milagres" e as cavernas da Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 31, 2011, Ponta Grossa. *Anais...* Ponta Grossa: SBE/GUPE/UEPG, 2011, p.357-364. Disponível em: <www.cavernas.org.br/anais31cbe/31cbe_357-364.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2014.
- DOM PEDRO II. Volume 24: Viagem a Minas Gerais – Primeira Parte 26/03 a 19/04 de 1881. Transcrição de Aurea Maria de Freitas Carvalho. In: BEDIAGA, B. (Org.). *Diário do Imperador D. Pedro II: 1840-1891.* Petrópolis: Museu Imperial, 1999. 1 CD-ROM.
- DUTRA, G.M.; RUBBIOLI, E.L.; HORTA, L.S. Gruta do Centenário, Pico do Inficionado (Serra da Caraça), MG: A maior e mais profunda caverna quartzítica do mundo. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; QUEIROZ, E.T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil.* Brasília: DNPM/CPRM/SIGEP, 2002. p.431-441.
- FARIA, L. *Contribuições...* [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por: <luizepanisset@gmail.com> em 02 set. 2014.
- FONSECA, C. de O.; ANDRADE, V. L. de. Serra do Gandarela: turismo ou mineração? *Boletim UFMG*, Belo Horizonte, ano 39, n. 1811, 2013. Disponível em: <www.ufmg.br/boletim/bol1811/2.shtml> Acesso em: 19 ago. 2014.
- GOELDNER, C.R.; RITCHIE, J.R.B.; McINTOSH, R.W. *Turismo: princípios, práticas e filosofias.* 8.ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. Tradução de Roberto Cataldo Costa.
- GUIMARÃES, R.L.; TRAVASSOS, L.E.P.; GÓIS, A.J.; VARELA, I.D. Cavernas e Religião: os rituais de matriz africana na Gruta da Macumba e na Gruta do Feitiço, Lagoa Santa, Minas Gerais. *Ra'e ga (UFPR)*, v. 23, p. 263-288, 2011.
- HALL, C. M.; PAGE, S.J. *The Geography of Tourism and Recreation: Environment, place and space.* 3.ed. Routledge: London/NewYork, 2006.
- IGNARRA, L.R. *Fundamentos do turismo.* 2.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

LICKORISH, L.J.; JENKINS, C.L. *Introdução ao turismo*. 6.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2000.

MEYER, B.O.; ROSADA, T.R.; LUCON, T.N. Valoração da Gruta da Igreja, Ouro Preto (MG) para seu possível enquadramento dentro dos novos limites do Parque Estadual Serra do Ouro Branco proposto pelo Projeto de lei Nº 3.405/2012. In: RASTEIRO, M.A.; MORATO, L. (Orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 32, 2013. Barreiras. *Anais...* Campinas: SBE, 2013. p. 307-317. Disponível em: <www.cavernas.org.br/anais32cbe/32cbe_307-317.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2014.

OSTANELLO, M. C. P. *O patrimônio geológico do Parque Estadual do Itacolomi (Quadrilátero Ferrífero, MG): inventariação e análise de lugares de interesse geológicos e trilhas geoturísticas*, 2012. 204f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. Programa de Pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Ouro Preto, 2012.

PAULA; H.C. de; SILVA, C.M.T. da; SANTOS, T.F.; MATTEO, D.E.G. de; GONTIJO, A.A. Caracterização, diagnóstico e cadastramento da Lapa de Antônio Pereira - MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 29, 2007, Ouro Preto. *Anais...* Campinas/Ouro Preto: SBE/UFOP, 2007. Disponível em: <www.cavernas.org.br/anais29cbe/29cbe_221-229.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2014.

PEREIRA, M.C. *Aspectos genéticos e morfológicos das cavidades naturais da Serra da Piedade - Quadrilátero Ferrífero/MG*, 2012. 150f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia - Análise Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

RODRIGUES, W. (25 de Setembro de 1988 11 de Novembro de 1988); "Gruta é atração no Mangabeiras" e "Pesquisador diz que a gruta do Mangabeiras tem 30 metros"; Jornal Hoje em Dia, Belo Horizonte - MG.

ROSÍÈRE, C.A.; RENGER, F.E.; PIUZANA, D.; SPIER, C.A. 2005. Pico de Itabira, MG - Marco estrutural, histórico e geográfico do Quadrilátero Ferrífero. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; BERBERT-BORN, M.; QUEIROZ, E.T.; CAMPOS, D.A.; SOUZA, C.R.G.; FERNANDES, A.C.S. (Eds.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/ CPRM/SIGEP, 2005. Disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/sitio042/sitio042.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2014.

RUCHKYS, U. A.; BITTENCOURT, J. S.; BUCHMANN, F. S. C. A paleotoca da Serra do Gandarela e seu potencial como geossítio do Geoparque Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Caderno de Geografia*, v. 24, n.2, p. 249-263, 2014.

RUCHKYS, U.A.; MACHADO, M.M.M.; CASTRO, P. de T.A.; RENGER, F.E.; TREVISOL, A.; BEATO, D.A.C. In: SCHOBENHAUS, C.; SILVA, C.R. da (Ed.) *Geoparques do Brasil: propostas*. Rio de Janeiro: CPRM, 2012. p.183-220 (Volume 1).

RUCHKYS, U.A.; RENGER, F.E.; NOCE, C.M.; MACHADO, M.M.M. Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero, MG - da lenda do Sabarabuçu ao patrimônio histórico, geológico, paisagístico e religioso. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; BERBERT-BORN, M.; QUEIROZ, E.T.; CAMPOS, D.A.; SOUZA, C.R.G.; FERNANDES, A.C.S. (Ed.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/ CPRM/SIGEP, 2007. Disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/sitio129/sitio129.pdf>> Acesso em: 11 mai. 2014.

- SANCHES, R.M. da S. *A Serra do Gandarela*, 2012. 169f. Dissertação (Mestrado) -Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- SANTOS PIRES, A.O. A Serra da Piedade. *Rev. Arqu. Publ. Min.*, v.7, p. 813-826, 1902.
- SANTUÁRIO DO CARAÇA. *O Santuário Neogótico de Nossa Senhora Mãe dos Homens*, 2014. Disponível em: <www.santuariodocaraca.com.br/o-santuario-neogotico-de-nossa-senhora-mae-dos-homens/> Acesso em: 02 jul. 2014.
- SILVA, F. R. *A paisagem do Quadrilátero Ferrífero, MG: potencial para o uso turístico da sua geologia e geomorfologia*, 2007. 144f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais.
- SPIX, J.B.von; MARTIUS, C.F.P. von. *Travels in Brazil in the years 1817-1820 undertaken by command of his Majesty the King of Bavaria*. London: Longman, Hurst, Orme, Brown and Green, 1824. v.1
- TRAVASSOS, L.E.P. Ibn Battuta e os subterrâneos sagrados do Islã. In: RASTEIRO, M.A.; MORATO, L. (Orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 32, 2013, Barreiras. *Anais...* Campinas: SBE, 2013. p.207-213. Disponível em: <www.cavernas.org.br/anais32cbe/32cbe_207-213.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2014.
- TRAVASSOS, L.E.P. O uso religioso do patrimônio geológico: o caso da Lapa de Antônio Pereira, Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE/SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 12, 16, 2011, Nova Friburgo. *Anais...* Rio de Janeiro: SBG, 2011. v.1. p.115-115.
- TRAVASSOS, L.E.P. *A importância cultural do carste e das cavernas*. 2010. 347f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- TRAVASSOS, L.E.P.; AMORIM FILHO, O.B. A percepção geográfica da paisagem cárstica como instrumento de preservação. *Informativo SBE*, Campinas, v.1, n.82, p. 10-13, 2002.
- TRAVASSOS, L.E.P.; RODRIGUES, E.R. O imaginário e as tradições ligadas à Nossa Senhora da Lapa em Antônio Pereira e Vazante, Minas Gerais. In: TRAVASSOS, L.E.P.; MAGALHÃES, E.D.; BARBOSA, E.P. (Org.). *Cavernas, rituais e religião*. Ilhéus: Editus, 2011. p.321-337.
- TRAVASSOS, L.E.P.; VARELA, I.D.; RODRIGUES, E.R.; GUIMARÃES, R.L. A Festa Religiosa de Nossa Senhora da Lapa, Antônio Pereira, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 27, 2007, Ouro Preto. *Anais...* Campinas/Ouro Preto: SBE/UFOP, 2007. p. 315-315. Disponível em: <www.cavernas.org.br/anais29cbe/29cbe_315-315.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2014.
- TRIGO, L.G.G.; ALMEIDA, R.A. de; LEITE, E.; MALCHER, M.A. *Aprendiz de lazer e turismo*. MTUR/AVT/IAP/USP: São Paulo, 2007.
- UNWTO-World Tourism Organization, 2014. Disponível em: <www.unwto.org/>. Acesso em: 05 fev. 2014.
- WTTC-World Travel and Tourism Council. *Travel & Tourism Economic impact 2014 -Brazil*. WTTC: London, 2014.

SERVIÇOS DA GEODIVERSIDADE ASSOCIADOS ÀS ROCHAS FERRUGINOSAS: PRESSÃO E OPORTUNIDADES DE CONSERVAÇÃO



ÚRSULA DE AZEVEDO RUCHKYS

Universidade Federal de Minas Gerais

MARIA MÁRCIA MAGELA MACHADO

Universidade Federal de Minas Gerais



INTRODUÇÃO

Quando olhamos ao nosso redor encontramos paisagens com diversas formas de relevo e rochas que constituem o meio de sustentação de vida. As paisagens que observamos hoje são resultado da evolução, ao longo dos cerca de 4600 milhões de anos da história da Terra. Essa evolução e a transformação é reflexo da interação entre os elementos vivos e não vivos que caracterizam o planeta. Aos elementos vivos comumente se associa o termo biodiversidade. Mais recentemente, a partir de uma Conferência Internacional realizada no Reino Unido, na década de 1990, começou-se a utilizar também o termo geodiversidade.

Da mesma forma que a biodiversidade corresponde à diversidade da natureza viva, a geodiversidade corresponde à variedade de estruturas (sedimentares, tectônicas, geomorfológicas e petrológicas) e materiais geológicos (minerais, rochas, fósseis e solos), que constituem o substrato físico natural de uma região, o qual suporta

a biodiversidade. O termo é composto pelo prefixo *geo*, de origem grega, que significa Terra + a palavra *diversidade*, de origem latina. Para Gray (2004) a geodiversidade podem ser atribuídos diversos valores, tais como: intrínsecos ou de existência; culturais (uso na arquitetura barroca, nomes tradicionais de lugares, lendas de comunidades tradicionais); estéticos (lazer, contemplação ou produção artística); funcionais (substrato para os ecossistemas e a biodiversidade) e econômicos (fonte de recursos minerais e energéticos).

São várias as ameaças que pesam sobre a geodiversidade, como exemplo podemos citar, dentre outros: a mineração, quando realizada de forma desordenada; a construção de grandes obras de engenharia; a coleta e o comércio de amostras de minerais ou de fósseis raros. Além disso, há a falta de conhecimento, tanto por parte de legisladores como de gestores, de que os elementos da geodiversidade podem ter um valor patrimonial e que, portanto, merecem ser conservados.

PRESSÃO SOBRE A GEODIVERSIDADE

A geodiversidade associada às rochas ferruginosas do Quadrilátero Ferrífero caracteriza um geocossistema único que nos oferece vários tipos de serviços: fonte de informações para o avanço do conhecimento científico; instrumento e veículo para educação e difusão cultural; base para desfrute estético e recreativo; base para o desenvolvimento da vida; serviços associados à água; fonte de matéria prima para o desenvolvimento industrial; dentre outros.

Tantos serviços decorrentes das características da geodiversidade do Quadrilátero Ferrífero tornam essa região um espaço de conflitos e interesses contraditórios. Por um lado a necessidade de conservação da geodiversidade e, por outro, a necessidade de uso. A excepcionalidade de sua paisagem atrai muitos empreendimentos imobiliários que têm alterado o uso e ocupação do solo com loteamentos e construção de condomínios que provocam alteração das condições originais do meio físico, com movimentos de massa que

podem levar inclusive à supressão parcial ou total de cavidades. Esse mesmo processo de destruição pode ser provocado pela circulação de motoqueiros e jipeiros. Na verdade, apenas o impacto da circulação de pedestres sobre a superfície de canga pode ser suficiente para provocar dano e há casos de uso dessas áreas inclusive como estacionamento de veículos. Atos de vandalismo como pichações em afloramentos rochosos, retirada de exemplares da flora e disposição inadequada de lixo também ocorrem. Vale mencionar ainda os inúmeros incêndios provocados, principalmente, por fogueiras e guimbas de cigarros, que afetam os ecossistemas do Quadrilátero Ferrífero, colocando em risco o patrimônio natural, inclusive o espeleológico. A destruição da cobertura vegetal pelas queimadas potencializa a exposição de cavidades em formações ferríferas e canga tornando-as mais vulneráveis.

Historicamente significativa nessa região, desde o século XVII, pela exploração de ouro, e

desde o século XIX, pela exploração de ferro, a mineração é, sem dúvida, a principal fonte de pressão aos recursos da geodiversidade, incluindo o patrimônio espeleológico.

Assim como o ouro foi riqueza da Colônia e do Império, o ferro é matéria-prima para o desenvolvimento industrial. A importância desse bem mineral foi inclusive salientada por Gorceix, em 1875, como uma das justificativas para fundação da Escola de Minas de Ouro Preto. Conforme salienta Rodrigues (2010), Gorceix reporta-se ao passado para mostrar que o aproveitamento dos elementos naturais é condizente aos tempos modernos, assim como sempre foi nas prósperas sociedades antigas: (...) *em todas as épocas e em todos os povos a exploração das riquezas minerais enterradas no solo tem sido objeto da mais viva solicitude do governo*. Para Gorceix o ferro iria assegurar de modo durável a prosperidade da província de Minas Gerais.

Eschwege (1825) também salienta a importância e a grandiosidade das jazidas de ferro do Quadrilátero Ferrífero:

as imensas riquezas que esta capitania (de Minas Gerais) oferece, em mineral de ferro, espantam o conhecedor, não havendo parte nenhuma no mundo, até agora examinada pelos mineralogistas, que apresente maior abundância dele. Montes e serranias inteiras estão cobertos de ferro micáceo, magnético, especular e vermelho.

Realmente, a exploração do ferro na atualidade assegura a riqueza de Minas Gerais. Essa riqueza mineral é uma das responsáveis não só pelo desenvolvimento econômico, mas também da cultura científica geológica, biológica, arqueológica, geográfica, cultural e, mais recentemente, da cultura científica espeleológica. Dessa forma, a própria história da mineração deve ser valorizada e exibida como uma das riquezas que projetam o país e o Estado. Mas a importância dessa atividade no passado, no presente e no futuro não pode pôr em risco o patrimônio geológico e espeleológico. Miranda (2012) alerta

para o fato de que algumas empresas da área de mineração consideram a presença do patrimônio espeleológico um problema para suas atividades, o que leva a estudos ambientais omissos ou mesmo à “destruição prévia” do patrimônio espeleológico como forma de assegurar a viabilidade econômica de empreendimentos. O autor ainda levanta o fato das pesquisas científicas realizadas em áreas de ocorrência de canga e itabiritos no Quadrilátero Ferrífero não acompanharem a marcha da extração mineral.

A maior parte das áreas de ocorrência de rochas ferruginosas está nas mãos das companhias mineradoras que promovem estudos, em sua maioria, restritos às necessidades impostas pela legislação ambiental. As equipes de pesquisa contratadas por essas empresas têm acesso às áreas, no entanto, para outros pesquisadores, mesmo que ligados a centros de pesquisa ou universidades, o acesso é restrito ou dificultado por questões burocráticas.

As atividades humanas podem impactar de forma negativa os recursos associados à geodiversidade, no caso das formações ferríferas e canga, sua importância está também associada à questão dos mananciais de água que abastecem boa parte da região metropolitana de Belo Horizonte (Figura 1). Mourão (2007) salienta que a importância dessas rochas vai além da econômica, tratando especificamente dos recursos hídricos subterrâneos, tem-se como principal aquífero a unidade geológica hospedeira dos corpos de minério de ferro, denominada de Formação Cauê. A autora mostra que, de modo geral, associam-se às ocorrências de minério no entorno das minas de ferro importantes surgências de água subterrânea. A atividade minerária leva ao rebaixamento de lençol freático e alterações nos cursos d'água, podendo causar ainda a contaminação do solo e de águas por metais pesados. As rochas ferruginosas do Quadrilátero Ferrífero têm, assim, fundamental importância para o abastecimento de água da região metropolitana de Belo Horizonte e para a manutenção das condições ambientais.



Figura 1- (a) Captação de água na região da Mutuca. (b) Presença de água em cavidade natural subterrânea em formação ferrífera. Fotos: Úrsula Ruchkys.

Mansur (2010) lembra que a Constituição do Brasil define os recursos minerais como bens da União e estabelece que o registro, acompanhamento e fiscalização das concessões de direitos de pesquisa e exploração dos recursos hídricos e minerais são competências comuns da União, Estados, Distrito Federal e Municípios. Cabe ao Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM a concessão dos direitos de exploração e fiscalização dos recursos minerais, exceto petróleo. Quanto ao descomissionamento de minas, é obrigação legal do minerador recuperar a área degradada. Os projetos para áreas com importância científica, didática ou turística devem preservar os afloramentos para visitação e estudos, impedindo seu recobrimento por solo e vegetação, principal técnica utilizada/recomendada nos manuais para estes casos.

O CONCEITO DE GEOPARQUE

Segundo a UNESCO (1999), um geoparque é um território com limites bem definidos e área suficientemente grande com presença de vários sítios geológicos, incluindo espeleológicos, de importância científica especial, beleza ou raridade. Locais que são verdadeiros patrimônios cuja importância científica está no fato de serem registros singulares dos eventos ou processos evolutivos da área, permitindo, portanto, a compreensão da história geológica da Terra. Além disso, um geo-

parque deve ter como atrativos valores paisagísticos, históricos e culturais que incentivem o geoturismo e, conseqüentemente, o desenvolvimento sustentável da região. A ideia é aliar conservação do patrimônio geológico, educação ambiental e geoturismo em favor da economia local, sem criar qualquer restrição ao desenvolvimento das mais diversas atividades econômicas dentro dos limites do geoparque, inclusive aquelas que têm como matéria-prima recursos minerais. Isso é possível

As raízes dos patrimônios natural e cultural encontrado no Quadrilátero Ferrífero estão na geodiversidade, assim como as atividades extrativas minerais e a própria expansão urbana que privilegia locais de grande beleza cênica. Assim, é preciso pensar em formas de gestão e proteção que levem em conta a geodiversidade.

Seguindo as últimas tendências mundiais, as estratégias mais interessantes são aquelas que promovem a utilização da geodiversidade, considerando seus vários serviços, tanto ligados à conservação como ao uso, com destaque para a criação de geoparques. Esse modelo foi proposto pela UNESCO (1999) para conservação do patrimônio natural, integrando os recursos geológicos, paisagísticos, biológicos e culturais, e tem ganhado mais peso e força, tanto em nível internacional quanto em nível nacional.

parque deve ter como atrativos valores paisagísticos, históricos e culturais que incentivem o geoturismo e, conseqüentemente, o desenvolvimento sustentável da região. A ideia é aliar conservação do patrimônio geológico, educação ambiental e geoturismo em favor da economia local, sem criar qualquer restrição ao desenvolvimento das mais diversas atividades econômicas dentro dos limites do geoparque, inclusive aquelas que têm como matéria-prima recursos minerais. Isso é possível

porque o princípio da geoconservação é pontual, apenas dos geossítios e não da área como um todo. Segundo o próprio conceito, o geoparque é dinâmico. Continuamente é possível propor alterações no que tange aos geossítios, tanto inclusões como exclusões.

Um geoparque não é mais uma categoria de área protegida (parque nacional, parque estadual, estação ecológica, etc.), mas outro modo de entender a conservação e o uso dos recursos da geodiversidade. Em 2015, a Rede Global é constituída por 111 geoparques assim distribuídos: Alemanha (5); Áustria (3); Brasil (1); Canadá (2); China (31); Coreia (1); Croácia (1); Dinamarca (1); Eslovênia (1); Espanha (10); Finlândia (1); França (5); Grécia (4); Hungria (1); Indonésia (1); Irlanda (3); Islândia (1); Itália (9); Japão (7); Malásia (1); Marrocos (1); Noruega (2); Países Baixos (1); Portugal (4); Reino Unido (6); República Checa (1); Romênia (1); Turquia (1); Uruguai (1); Vietnã (1). Manter o restante do parágrafo como está: A lista é composta, ainda, por três geoparques que têm seu território partilhado entre dois países diferentes: Alemanha-Polônia; Hungria-Eslováquia; Eslovênia-Áustria. A lista é composta ainda por três geoparques que têm seu território partilhado entre dois países diferentes: Alemanha-Polônia; Hungria-Eslováquia; Eslovênia-Áustria.

No Brasil, o conceito de geoparques começou a ser incorporado em 2006 com a criação do Geoparque Araripe, no Estado do Ceará. Nesse mesmo ano, o Serviço Geológico do Brasil lançou o Projeto Geoparques, buscando induzir a criação de geoparques no país. Em 2012, foi publicado o livro *Geoparques do Brasil: propostas*, com a descrição de 17 geoparques nacionais organizado por Schobbenhaus e Silva (2012).

Em 2007 foi proposta por Ruchkys, a criação de um geoparque nos modelos da UNESCO, na região do Quadrilátero Ferrífero. A partir de então, vêm sendo desenvolvidas iniciativas para difusão da geologia e promoção do patrimônio geológico nessa região. Em 2011 houve o “lançamento” oficial do Geoparque Quadrilátero Ferrífero e, nos últimos anos, tem-se avançado no fortalecimento

da identidade visual do geoparque e de sua estrutura de gestão, além do desenvolvimento de novos projetos e parcerias institucionais. Tal proposição, se tiver maior apoio do Governo de Minas, bem como das empresas de mineração e dos órgãos ligados ao meio ambiente, pode ser uma oportunidade única de aliar conservação e uso da geodiversidade, valorizando o que torna o Quadrilátero Ferrífero uma região única no mundo.

No caso da geodiversidade associada às rochas ferruginosas, a criação de um geoparque pode tornar possível aliar conservação e uso. Bons afloramentos de itabiritos e canga que encerram um rico patrimônio espeleológico associado, estão presentes nas Serras do Rola Moça, Serra da Moeda, Serra do Gandarela, Serra Azul, Serra da Piedade. Ao pensar a geoconservação, pode-se integrar em percursos geoturísticos a importância destas rochas do ponto de vista econômico e patrimonial. Essas estratégias de geoconservação devem aproveitar tanto sítios paisagísticos com qualidade visual para contemplação e desfrute como elementos singulares pontuais, principalmente no caso do patrimônio espeleológico associado às formações ferríferas e canga.

O âmbito de possibilidades é muito amplo e os exemplos que se seguem simplesmente pretendem ilustrar o que já existe em alguns geoparques e que poderiam ser aplicados a sítios geológicos, de maneira geral, e espeleológicos, de maneira específica, do Quadrilátero Ferrífero. A ideia base é criar um sistema de identidade territorial com promoção de atividades a partir da geodiversidade: 1) proteção física de afloramentos; 2) rotas temáticas que abordem o patrimônio espeleológico de forma integrada com outros valores; 3) catálogo fotográfico do patrimônio espeleológico associado às formações ferríferas e canga; 4) jardim geológico do Quadrilátero Ferrífero; 5) mascote do patrimônio espeleológico; 6) museu do ferro; 7) paleoteca virtual. Todas as propostas devem ser concebidas em um conjunto entrelaçado, associando o patrimônio espeleológico/geológico com outros elementos de interesse, como base para potencializar os valores das rochas ferruginosas.

OPORTUNIDADES DE VALORIZAÇÃO, USO E DE GEOCONSERVAÇÃO

1) PROTEÇÃO FÍSICA DE AFLORAMENTOS E VALORIZAÇÃO COM INFORMAÇÃO INTERPRETATIVA

No Quadrilátero Ferrífero, bons afloramentos de formações ferríferas e canga, estão presentes em unidades de conservação, principalmente no Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade e no Parque Estadual da Serra do Rola Moça, que constituem elementos singulares da paisagem regional e são de fácil acesso (potencial de uso). As condições de observação são favoráveis e permitem ilustrar vários processos geológico-geomorfológicos, a importância do ferro, a formação de cavidades associadas à canga e ao itabirito, e outros valores patrimoniais associados. A intervenção física de sítios geológicos/espeleológicos deve ser pensada de

forma a valorizar os mais diferentes aspectos do patrimônio com construção de equipamentos de apoio, modificando o mínimo possível o ambiente natural. Em se tratando de ambiente frágil, também é importante a realização de análise de capacidade de carga e projetos especializados de arquitetura, engenharia, paisagismo e educação ambiental.

Exemplos interessantes que poderiam ser utilizados como modelo são: valorização dos afloramentos de pedra parideira no Geoparque Arouca em Portugal (Figura 2), proposta de intervenção física para a ponte do diabo na Espanha.



Figura 2 – (a) Intervenção física sobre a pedra parideira no Geoparque Arouca em Portugal com valorização das rochas incluindo a presença de painéis interpretativos. (b) Detalhe de um dos painéis interpretativos colocado no percurso. Fotos: Úrsula Ruchkys

No caso do Quadrilátero Ferrífero é importante destacar que existem alguns exemplos de intervenção física, como é o caso das áreas de mirante no recém-inaugurado Parque Paredão da Serra do Curral. Nesse caso, a valorização foi para pontos que privilegiam a vista cênica da paisagem e, embora as passarelas tenham sido construídas

sob canga, não existe informação sobre isso (Figura 3a). Na Serra do Rola Moça existe uma placa interpretativa que explica a importância e o processo de formação da canga no Quadrilátero Ferrífero, mas além da sinalização, não existe nenhuma estrutura de valorização do geossítio (Figura 3b).



Figura 3 – (a) Intervenção física na Serra do Curral. (b) Painel interpretativo na Serra do Rola Moça.
Fotos: João Marcos Veiga - Fonte: Acervo Geoparque Quadrilátero Ferrífero.

2) PROPOSTA DE UMA ROTA DOS NATURALISTAS E O FERRO

Rotas temáticas têm sido utilizadas em vários geoparques para ilustrar e desfrutar por meio de descrições de viajantes a paisagem e seus aspectos singulares. As rochas ferruginosas são conhecidas desde a época dos naturalistas que estiveram no Quadrilátero Ferrífero e deixaram seus registros em cadernetas de campo e relatos de viagem. Merecem destaque os de Eschwege, Richard Burton, Peter Claussen, Marianne North, Johann M. Rugendas, Pierre Aime Pissis, Augustin Francois C. P. de Saint-Hilaire, Karl Friedrich Philipp von Martius, Eugenius Warming. No entanto, uma pesquisa detalhada sobre os relatos envolvendo essas rochas, incluindo os aspectos da fauna e da flora, associadas a esses viajantes ainda não foi realizada.

Considerando somente o Barão de Eschwege, que viveu no Brasil de 1811 a 1822, são muitas suas contribuições na siderurgia, mineração e geologia do ferro. Foi o responsável pela instalação da Fábrica de Ferro Patriótica em Congonhas, onde se forjou ferro pela primeira vez no Brasil; utilizou malho hidráulico para lavar o ferro, até então desconhecido na região; estudou, analisou e levantou as riquezas geológicas e minerais do Quadrilátero Ferrífero tendo deixado um grande legado sobre o conhecimento do ferro.

No Geoparque Costões e Lagunas do Rio de Janeiro (MANSUR, 2010) foi desenvolvido o projeto Caminhos de Darwin – um roteiro turístico-científico com placas interpretativas e marcos comemorativos colocados em locais selecionados por onde Darwin passou quando esteve no Brasil (Figura 4).

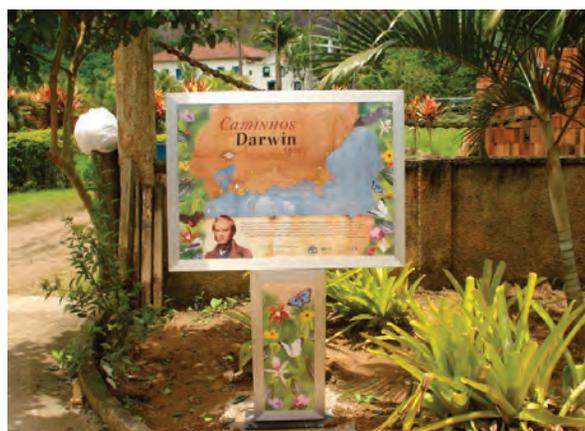


Figura 4 – Marco comemorativo do Projeto Caminhos de Darwin. Foto: Kátia Mansur

3) CATÁLOGO FOTOGRÁFICO

Um catálogo fotográfico das formações ferríferas e canga do Quadrilátero Ferrífero, em especial, do seu patrimônio espeleológico associado. Com este catálogo pode-se incrementar o conhecimento sobre os elementos da geodiversidade, levando o espectador a perceber um enfo-

que diferente, buscando observar as formas da paisagem valorizando a beleza do patrimônio espeleológico associado às rochas ferruginosas e destacando seus valores artísticos e estéticos, contribuindo para seu conhecimento, valorização e proteção.

4) JARDIM GEOLÓGICO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

Exemplos de jardins de pedras com informações interpretativas existem em várias partes do mundo, tanto em áreas naturais quanto em áreas urbanas. Essas intervenções demandam poucos recursos e podem ser construídas em diferentes locais do território, como em praças públicas, entrada de museus, parques. Um bom exemplo é o jardim geológico

construído ao lado do Museu de História Natural de Boston (Estados Unidos) que privilegia informações sobre diferentes tipos de rochas oriundas de diversos países (Figura 5). No caso do Quadrilátero Ferrífero pode ser dada ênfase especial aos diversos tipos de rochas ferruginosas, associando-as também, com a diversidade de plantas que crescem sobre elas.



Figura 5 (a e b) - Exemplo de um jardim geológico do Museu de História Natural de Boston, EUA. Fotos: Úrsula Ruchkys.

5) MASCOTE DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO

Mascotes são importantes meios de comunicação e também de difusão do conhecimento científico, além de impulsionarem as atividades de turismo (em especial aquelas ligadas aos segmentos de turismo da natureza) e contribuir para identidade das regiões, o uso de mascotes deve ser feito em campanhas educativas, de cidadania, sustentabilidade e de conservação ambiental, envolvendo livros, peças de teatro dentre outros. Para fabricação desses *souvenirs* é fundamental que se utilize mão-de-obra local, permitindo retorno financeiro para as comunidades. Como exemplos de mascotes utilizados para popularização da ciência e educação ambiental podemos citar, dentre outros: basalto do Geoparque da Alemanha; Peri-

patus acacioi, mascote do Geoparque QF; *Proteus*, um morador das cavernas da Eslovênia; a pedra parideira (Geoparque Arouca, Portugal) (Figura 6). O basalto “Willi”, mascote do Geoparque Vulkaneifel, foi inspirado nas rochas típicas daquela região. Utilizando a mascote, são feitos *souvenirs* e peças de divulgação e popularização da ciência, inclusive livros para as escolas do geoparque. A mascote do Geoparque Quadrilátero Ferrífero é o *peiripatus*, um invertebrado pré-histórico, considerado um fóssil vivo por ser um ser intermediário entre as minhocas e as aranhas, tem tentáculos na cabeça e patas laterais parecendo uma lagarta. Ele ocorre na região de Ouro Preto, na Estação Ecológica do Tripuí.



Figura 6 - (a) *Proteus*, mascote da caverna de Postojna, na Eslovênia. (b) Basalto de pelúcia chamado de Willi, mascote do Geoparque Vulkaneifel, na Alemanha. (c) *Peripatus acacioi*, mascote do Geoparque Quadrilátero Ferrífero, utilizado em peças de divulgação e popularização científica. Fotos: (a e b) Úrsula Ruchkys (Projeto CNPq 490259/2011-1) e (c) Desenho de Flavio Fargas - Acervo Geoparque Quadrilátero Ferrífero.

6) MUSEU DO FERRO

Existem vários museus temáticos envolvendo a geodiversidade em todo o mundo. Eles valorizam diferentes elementos em seus espaços expositivos, sendo que vários focam exclusivamente em aspectos relacionados ao valor econômico da geodiversidade como fonte de recursos minerais e/ou energéticos. Alguns exemplos são: o Museu da Geodiversi-

dade no Rio de Janeiro; o Museu Escola Mina do Lou-sal e o Museu do Ferro, ambos em Portugal; o Museu e Mina de Idrija de Mercúrio na Eslovênia. No Qua-drilátero Ferrífero temos museus com foco na geodi-versidade com destaque para o Museu do Ouro em Sabará e o Museu das Minas e dos Metais em Belo Horizonte (Figura 7).



Figura 7 - Itabirito exposto no MM Gerdaui- Museu das Minas e dos Metais com feições dobradas, caracterizado por ricas porções de quartzo (camadas claras) e ricas porções em ferro (camadas escuras). Foto: Leonardo Lopes de Miranda - Acervo do Museu.

O Museu do Ferro, em Portugal, está localizado nas proximidades da Serra do Reboredo e do Vale da Vilariça onde existiu o maior depósito de ferro conhecido e explorado da Europa desde a época romana. Foi criado para promover o conhecimento e a divulgação do patrimônio arqueológico e industrial do território, dos povoados e das comunidades, com particular destaque para as atividades relacio-

nadas com a exploração do ferro (www.torredemoncorvo.pt/museu-do-ferro). Também em Portugal, se encontra a Mina de Ciência do Lousal, uma antiga aldeia mineira na região de Grândola. A inauguração do espaço expositivo ocorreu em 2010, os visitantes têm oportunidade de conhecer percurso de visitaçao ao longo da área mineira (www.lousal.cienciaviva.pt/home/).

O Museu e Mina do Mercúrio de Idrija, na Eslovênia, conta com uma exposição sobre minerais e rochas associadas ao mercúrio, bem como materiais antigos usados na mina (www.slovenia.info). O depó-

sito de minério se localiza abaixo do centro da cidade e se estende por 1.500 metros na direção N-W e S-E, com 450 metros de profundidade, parte da mina está preparada para visitação turística (Figura 8).



Figura 8 - (a) Exposição dentro da Mina de Idrija na Eslovênia com bonecos simulando diferentes ambientes de trabalho. (b) Exposição de vários vasilhames utilizados para transportar o mercúrio (retirado da mina no estado líquido). Fotos: Úrsula Ruchkys (Projeto CNPq 490259/2011-1).

7) VISITA E REALIDADE VIRTUAL: PALEOTOCA DA SERRA DO GANDARELA E CAVERNAS DE FERRO

Visitas virtuais, principalmente em museus, têm sido utilizadas como importantes meios de comunicação que aproveitam o desenvolvimento comunicacional e tecnológico. Muchado (2005) salienta que estas visitas facilitam a transmissão da mensagem pretendida além de captar a atenção do visitante por meio de uma experiência estética que simula a realidade. Para a autora essa é uma visita essencialmente sem fronteiras, capaz de criar um diálogo virtual com o visitante, oportunizando um contato interativo com o patrimônio. No caso de cavidades em ferro, que são muito pequenas quando comparadas com as que ocorrem em rochas carbonáticas, bem como da paleotoca da Serra do Gandarela (apresentada por Bittencourt et al. nesta obra), visitas virtuais podem ser um importante meio de fruição deste patrimônio.

Visitas virtuais a cavernas já acontecem. No Japão o Google Street View, fez o mapeamento fotográfico da caverna de Akiyoshi-do e de uma antiga mina, que hoje podem ser visitadas de qualquer parte do mundo (www.karstportal.org/

[FileStorage/Conexao_Subterranea/95.pdf](#)). A famosa caverna de Lascaux na França, com maravilhosas pinturas rupestres, também pode ser visitada virtualmente. No Brasil, Custodio et al. (2013) desenvolveram uma visita virtual para a caverna Toca da Raposa, no Estado do Sergipe. Os autores construíram um recurso audiovisual com imagens panorâmicas em *QuickTime Virtual Reality* (QTVR) e esterofotografias. A realidade virtual também pode ser utilizada: em uma pequena sala com projetor tridimensional proporcionando visão em 3D. Pode se fazer um modelo tridimensional de uma cavidade em rochas ferruginosas e da paleotoca da Serra do Gandarela. Essa tecnologia já é utilizada no centro de Ciência Viva do Lousal, em Portugal.

Esse conjunto de “oportunidades” focadas na geodiversidade, em especial aquelas associadas às formações ferríferas e canga, poderiam ser viabilizadas por meio de compensação ambiental ajudando a equilibrar a relação entre uso e conservação dessas rochas.

É uma forma de integrar todo o território do Quadrilátero Ferrífero por seus valores patrimoniais, além de contribuir para melhorar a imagem do setor mineral. A geodiversidade representa um potencial insuficientemente utilizado, cujo uso se poderia potencializar de maneira importante em

duplo sentido: proteger o legado científico e patrimonial para as gerações futuras; utilizar a proteção e potencialização desse patrimônio como base para melhorar a sustentabilidade de outras atividades, contribuindo para o desenvolvimento econômico da região.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Acredita-se que o modelo de desenvolvimento adotado na região tem superexplorado os recursos naturais e contribuído para destruir uma parcela significativa daquilo que faz seu patrimônio único e diferenciado: as rochas ferruginosas. A conservação de sítios espeleológicos e de afloramentos de canga

e itabirito, bem como sua gestão, num modelo de geoparque, pode ser uma saída para permitir a integração do uso econômico da geodiversidade e de sua conservação. Longe de ser uma responsabilidade para o setor extrativo pode servir como oportunidade para um legado positivo da mineração.

REFERÊNCIAS

- CUSTÓDIO, D.; DANTAS, M.A.T.; PRATA, C.R.D.; MORATO. Conhecendo as cavernas de Sergipe - Toca da Raposa. O turismo em cavernas como instrumento didático-inclusivo. In: RASTEIRO, M.A.; MORATO, L. (Orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 32, 2013. Barreiras. *Anais...* Campinas: SBE, 2013. p.175-183. Disponível em:<www.cavernas.org.br/anais32cbe/32cbe_175-183.pdf>. Acesso em: abr. 2014.
- ESCHWEGE, W.L. v. Notícias, reflexões estatísticas a respeito da província de Minas Gerais. Lisboa: 1825. Extratcted from Memórias da Academia de Ciencias de Lisboa, IX, pt. 1.
- GRAY, M. Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature. Chichester: Willey, 2004. 434 p.
- MANSUR, K. L. *Diretrizes para geoconservação do patrimônio geológico do estado do Rio de Janeiro: o caso do domínio tectônico Cabo Frio*. 2010. 214 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- MIRANDA, M. P. S. Mineração em áreas de ocorrência de patrimônio espeleológico. *Revista do Ministério Público de Minas Gerais*, Belo Horizonte, Ed. Espec. Mineração, p. 53-60, 2012.
- MOURÃO, M. A. A. M. *Caracterização hidrogeológica do aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG*. 2007. 297f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- MUCHADO, R. Museus virtuais: A importância da usabilidade na mediação entre o público e o objecto museológico. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA A COMUNICAÇÃO, 4, 2005. *Livro de actas...* Aveiro, 2005.
- RODRIGUES, D. S. *Cum mente et malleo: a ciência na escrita de Claude-Henri-Gorceix (1874-1871)*. 2010. 140f. Dissertação (Mestrado em História) - Programa de Pós-Graduação em História, Instituto de Ciências Humanas e Sociais da Universidade Federal de Ouro Preto, Mariana, 2010.
- RUCHKYS, U. A. de. *Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: potencial para a criação de um geoparque da UNESCO*. 2007. 211 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/MPBB-76LHEJ> Acesso em: abr. 2014.
- SCHOBENHAUS, C. & SILVA, C. O papel do Serviço Geológico do Brasil na criação de geoparques e na conservação do patrimônio geológico. In: Schobbenhaus, C. & Silva, C.R (Eds.). *Geoparks do Brasil- Propostas*. Rio de Janeiro: CPRM, v.1, p. 29-38, 748p. 2012.
- UNESCO. *Global Network of National Geoparks*. Paris, 1999.

PANORAMA DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO



MANUELA CORRÊA PEREIRA

Universidade Federal de Minas Gerais

ÚRSULA DE AZEVEDO RUCHKYS

Universidade Federal de Minas Gerais

ERIC OLIVEIRA PEREIRA

Universidade Federal de Minas Gerais



INTRODUÇÃO

A grande frequência de cavidades em rochas carbonáticas direcionou a maior parte dos estudos espeleológicos no Brasil para áreas com esses tipos de rochas. No entanto, desde os anos 2000, as atividades de mineração de ferro tiveram um aumento significativo, o que tem levado a necessidade do levantamento do patrimônio espeleológico associado a rochas ferruginosas, conforme salientam Auler e Piló (2005) e Pereira (2012). Assim, embora as rochas ferruginosas já constituíssem um dos temas mais estudados mundialmente, com várias publicações na literatura nacional e internacional, a abordagem sob a ótica do patrimônio espeleológico é relativamente recente.

Diante desse contexto, este capítulo tem como objetivo apresentar um panorama da distribuição das cavidades naturais subterrâneas em rochas ferruginosas, no Quadrilátero Ferrífero (QF). Como parâmetros para análise espacial dessa distribuição utilizou-se: os municípios, os distritos espeleológicos (unidades geomorfológicas) no contexto da província espeleológica Quadrilátero Ferrífero (OLIVEIRA et al., 2011), e as áreas protegidas. Os próximos capítulos desta obra, em especial o capítulo intitulado *Áreas prioritárias para geoconservação do patrimônio espeleológico em rochas ferruginosas do Quadrilátero Ferrífero*, darão sequência ao tema, indicando áreas prioritárias para conservação, bem como metas e encaminhamentos para gestão adequada desse patrimônio.

Para realização do diagnóstico, foi necessário organizar um banco de dados com as coordenadas das cavidades disponíveis em: bases públicas de cavernas, estudos e relatórios de licenciamento ambiental, trabalhos acadêmicos na área de espeleologia e informações de espeleólogos e gestores de Unidades de Conservação. Ressalta-se que, apesar de existirem cavidades em outras litologias no Quadrilátero Ferrífero, especialmente em quartzito e dolomito, foram contempladas apenas as cavidades que possuem a sua gênese atrelada aos FFB¹ e cangas.

Os bancos de dados de cavernas consultados foram: o CANIE (Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas)² elaborado pelo CECAV (Centro Nacional de Pesquisas e Conservação de Cavernas) unidade vinculada ao ICMBIO (Instituto Chico Mendes de Biodiversidade) e o CNC (Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil) elaborado pela SBE (Sociedade Brasileira de Espeleologia). Além disso, foram utilizados dados decorrentes de Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e dados de pesquisas acadêmicas. Abaixo seguem as referências que alimentaram o banco de cavernas utilizado neste capítulo e no capítulo intitulado *Áreas prioritárias para geoconservação do patrimônio espeleológico em rochas ferruginosas do Quadrilátero Ferrífero* (Figura 1).

Base de dados (Fonte)	Área amostrada
Pereira (2012)	Serra da Piedade
CANIE-CECAV-ICMBio	Todo o Quadrilátero Ferrífero
Campello et al. (2012)	Serra de Itatiaiuçu
Campello e Haddad (2011)	Serra de Itatiaiuçu
SBE	Todo o Quadrilátero Ferrífero
Carste Consultores Associados (2009) Projeto Mina Apolo	Serra do Gandarela
SUPRAM (2012) Parecer referente ao Licenciamento Ambiental da Mina Viga	Congonhas
SUPRAM (2012) Parecer referente ao Licenciamento Ambiental do Complexo Alegria	Ouro Preto e Mariana
Spelayon Consultoria (2012) Análise de relevância de cavidades da Mina Viga	Congonhas
Carste Consultores Associados (2013) Projeto Várzea do Lopes	Itabirito

Figura 1: Bases de dados utilizadas para ocorrência de cavidades naturais subterrâneas.

PANORAMA DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

Dos levantamentos sobre a existência de cavidades disponíveis, incluindo o banco de dados do CECAV e os trabalhos citados anteriormente, pode-se conhecer, em parte, o universo das cavidades associadas às rochas ferruginosas do Quadrilátero Ferrífero. Foram computadas 711 cavidades nesse tipo de rocha (Figura 2), a maior parte dessas ocorrências está associada aos patamares altimétricos mais elevados, tanto nos itabiritos quanto nas cangas, e no contato entre essas duas litologias. É importante ressaltar que esse número deve ser bem maior, já que boa parte das cavidades é descoberta por meio de estudos para o licenciamento ambiental, reali-

zados por empresas de mineração e, muitos deles, não estão disponíveis para consulta, não tendo sido, portanto, consideradas na organização desta base de dados. Tal fato justifica a diferença do número de cavidades tratada neste capítulo e no capítulo intitulado *Geoespeleologia das cavernas em rochas ferríferas: aspectos dimensionais, morfológicos, hidrológicos e sedimentares*. Além disso, vale ressaltar, novamente, que neste capítulo foram computadas apenas as cavidades desenvolvidas em rochas ferruginosas. Logo, cavidades que tem como substrato rochas como dolomito e quartzito, não foram contempladas no banco de dados deste capítulo.

Distrito espeleológico	Municípios total ou parcialmente abrangidos	Áreas protegidas presentes	Número de cavernas por distrito espeleológico - Pereira et al. (2014)	Número de cavernas por distrito espeleológico - Callux e Cassimiro (2014)
Serra da Piedade	Caeté, Sabará, Santa Luzia	MONA Serra da Piedade, APA Águas Serra da Piedade, APA Descoberto, RPPN AngloGold Ashanti-Cuibá	52	100
Serras do Curral-Rola Moça	Belo Horizonte, Brumadinho, Ibirité, Mário Campos, Nova Lima, Sabará, Sarzedo	APE Rola-Moça e Bálamo, APE Mutuca, APE Barreiro, APE Taboão, RPPN Minas Tênis Clube, PAR Baleia, APE Fechos, PAR Aggeo Pio Sobrinho, PAR Mangabeiras, PAR Serra do Rola Moça, RPPN Mata do Jambreiro, APE Cercadinho, ESEC Cercadinho, APE Catarina, APA Sul RMBH	61	75
Serra da Moeda	Belo Vale, Brumadinho, Congonhas, Itabirito, Moeda, Nova Lima, Ouro Preto, Rio Acima	ESEC Fechos, APE Mutuca, APE Catarina, APE Fechos, RPPN Fazenda João Pereira/Poço Fundo, APA Sul RMBH, ESEC Aredes, MONA Serra da Moeda, REBIO Campos Rupestres de Moeda Norte, REBIO Campos Rupestres Moeda Sul, APE Ouro Preto/Mariana, MONA Mãe D'água, MONA Pico do Itabirito	155	100
Serra Azul	Brumadinho, Igarapé, Itatiaiuçu, Itaúna, Mateus Leme, São Joaquim de Bicas	APE Rio Manso, APA Igarapé, APE Serra Azul, RPPN Inhotim	61	21
Morraria de Dom Bosco	Ouro Preto	PE Serra do Ouro Branco, APE Ouro Preto/Mariana, RPPN Vale Verde	0	40
Serra do Gandarela	Barão de Cocais, Caeté, Itabirito, Raposos, Rio Acima, Santa Bárbara, São Gonç. do Rio Abaixo	APA Sul RMBH *	304	530
Escarpa Oriental do Caraça	Alvinópolis, Catas Altas, Mariana, Ouro Preto	APA Sul RMBH, APE Ouro Preto/Mariana, RPPN Quebra Ossos	67	90

Figura 2: Tabela com os distritos espeleológicos, os municípios, as áreas protegidas e o total de cavernas por distrito do Quadrilátero Ferrífero. * O Parque Nacional da Serra do Gandarela não entrou nesta análise, tendo em vista que o seu decreto de criação é posterior ao momento de redação deste capítulo

AS CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS E SUA RELAÇÃO COM OS MUNICÍPIOS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

O Quadrilátero Ferrífero localiza-se na porção sudeste de Minas Gerais e é composto por 30 municípios: Barão de Cocais, Belo Horizonte, Belo Vale, Betim, Brumadinho, Caeté, Catas Altas, Congonhas, Conselheiro Lafaiete, Ibirité, Igarapé, Itabira, Itabirito, Itatiaiuçu, Itaúna, Jeceaba, João Monlevade, Mariana, Mário Campos, Mateus Leme, Moeda, Nova Lima, Ouro Preto, Raposos, Rio Acima, Rio Manso, Rio Piracicaba, Sabará, Santa Bárbara, Santa Luzia, São Gonçalo do Rio Abaixo e São Joaquim das Bicas (Figura 3).

Dos 30 municípios, apenas 18 possuem cavidades naturais subterrâneas cadastradas em rochas

ferruginosas (Figura 4). Esta distribuição é decorrente da presença de itabiritos e cangas que sustentam os topos das serras. Nessas áreas também se concentram as atividades minerárias que têm seu licenciamento condicionado à elaboração e aprovação de EIAs/RIMAs³, onde os levantamentos espeleológicos são obrigatoriamente contemplados, o que acaba por abastecer os bancos de dados oficiais e não oficiais de cavidades. O próximo capítulo deste livro abordará a relação das cavidades com os títulos minerários, que tratam da autorização de pesquisa e concessão de lavra de futuros empreendimentos minerários.

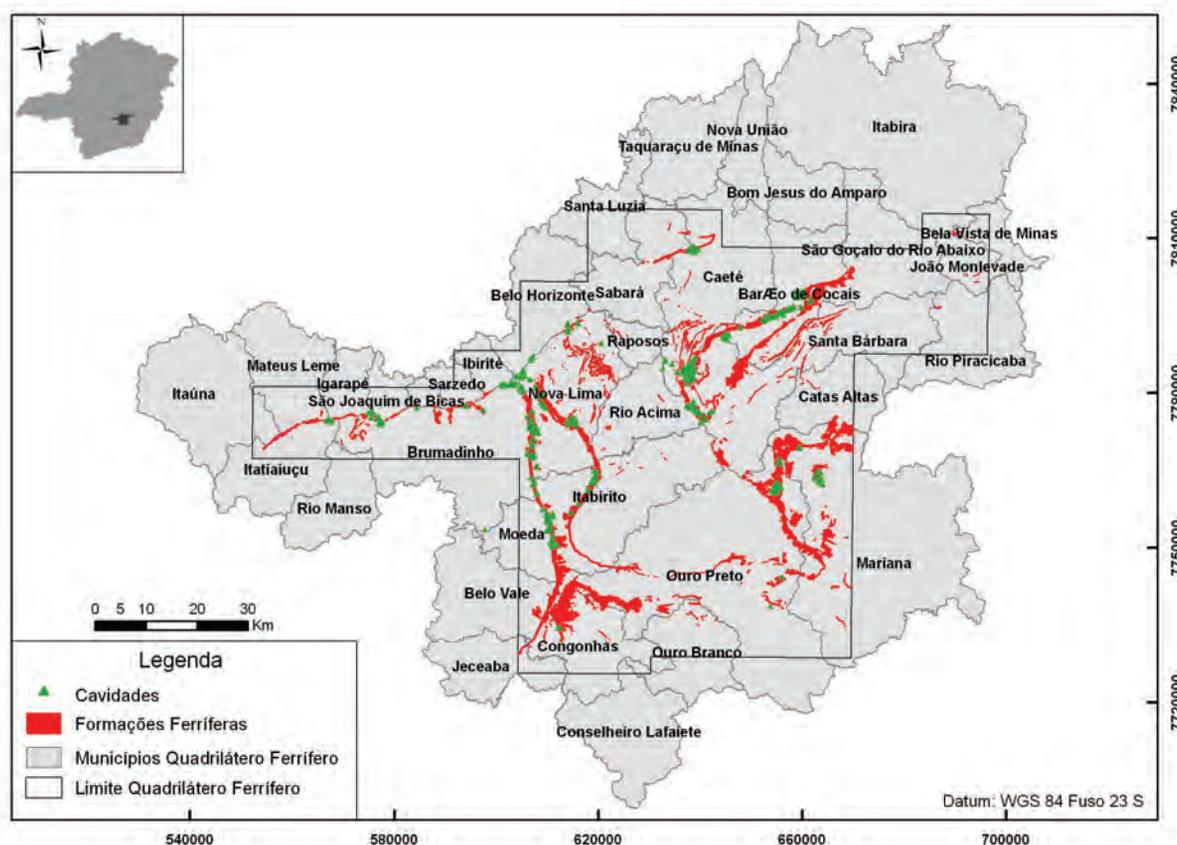


Figura 3: Mapa que contextualiza as cavidades naturais subterrâneas em rochas ferruginosas nos municípios do Quadrilátero Ferrífero. Fonte de dados: CODEMIG (formações ferríferas), IGA (municípios) e base de dados de cavidades da Figura 1.

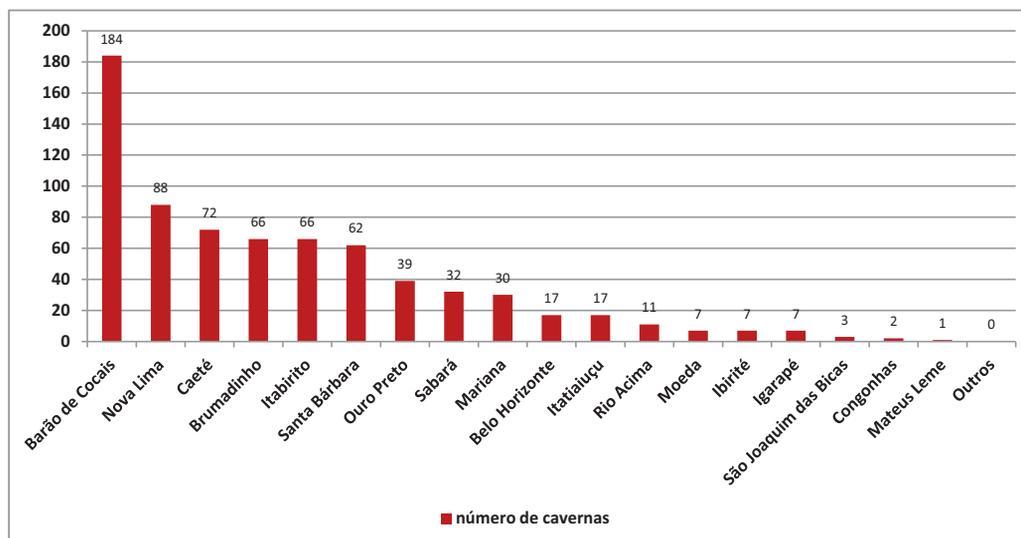


Figura 4: Gráfico com o número de cavidades naturais subterrâneas cadastradas em rochas ferruginosas e sua relação com os municípios do Quadrilátero Ferrífero.

A partir da análise das Figuras 3 e 4, considerando os dados disponíveis, o município que possui a maior concentração de cavidades é Barão de Cocais (184 cavernas), seguido por Nova Lima (88 cavernas) e Caeté (72 cavernas). O município de Barão de Cocais é, em parte, geologicamente caracterizado pelos itabiritos da Formação Cauê e pela canga, ambos localizados nos patamares altimétricos intermediários da Serra do Gandarela. Em Nova Lima, as cavidades se concentram nas cristas ferruginosas da Serra da Moeda, Serra do Rola Moça e da Serra do Curral (Figuras 5 e 6). O terceiro município que abar-

ca o maior número de cavidades é Caeté, onde estão concentradas nas cristas ferruginosas da Serra da Piedade (Figura 7-a e 7-b).

O conhecimento desse maior número de cavidades nesses municípios se deve, em parte, aos levantamentos espeleológicos realizados para as atividades minerárias, este é o caso da Serra do Gandarela e da Serra do Curral. Já na Serra do Rola Moça e na Serra da Piedade foram realizados estudos acadêmicos em nível de mestrado e monografias de final de curso que contribuíram para o conhecimento dessas cavernas.



Figura 5: Vista panorâmica das cristas da Serra do Curral, limite natural dos municípios de Nova Lima (à oeste) e Belo Horizonte (à leste). Na porção oeste visualiza-se a área degradada pela antiga mina de Águas Claras, que impacta a paisagem de um dos principais cartões postal belo-horizontino: a Serra do Curral. Foto: Alice Okawara



Figura 6: Vista panorâmica das cristas da Serra do Rola Moça. Parte desta serra está protegida pelo Parque Estadual Serra do Rola Moça, situado nos municípios de Belo Horizonte, Nova Lima, Ibirité e Brumadinho. Foto: Evandro Rodney (Instituto Estadual de Florestas).

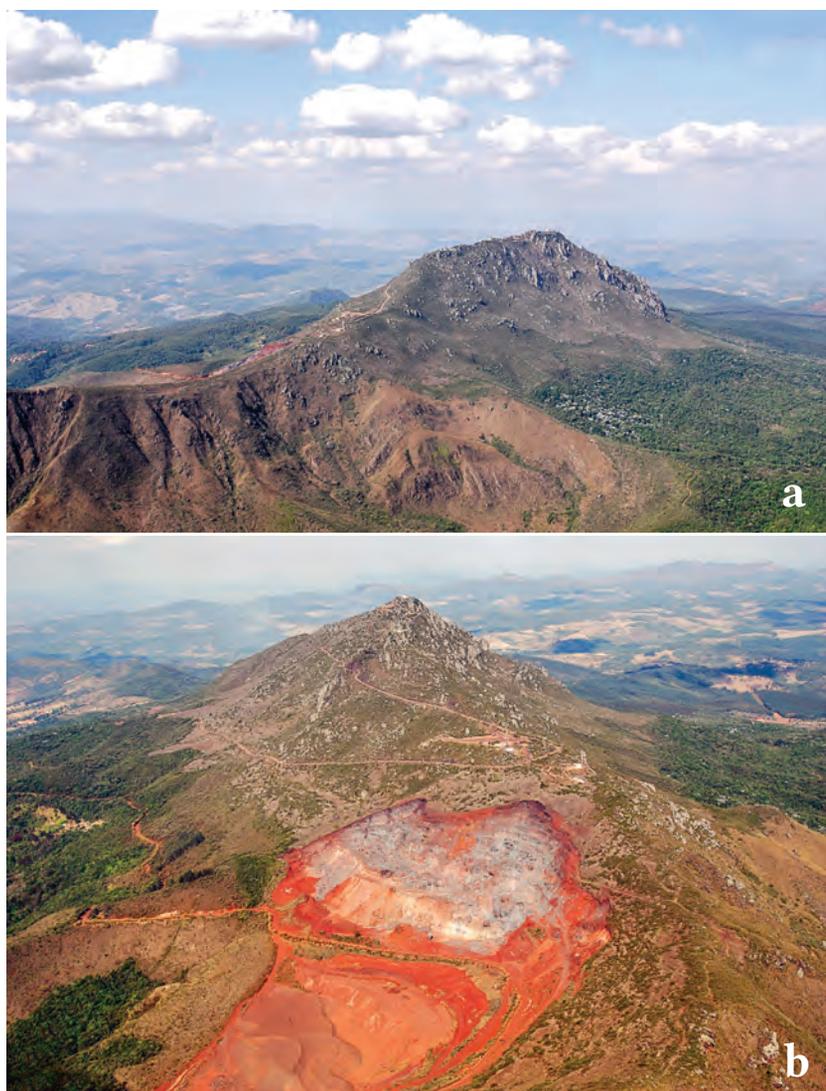


Figura 7: A Serra da Piedade, localizada nos municípios de Caeté e Sabará, está parcialmente protegida pela APA Municipal Águas da Serra da Piedade, pelo Monumento Natural Estadual Serra da Piedade e por tombamentos de caráter federal, estadual e municipal. (a) Vista panorâmica da vertente sul da Serra da Piedade, vertente onde está localizada grande parte das áreas legalmente protegidas desta Serra. (b) Vista panorâmica da vertente norte da Serra da Piedade, vertente impactada pela mineração e que possui a estrada de acesso ao complexo do Santuário da Serra da Piedade. Fotos: Alice Okawara

DISTRITOS ESPELEOLÓGICOS DA PROVÍNCIA ESPELEOLÓGICA QUADRILÁTERO FERRÍFERO E SUA RELAÇÃO COM AS CAVIDADES NATURAIS

Oliveira et al. (2011) delimitaram as unidades geomorfológicas do Quadrilátero Ferrífero baseando-se na interpretação de mapas geológicos, geomorfológicos, topográficos, hipsométricos e imagens de satélite. Para este capítulo, utilizaram-se, de maneira adaptada, os critérios adotados no trabalho supracitado, além disso, as unidades geomorfológicas serão tratadas como distritos espeleológicos. Foram consideradas as seguintes unidades geomorfológicas/distritos espeleológicos: Serra Azul, Serra da Piedade, Serra do Gandarela, Escarpa

Oriental do Caraça, Morrarias de Dom Bosco, Serra de Ouro Preto-Antônio Pereira. A unidade/distrito denominada Quadrilátero Oeste, será aqui tratada em dois distritos distintos: Serras do Curral-Rola Moça; e Serra da Moeda, envolvendo além da serra, o sinclinal homônimo. O quadro da Figura 8 apresenta como os autores interpretam a classificação das unidades geomorfológicas e distritos espeleológicos, originalmente proposto por Oliveira et al. (2011) e apresentados de forma adaptada neste livro por Callux e Cassimiro e por Pereira et al.

Oliveira et al (2011) Unidades Geomorfológicas	Callux & Cassimiro (2014) Distritos Espeleológicos	Pereira et al (2014) Distritos Espeleológicos
Serra da Piedade	Serra da Piedade	Serra da Piedade
Quadrilátero Oeste	Serra do Curral/Serra da Moeda/ Serra do Rola Moça/Serra do Itabirito	Serras do Curral-Rola Moça/ Serra da Moeda
Serra Azul	Serra Azul	Serra Azul
Morrarias de Dom Bosco	Miguel Burnier	Morrarias de Dom Bosco
Serra Gandarela	Sinclinal Gandarela	Serra Gandarela
Serra de Ouro preto	Serra de Ouro Preto	Serra de Ouro Preto
Escarpa Oriental do Caraça	Serra Antônio Pereira	Escarpa Oriental do Caraça
João Monlevade	XXXXXXX	João Monlevade

Figura 8: Quadro que compara o modo como os autores classificaram as unidades geomorfológicas e os distritos espeleológicos

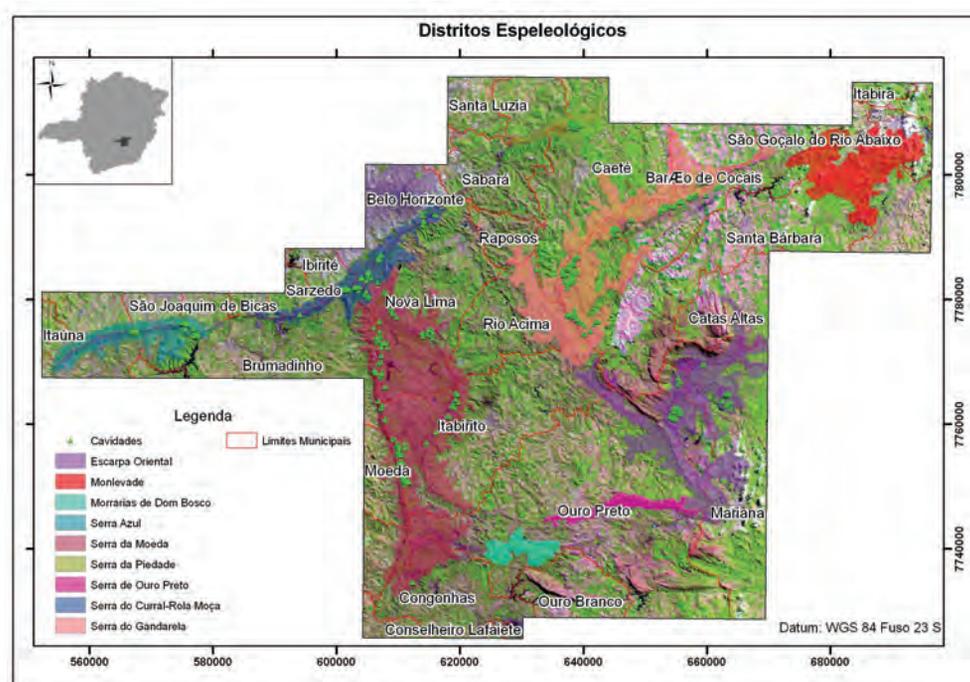


Figura 9: Distritos espeleológicos na unidade espeleológica Quadrilátero Ferrífero. Fonte de dados: Adaptado pelos autores de Oliveira et al. (2011), IGA (municípios) e base de dados de cavidades da Figura 1.

Dos 9 distritos espeleológicos delimitados, somente 6 distritos possuem cavernas cadastradas em rochas ferruginosas: Serra do Gandarela, Serra da Moeda, Serra Azul, Escarpa Oriental, Serra da Piedade e Serras do Curral-Rola Moça (Figuras 9 e 10-a). Além disso, do total de 711 cavernas, 11 cavernas estão situadas fora dos limites dos distritos espeleológicos (Figura 10-a). Estas últimas cavernas podem ter sido formadas por blocos de rochas ferruginosas fruto do coluvionamento da canga e/ou do itabirito situados nos patamares altimétricos mais elevados. Outra hipótese de gênese seria que essas cavernas se desenvolvessem em carapaças ferruginosas pouco expressi-

vas, portanto não mapeável para escala tratada neste capítulo.

A Serra do Gandarela concentra o maior número de cavidades do Quadrilátero Ferrífero, seguida pela Serra da Moeda (Figura 10-b). Assim como nos municípios, os distritos espeleológicos que apresentam maior interesse/intensidade de atividades mineárias são os que concentram maior quantidade de cavidades. Apesar dos impactos ambientais e sociais causadas por esta atividade⁴, ela contribui para o conhecimento do Patrimônio Espeleológico, por meio do cumprimento da legislação ambiental pertinente, que demanda a elaboração de estudos e levantamentos espeleológicos.

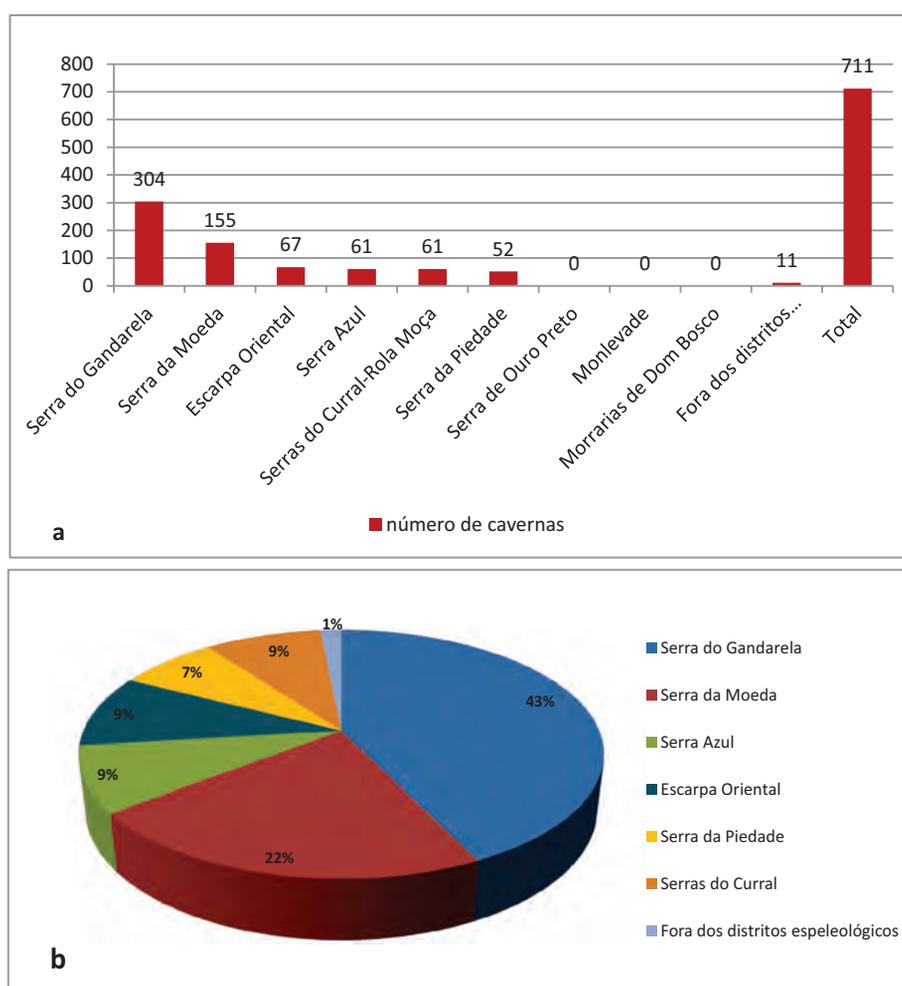


Figura 10 (a e b): Gráficos demonstrativos da relação das cavidades com os distritos espeleológicos do Quadrilátero Ferrífero.

De modo geral, as cavernas em rochas ferruginosas estão localizadas nas bordas dos platôs de canga. Na Serra do Gandarela, grande parte das cavidades está localizada na média vertente, nas bordas do planalto dissecado de canga e inserida na base de afloramentos das formações ferríferas (Carste Consultores, 2009). As cavernas em rochas ferruginosas do Parque Estadual Serra do Rola Moça, que está no distrito espeleológico Serra Curral-Rola Moça, estão todas localizadas nas bordas dos platôs de canga desta Unidade de Conservação (STAVALE, 2007). Diferente das cavidades dos distritos espeleológicos supracitados, grande parte das cavernas do distrito espeleológico Serra da Piedade não está localizada nas bordas dos platôs de canga, já que a maioria das cavidades cadastradas nesta unidade não foi formada *in situ* -por processos endógenos- (Figura 11) (PEREIRA, 2012). Essas cavidades foram formadas por meio da queda de matacões de itabirito que formaram vazios e são classificadas pela literatura como cavidades em tálus (Figura 12) (PALMER 2009).

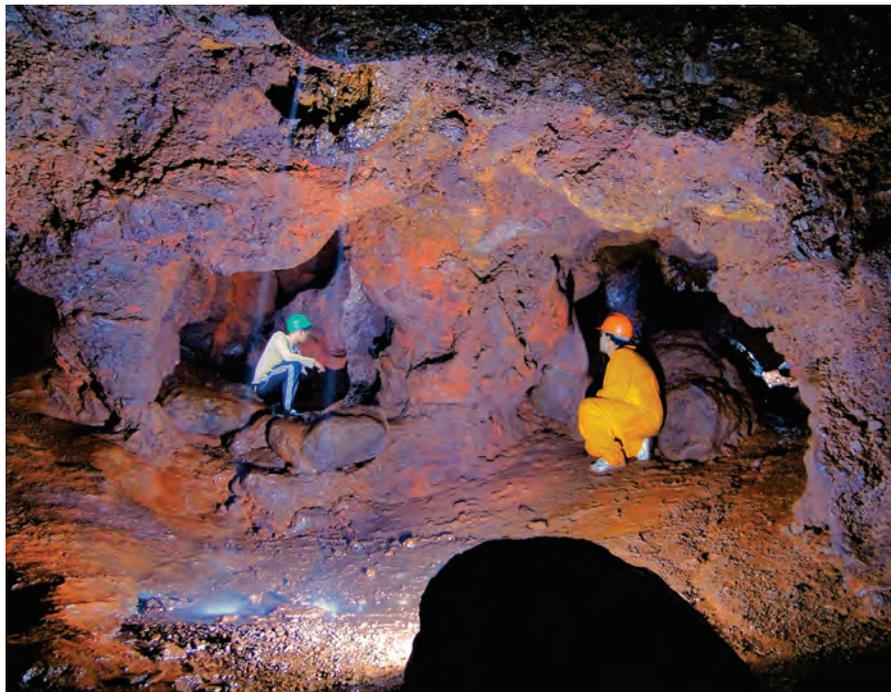


Figura 11: Gruta do chuveirinho, cavidade localizada na unidade de relevo “platô inferior” da Serra da Piedade. Foto: Luciano Faria



Figura 12: Gruta do Eremita, caverna religiosa localizada na unidade de relevo “escarpa norte” da Serra da Piedade. Foto: Luciano Faria

AS ÁREAS PROTEGIDAS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO E SUA RELAÇÃO COM AS CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS

O Quadrilátero Ferrífero possui 71 áreas protegidas (Figura 13). Essas áreas protegidas podem ser diferenciadas em 2 tipologias: Unidades de Conservação (UCs) e Áreas de Proteção Especial (APEs). As Unidades de Conservação são áreas protegidas regulamentadas pela Lei Federal 9.985 de 2000 que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Essas Unidades podem ser diferenciadas em: de proteção integral, que objetiva a preservação integral dos recursos naturais; e de uso sustentável, que objetiva a conservação com o manejo controlado dos recursos (CAMARGOS, 2001). Já as Áreas de Proteção Especial (APEs) foram pela primeira vez mencionadas na Lei nº 6.766 de 1979, que trata do parcelamento do solo urbano. Esta Lei facultou aos Estados, através de Decreto, a definição destas áreas com o objetivo de proteger os mananciais, o patrimônio cultural, histórico, paisagístico e arqueológico (MIRANDA, 2006).

Das 71 áreas protegidas do Quadrilátero Ferrífero, 11 são APEs, 25 são UCs de proteção integral e 35 UCs de uso sustentável. As Unidades de proteção integral se diferenciam nas seguintes categorias de manejo: 14 Parques (PARs), 5 Monumentos Naturais (MONAs), 4 Estações Ecológicas (ESECs) e 2 Reservas Biológicas (REBIOS) (Figura 13). Já as Unidades

de uso sustentável se diferenciam em: 24 Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs), 10 Áreas de Proteção Ambiental (APAs) e 1 Floresta Estadual (Figura 14).

Embora boa parte do Quadrilátero Ferrífero esteja em uma Unidade de Conservação - a APA Sul e, praticamente, totalmente inserido na Reserva da Biosfera do Espinhaço, ambas são consideradas de uso direto, onde são permitidas atividades como mineração, pecuária e/ou agricultura desde que se desenvolvam com o compromisso da sustentabilidade. Essa categoria de unidade de conservação em sua concepção não consegue garantir a conservação integral do patrimônio natural, incluindo o patrimônio espeleológico.

As Unidades de Conservação da tipologia proteção integral e as reservas particulares do patrimônio natural (RPPNs) são as únicas que, legalmente, garantem de forma mais efetiva a conservação do patrimônio espeleológico. No Quadrilátero Ferrífero, essa conservação é garantida por meio da criação de 24 RPPNs e 25 UCs de proteção integral, tais como: Parques, Monumentos Naturais, Reservas Biológicas e Estações Ecológicas (Figuras 13 e 14).

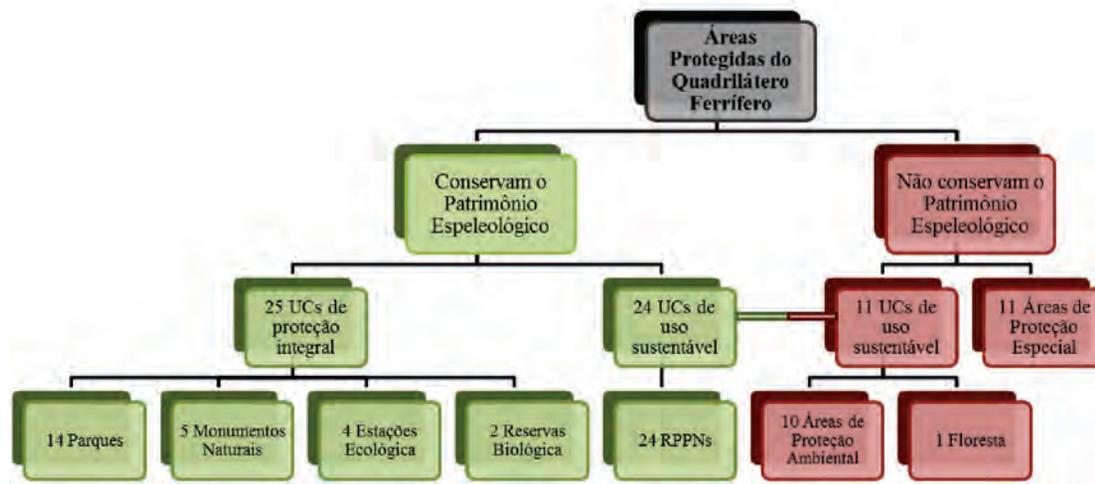


Figura 13: Fluxograma indicando a relação de conservação do patrimônio espeleológico do Quadrilátero Ferrífero com a tipologia de área protegida.

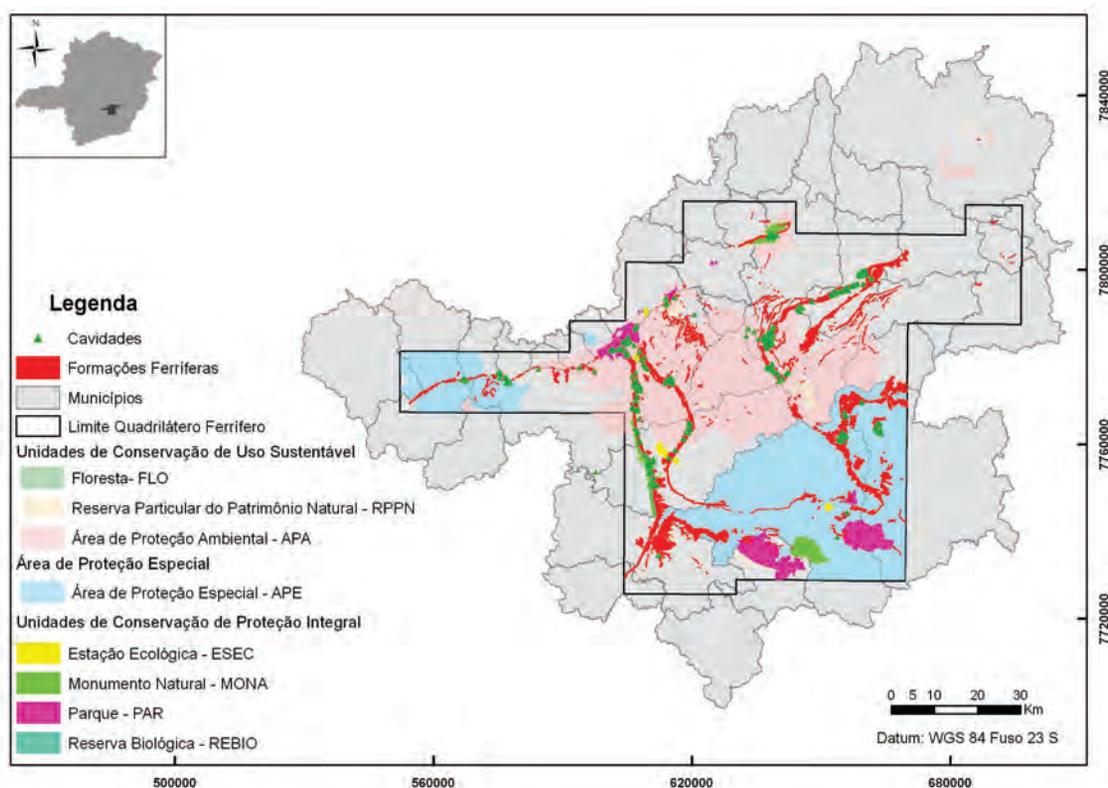


Figura 14: Mapa que contextualiza as cavernas em rochas ferruginosas nas áreas protegidas do Quadrilátero Ferrífero. Fonte de dados: CODEMIG (formações ferríferas), IGA (municípios), IEF (áreas protegidas) e base de dados de cavernas da Figura 1.

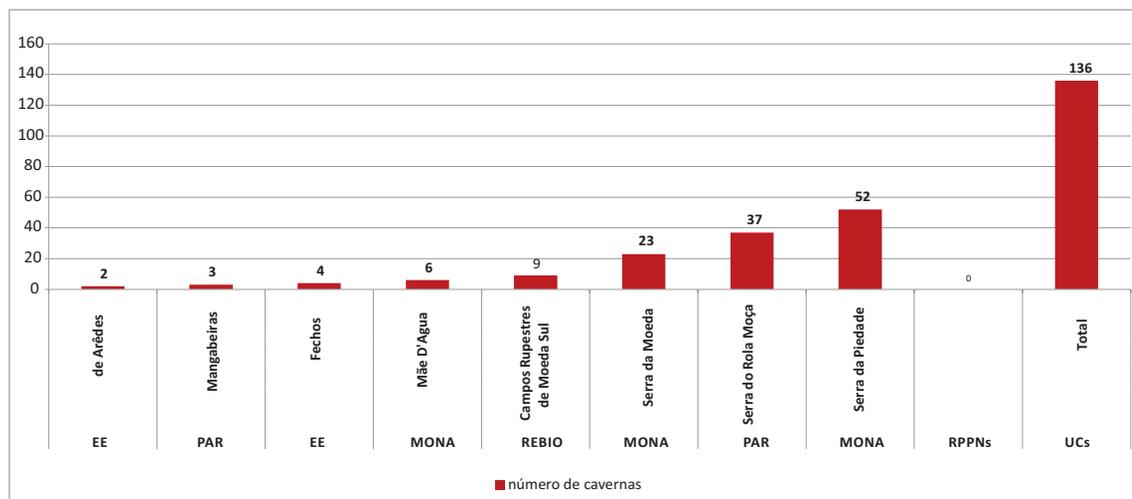


Figura 15: Gráfico com o número de cavidades naturais subterrâneas e sua relação com as Unidades de Conservação que garantem a conservação do patrimônio espeleológico do Quadrilátero Ferrífero.

Das 711 cavidades cadastradas no Quadrilátero Ferrífero, 136 cavernas estão legalmente protegidas por estarem localizadas em Unidades de Conservação da modalidade proteção integral (Figuras 13 e 14). As Unidades que se destacam pela quantidade de cavernas são: o Monumento Natural Estadual Serra da Piedade, o Parque Estadual Serra do Rola Moça e o Monumento Natural Estadual Serra da Moeda (Figura 13). Nenhuma cavidade foi cadastrada na categoria de manejo RPPN (Figura 15), tal fato pode ser justificado pela falta de incentivo de estudos espeleológicos nos Planos de Manejo dessa categoria de unidade de conservação.

O número real de cavidades localizadas em UCs de proteção integral e RPPNs pode ser bem superior aos números apresentados neste capítulo. Desse modo, deve-se incentivar medidas legais que objetivem o levantamento e conhecimento do patrimônio espeleológico em Unidades de Conservação. A partir do momento no qual se conhece esse patrimônio, é possível estabelecer políticas públicas que visem não somente à proteção, mas também à pesquisa, à educação ambiental e ao turismo nessas cavidades que compõem o patrimônio espeleológico do Quadrilátero Ferrífero.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo buscou-se realizar um panorama do patrimônio espeleológico do Quadrilátero Ferrífero. Desse modo, por meio da espacialização das cavidades naturais subterrâneas cadastradas em rochas ferruginosas, foi possível constatar a dinâmica da distribuição dessas cavidades em âmbito dos municípios, das unidades geomorfológicas e das áreas protegidas.

Espera-se que em âmbito municipal, as análises da espacialização dessas cavidades contribuam, ao informar às prefeituras, sobretudo às secretarias de meio ambiente e turismo, sobre a existência e importância desse patrimônio. Além da esfera executiva municipal, também espera-se que essas análises sejam compreendidas e utilizadas como referência por ONGs, educadores, empreendimentos localizados nesses municípios, e outros atores interessados nas questões ambientais municipais.

A espacialização das cavidades nos distritos espeleológicos demonstrou que grande parte das cavidades naturais subterrâneas em rochas ferruginosas

cadastradas está localizada em distritos onde estão instalados ou pretende-se instalar empreendimentos minerários. Desse modo, deve-se incentivar levantamentos espeleológicos em áreas que ainda não possuem esse tipo de levantamento. Dentre essas áreas destacam-se os distritos espeleológicos Serra de Ouro Preto e Morrarias de Dom Bosco.

Por fim, a espacialização das cavidades naturais subterrâneas em rochas ferríferas cadastradas nas áreas protegidas evidenciou que das 711 cavernas, apenas 136 estão localizadas em unidades de proteção integral. Tal fato evidencia duas questões: (i) a necessidade de contemplar levantamentos e estudos espeleológicos nos planos de manejo das áreas protegidas do Quadrilátero Ferrífero, para que mais cavidades sejam cadastradas; e (ii) a necessidade de delimitar áreas prioritárias para conservação desse patrimônio, já que, menos de um quinto do patrimônio levantado está situado em unidades de conservação que preveem essa conservação.

¹ Expressão que significa “Formações Bandadas de Ferro”. No Quadrilátero Ferrífero as formações bandadas de ferro correspondem aos itabiritos da Formação Cauê.

² Estes bancos de dados foram consultados durante o mês de maio de 2014.

³ Estudos de Impacto Ambiental e Relatórios de Impacto Ambiental.

⁴ O capítulo intitulado *Os conflitos resultantes da produção de minério de ferro* discorre sobre os impactos e conflitos relacionados à cadeia produtiva do ferro, em especial à mineração no Brasil.

⁵ A base de dados utilizada para a espacialização e contabilização das áreas protegidas do Quadrilátero Ferrífero está disponível no site do Zonamento Ecológico e Econômico do estado de Minas Gerais: www.zee.mg.gov.br.

⁶ As RPPNs são previstas pelo SNUC como uma Unidade de Conservação de uso sustentável. Entretanto, possui objetivos de manejo semelhantes aos de uma Unidade de proteção integral.

⁷ A Lei Nº 9.985/2000 que estabelece o Sistema Nacional de Unidades de Conservação define o Plano de Manejo como um documento técnico mediante o qual, com fundamento nos objetivos de gerais de uma Unidade de Conservação, se estabelece o seu zoneamento e as normas que devem presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS

AULER, A.; PILÓ, L. B. (2005). Introdução às cavernas em minério de ferro e canga. *O Carste*, Belo Horizonte, v.17, n.3, p. 70-72.

BRASIL. *Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979*. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6766.htm> Acesso em: abr. 2014.

BRASIL. *Lei nº 9.985, de 18 julho de 2000*. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.

CAMARGOS, Regina M. F. (2001). *Unidades de Conservação em Minas Gerais*: levantamento e discussão. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 62 p.

CAMPELLO, M. S. HADDAD, E. A. (2011). *Relatório Espeleológico Complementar: Projeto de Ampliação de Serra Azul*. MMX - Grupo EBX Brumadinho, Igarapé e São Joaquim de Bicas, Minas Gerais. Belo Horizonte (não publicado).

CAMPELLO, M.S.; RUCHKYS U.A.; HADDAD, E.A.; MACHADO, M.M.M. (2012). Cavernas Naturais da Pedra Grande de Igarapé – Geossítio de Relevância Espeleológica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, Rio de Janeiro, v. 35, n.1, p. 252-260.

CARSTE CONSULTORES ASSOCIADOS (2009). *Relatório de Espeleologia da Mina Apolo*. EIA RIMA Mina Apolo (não publicado).

CARSTE CONSULTORES ASSOCIADOS (2014). *Diagnóstico espeleológico e análise de relevância das cavidades do projeto Várzea do Lopes, Itabirito, MG*. Belo Horizonte: Carste Consultores Associados, 2013. 235p. (Relatório) Disponível em: <www.institutodocarste.org.br/br/images/stories/docs_08-2013/gerdau/varzea_Lopes.pdf>. Acesso em: abr. 2014.

MIRANDA, M. P. (2006). *Áreas de Proteção Especial: valiosos e pouco conhecidos instrumentos de defesa do meio ambiente do ordenamento urbano e do patrimônio cultural*. Belo Horizonte: Del Rey, p.1-4.

OLIVEIRA, O A. B.; OLIVITO, J. P. R.; RODRIGUES-SILVA, D. (2011). Caracterização da unidade espeleológica e das unidades geomorfológicas da região do Quadrilátero Ferrífero – MG. *Espeleo-Tema*, Campinas, v.22, n.1, p. 61-80. Disponível em: <www.cavernas.org.br/espeleo-tema/espeleo-tema_v22_n1_061-080.pdf>. Acesso em: abr. 2014.

PALMER, A. N (2009). *Cave Geology*. 2.ed. Kansas: Allen Press, 454p.

PEREIRA, M.C. (2012). *Aspectos genéticos e morfológicos das cavernas naturais da Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. 150 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

STÁVALE, Y. O. (2007). *Cavernas em minério de ferro – Quadrilátero Ferrífero – Parque Estadual do Rola Moça*. Monografia (Graduação em Geografia) – Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 57 p.

SPELAYON CONSULTORIA. (2012) *Análise de relevância de cavidades da Mina Viga*, 2012. 307p. (Relatório). Disponível em: <www.cavernas.org.br/deposito/espeleologia_mina_viga_ferrous.pdf>. Acesso em: abr. 2014.

SUPRAM (Superintendência Regional de Regularização Ambiental) (2012). *Parecer único CM Nº 469- 2012. Parecer referente ao Licenciamento Ambiental da Mina Viga*. Disponível em: <www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/URCS_SupramCentral/RioParaopeba/61/8.2-ferrous-pu.pdf> Acesso em: abr. 2014.

SUPRAM (Superintendência Regional de Regularização Ambiental) (2012). *Parecer único CM Nº 488/2012. Parecer referente ao Licenciamento Ambiental do Complexo Alegria*. Disponível em: <www.semad.mg.gov.br/images/stories/URCS_SupramCentral/RioVelhas/60/19.1-samarco.pdf> Acesso em: abr. 2014.

ÁREAS PRIORITÁRIAS
PARA GEOCONSERVAÇÃO DO
PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO
EM ROCHAS FERRUGINOSAS
DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO



ÚRSULA DE AZEVEDO RUCHKYS

Universidade Federal de Minas Gerais

ERIC OLIVEIRA PEREIRA

Universidade Federal de Minas Gerais

MANUELA CORRÊA PEREIRA

Universidade Federal de Minas Gerais



INTRODUÇÃO

O Quadrilátero Ferrífero (QF) é uma das principais províncias metalíferas do Brasil e do mundo com grandes reservas de recursos minerais, com destaque para o ouro, ferro e manganês. Além disto, é conhecido pela ocorrência e extração de rochas ornamentais, notadamente a pedra sabão, e de pedras preciosas como o topázio imperial. A exploração mineira pode ser considerada, historicamente, a principal atividade econômica do QF. Em uma região tão valorizada do ponto de vista econômico como esta, principalmente pela mineração, parece difícil reservar locais para serem protegidos por sua importância científica, didática, ecológica ou turística associados à presença de cavidades naturais subterrâneas que têm sua distribuição associada à ocorrência de rochas ferruginosas, incluindo, nesta designação, formações ferríferas, cangas e minérios de ferro.

Nesse contexto, torna-se urgente e necessária a promoção de um ordenamento do uso e ocupação das terras que leve em conta a existência do patrimônio espeleológico associado às rochas ferruginosas que têm características singulares para diversas áreas do conhecimento científico, para o ensino e mesmo para a apreciação. Para tanto, há de se considerar uma mudança de paradigma na exploração mineral do Quadrilátero Ferrífero, bem como da expansão urbana, buscando definir áreas prioritárias para conservação e formas que permitam a integração do uso econômico com a conservação, já que os recursos da geodiversidade apresentam estes dois vieses: matéria-prima para as atividades humanas e valor patrimonial, o que atesta a necessidade e importância das políticas de conservação da natureza.

A OCORRÊNCIA DE ROCHAS FERRUGINOSAS E AS CAVIDADES

As rochas ferruginosas ocorrem nos altos topográficos, áreas de maior altitude, de várias serras do Quadrilátero Ferrífero que são sustentadas pelos itabiritos capeados por canga. As exceções são as Serras do Cara-

ça e de Ouro Branco, onde o relevo é sustentado por quartzitos. Nas seções topográficas *ab* e *cd* (Figura 1), pode-se ver a relação entre a ocorrência de formações ferríferas e canga e os altos topográficos.

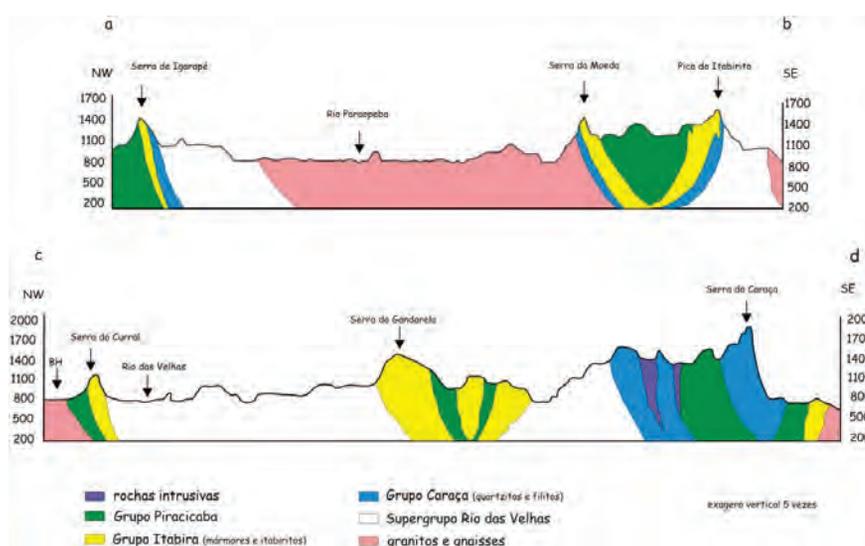


Figura 1 - Seções topográficas: a-b envolvendo a Serra de Igarapé e o Sinclinal Moeda (com a Serra da Moeda e o Pico de Itabirito e, c-d da Serra do Curral a Serra do Caraça passando pela Serra do Gandarela). Desenho: Paulo de Tarso, Fonte: Paulo T. A. Castro (2008), modificado de Dorr (1969) e de Silva (2007).

Assim, na Serra do Curral/Serra Azul (em toda sua extensão), na Serra da Moeda e na Serra do Gandarela, ocorrem rochas ferruginosas.

Sua distribuição restrita e geneticamente associada aos principais depósitos de ferro do país torna esses geossistemas ferruginosos um dos mais ameaçados do Brasil. Por isto, Carmo (2010) sugere que ecorregiões metalíferas devem ser reconhecidas como áreas prioritárias para a

conservação, o que facilitaria a elaboração de políticas públicas apropriadas para esses geossistemas que convivem com diferentes tipos e intensidades de impactos relacionados à exploração mineral. Estes impactos não se restringem somente à cava, mas ao desenvolvimento de todo o processo de extração, incluindo a implementação da planta industrial e o tráfego intenso de maquinário pesado.

CARACTERÍSTICAS DO BANCO DE DADOS DISPONÍVEL

Considerando a base de dados disponível para consulta e, por esta obra centrar na organização de conhecimentos já consolidados, destaca-se que a sugestão de áreas prioritárias deve ser vista apenas como uma contribuição; não pretende determinar o que proteger, mas indicar o que há de importante para orientar a elaboração de Políticas Públicas direcionadas à conservação do patrimônio espeleológico. Além dos dados disponibilizados pela Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE) e consulta ao Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE), desenvolvido pelo Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas do Instituto Chico Mendes (CECAV-ICMBio), foram utilizados dados decorrentes de Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e de pesquisas acadêmicas com destaque

para: Pereira (2012); Campello et al. (2012). Assim, a base de dados final é fruto da compilação de vários estudos cujos dados estão disponíveis e foi a mesma utilizada para compor o capítulo *Panorama do Patrimônio Espeleológico do Quadrilátero Ferrífero* de autoria de Pereira et al..

Em termos amostrais é importante salientar a necessidade de complementação de estudos direcionados ao patrimônio espeleológico do Quadrilátero Ferrífero. Embora exista uma base de dados que contemple a geodiversidade do QF, focada principalmente nas unidades geológicas onde estão seus principais recursos minerais, ouro e ferro, há uma grande lacuna de conhecimento sobre seu patrimônio espeleológico.

AS CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS E OS TÍTULOS MINERÁRIOS

O grande número de títulos minerários de ferro distribuídos na região (Departamento Nacional de Pesquisa Mineral - DNPM, 2014) cobre todas as ocorrências de rochas ferruginosas do Quadrilátero Ferrífero, com exceção da região onde está localizado o Parque Estadual da Serra do Rola Moça. Os títulos envolvem autorização de pesquisa e concessão de lavra, e, embora nem em todas as áreas requeridas a atividade de extração já esteja acontecendo, esses títulos de certa forma “engessam” seu uso futuro.

Como salienta Carmo (2010), essa situação talvez represente uma das maiores dificuldades de

criação de Unidades de Conservação (UCs) de proteção integral para geossistemas ferruginosos, já que em Unidades de Conservação criadas após a outorga do alvará de pesquisa, concessão ou extração da lavra os direitos minerários ficam mantidos podendo ser invalidados somente após o pagamento de indenização pelo Estado.

Soma-se a isso, o fato de que a imposição de restrições para o aproveitamento de reservas minerais pertencentes às empresas mineradoras muitas vezes é vista de forma negativa pelas diversas instâncias do poder público: federais, estaduais, municipais - já que pode trazer prejuízos financeiros em

decorrência da diminuição de arrecadação de impostos em especial ao encargo específico da empresa de mineração. Segundo o site do DNPM:

A compensação financeira pela exploração de recursos minerais (CEFEM), foi estabelecida pela Constituição de 1988, é devida aos Estados, ao Distrito Federal, aos Municípios, e a órgãos da administração direta da União, como contraprestação pela utilização econômica de recursos minerais de seus respectivos territórios. A alíquota atual para minério de

ferro é de 2% sendo calculada sobre o valor do faturamento líquido, obtido por ocasião da venda do produto mineral. Dos recursos da CEFEM cabem 12% para a União; 23% para o Estado onde for extraída a substância mineral e 65% para o município produtor.

Os recursos originados da CEFEM devem, por lei, ser aplicados em projetos de melhoria da infraestrutura, da qualidade ambiental, da saúde e da educação.

AS CAVIDADES E AS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

No Quadrilátero Ferrífero existe um grande mosaico de Unidades de Conservação, em diferentes categorias de manejo e níveis de administração, muitas das quais com áreas sobrepostas. Conforme apresentado por Pereira et al., no capítulo deste livro intitulado *Panorama do Patrimônio Espeleológico do Quadrilátero Ferrífero*, as Unidades de Conservação de proteção integral com maior ocorrência de cavidades naturais subterrâneas cadastradas em rochas ferruginosas são o Monumento Natural da Serra da Piedade (com 52 cavidades) e o Parque Estadual da Serra do Rola Moça (com 37 cavidades).

Embora haja cavidades cadastradas em 19 Áreas Protegidas do Quadrilátero Ferrífero, até o momento, nenhuma dessas cavidades foi contemplada com um plano de manejo espeleológico. Segundo o

CECAV (2008), esse documento tem como objetivo disciplinar o acesso e o uso do Patrimônio Espeleológico para fins turísticos, científicos e pedagógicos, bem como estabelecer condições exequíveis de planejamento para orientar as intervenções previstas, de forma a produzir menor efeito impactante ao ambiente cavernícola e proporcionar melhor experiência de visitação ao público de acordo com seu interesse específico.

Desse modo, a indicação de áreas prioritárias para conservação, sobretudo em Unidades de Conservação, é uma maneira de ressaltar a importância de investir em políticas públicas que visem à geoconservação e ao geoturismo nessas cavidades. Pois além de protegê-las, deve-se manejá-las para que sejam conhecidas pelo público em geral.

ASPECTOS NORTEADORES PARA INDICAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS

Para indicação de áreas prioritárias são aqui utilizadas como referência espacial as unidades geomorfológicas propostas por Oliveira et al. (2011). Sua determinação foi feita com a análise conjunta da sobreposição dos títulos minerários, Unidades de Conservação/áreas legalmente protegidas e presença de cavidades. Onde existem dados sobre a relevância das cavidades, são priorizadas, na indicação, grupos de cavidades com alta e máxima relevância. Duas orientações específicas estão sendo consideradas na definição das áreas prioritá-

rias: cavidades devem ser tratadas em seu conjunto e é preciso verificar o uso antrópico já estabelecido em cada área.

A definição de perímetro de proteção sobre o entorno de cavidades naturais segundo a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), 347 de 10 de setembro de 2004, é de 250 metros além da sua projeção horizontal. Essa definição é provisória e somente é considerada até que o órgão ambiental defina a real área com base em estudos espeleológicos:

§ 2º A área de influência sobre o patrimônio espeleológico será definida pelo **órgão ambiental** competente que poderá, para tanto, exigir estudos específicos, às expensas do empreendedor.

§ 3º Até que se efetive o previsto no parágrafo anterior, a área de influência das cavidades naturais subterrâneas será a projeção horizontal da caverna acrescida de um entorno de duzentos e cinquenta metros, em forma de poligonal convexa.

No ano de 2013 o CECAV realizou a oficina intitulada “Áreas de influência de cavidades naturais subterrâneas,” composta por acadêmicos, consultores, funcionários de órgãos ambientais, dentre outros. Essa oficina teve como objetivo estabelecer diretrizes e orientações básicas para a definição de limites da área de influência de cavidades naturais subterrâneas no âmbito dos processos de licenciamento ambiental. O relatório final decorrente desta, explicita a necessidade de ações no sentido de ampliar o esclarecimento sobre este assunto.

A definição de áreas prioritárias considerou, para o entorno de cavidades conhecidas (principalmente aquelas já valoradas), o perímetro provisório de 250 metros estabelecido pela legislação. Buscando não tratar as cavidades de forma isolada, criando “ilhas” de proteção, que não seriam efetivas no caso do Quadrilátero Ferrífero, foi feita uma analogia com a teoria da interferência de ondas. Nessa teoria, quando duas ou mais ondas se sobrepõem, ocorre um reforço da onda e a amplitude resultante é maior do que a amplitude de cada uma das ondas. Assim, quando dois ou mais perímetros de proteção de cavidades individuais se sobrepuseram, a área proposta como prioritária foi ampliada de forma construtiva, favorecendo, a conservação do patrimônio ao não indicar a ocorrência pontual de cavidades a serem protegidas. Além disso, quando duas áreas propostas como prioritárias para conservação encontravam-se distantes e isoladas por até 3 km, fez-se a união dessas áreas criando “corredores de conservação” para garantir a manutenção dos processos ecológicos, permitindo a recolonização de áreas degradadas, não somente sob a perspectiva da biota associada às cavidades, mas, principalmente, da biota associada às rochas ferruginosas.

Conforme salientado por Bichuette, Fonseca-Ferreira e Gallão no capítulo desta obra intitulado *Biota Subterrânea Associada às Cavernas em Forma-*

ções Ferríferas: os habitats subterrâneos são frágeis e altamente vulneráveis a fatores de estresse, tais como alteração de hábitat, flutuações ambientais não naturais, poluição química, eutrofização, entre outros. Além disso, é comum a dependência de nutrientes importados do meio epígeo. Para os autores, os habitats subterrâneos em rochas ferruginosas são complexos, únicos e frágeis e vários são os fatores que determinam a ocorrência e distribuição da sua biota. A formação de “corredores de conservação” pode ser útil para garantir a maior integridade física das cavidades, diminuindo a pressão em seu entorno e contribuindo, conseqüentemente, para preservação de sua biota. Donato et al. (2014), aplicou um índice para analisar o estado de conservação (considerando atividades de pressão e vulnerabilidade) de nove cavidades no município de Laranjeiras, em Sergipe. Os autores salientam que a criação de corredores ecológicos entre cavidades próximas umas das outras pode favorecer-lhes a conservação, já que ajudam a garantir a recuperação e proteção do ambiente envolvente. Carmo (2010), tratando da biodiversidade em geossistemas ferruginosos também aponta a necessidade do não isolamento de áreas. Importante colocar que, mesmo buscando integrar cavidades em perímetros de proteção, cavidades isoladas com atributos relevantes não foram descartadas na análise para definição de áreas prioritárias.

Como já salientado, um número significativo de cavidades em rochas ferruginosas no Quadrilátero Ferrífero ocorre em áreas legalmente protegidas; no entanto, é preciso investimento financeiro para garantir sua integridade. Em matéria publicada no dia 09 de março de 2014, no jornal Estado de São Paulo, tem-se um dado alarmante, pelo menos R\$ 1,3 bilhão referente a pagamentos de compensações ambientais está disponível nos Estados brasileiros para aplicação no manejo de Unidades de Conservação, mas somente 15,8% estão sendo executados. Essa é a conclusão de um estudo feito pela ONG The Nature Conservancy (TNC), que mapeou os valores junto aos próprios órgãos ambientais do País.

No caso do Quadrilátero Ferrífero, uma área com grande impacto causado pela extração mineral, é indispensável que todos os recursos oriundos dessa atividade, tanto do CEFEM, quanto de pagamentos de medidas compensatórias e outros, seja, em sua maior parte, direcionada à proteção dos patrimônios associados à geodiversidade e à biodiversidade desse território.

INDICAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS NA PROVÍNCIA ESPELEOLÓGICA QUADRILÁTERO FERRÍFERO

Conforme apresentado por Hardt e Calux e Cassimiro nos respectivos capítulos desta obra: *Breve Inventário do Patrimônio Espeleológico e Geoespeleologia das Cavernas em Rochas Ferríferas: Aspectos Dimensionais, Morfológicos, Hidrológicos e Sedimentares*, o uso do termo província espeleológica, como proposto por Karmann e Sánchez (1979), vem sendo substituído por regiões ou unidades cársticas por outros autores (Auler et al., 2001; Oliveira et al., 2011; Valentim e Olivito, 2011). Optando pela literatura “clássica”, neste capítulo utiliza-se o termo província espeleológica de Karmann e Sánchez (1979) como sendo “(...) uma região, pertencente a uma mesma formação geológica, onde ocorrem corpos de rochas carbonáticas suscetíveis às ações cársticas, ocasionando a presença de agrupamentos de cavernas”. Essas províncias, nos setores com maior densidade de cavernas, podem ser subdivididas em distritos espeleológicos.

Oliveira et al. (2011) ampliaram a província espeleológica Quadrilátero Ferrífero definida por Auler et al. (2001) abrangendo a área de Conceição do Mato Dentro, região central de Minas Gerais. A delimitação dos distritos foi feita com base em mapas hipsométricos, imagens de radar, mapas geológicos e modelos digitais de terreno. Nessa província espeleológica, os autores caracterizaram dez distritos (denominados por eles de unidades geomorfológicas). Aqui são considerados para análise de áreas prioritárias os seguintes distritos: Serra Azul, Serra da Piedade, Serra do Gandarela, Escarpa Oriental do Caraça, Morrarias de Dom Bosco, Serra de Ouro Preto-Antônio Pereira. O distrito denominado Quadrilátero Oeste, será aqui tratado em dois distritos distintos: Serras do Curral-Rola Moça; e Serra da Moeda, envolvendo além da serra, o sinclinal homônimo, conforme apresentado no capítulo desta obra intitulado: *Panorama do Patrimônio Espeleológico do Quadrilátero Ferrífero*.

DISTRITO ESPELEOLÓGICO SERRA AZUL

A Serra Azul, também denominada de Serra de Igarapé e de Itatiaiuçu, tem como principal problema para conservação do patrimônio espeleológico a extração mineral (Figura 2) que deixa pouquíssimos remanescentes de geossistemas ferruginosos. Viveiros (2009) destaca que após as aquisições ocorridas em 2007 e 2008, as concessões mineiras passaram a ser controladas pelas seguin-

tes empresas: Usiminas; MMX; Ferrous Resources; ArcelorMittal e CBM/Comisa; Minerita e MBL. Assim, a expansão do setor minerário iniciada nos últimos anos, marcada pelo grande consumo e valorização das matérias-primas, mudou o perfil da mineração na Serra Azul que passou a ser controlada por essas grandes corporações (FEAM, 2012).



Figura 2 - Impacto da mineração ao longo da Serra Azul-Itatiaiuçu.
Foto: Flávio Fonseca do Carmo

Considerando o grande número de concessões minerais, o atual estado de impacto sobre o geossistema ferruginoso nesse distrito espeleológico, e a ocorrência de grupos de cavidades em áreas protegidas

foram indicadas duas áreas prioritárias para conservação: as cavidades localizadas na Área de Proteção Especial Manancial Rio Manso (APE Rio Manso) e as cavidades localizadas na Serra de Igarapé (Figura 3).

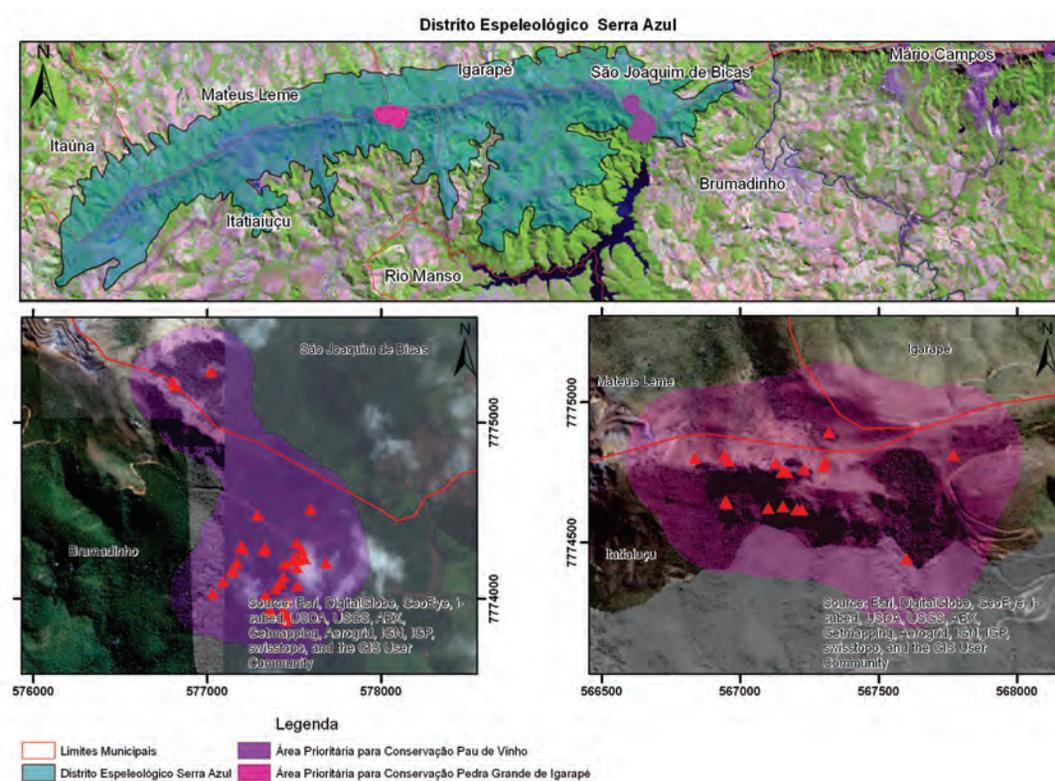


Figura 3 - Visão geral do distrito espeleológico Serra Azul, com destaque para as duas áreas consideradas prioritárias para geoconservação. Elaborado pelos autores.

A Área de Proteção Especial Manancial Rio Manso (APE Rio Manso) tem 67.200 ha, dos quais, 9.000 ha estão sob a responsabilidade da COPASA, com importantes mananciais hídricos que abastecem a região metropolitana de Belo Horizonte. Cabe destacar que o Código Florestal Mineiro – Lei 14.309/2000 por meio da Lei Estadual nº 19.484/2011, estabeleceu mais uma categoria de UC pertencente ao grupo de Uso Sustentável, a saber: Áreas de Proteção de Mananciais – APM (COSTA, 2013; NOTA JURÍDICA, 109/2012). Desse modo, a APE Rio Manso pode vir a se transformar em Unidades de Conservação da tipologia uso sustentável, sob a nomenclatura de “Área de Proteção de Mananciais”, tão logo passem pelo processo de reavaliação, mediante ato normativo do mesmo nível hierárquico que as

criou, com o objetivo de promover seu enquadramento nos termos do inciso VI do art. 24 da Lei nº 14.309, de 2002 (COSTA, 2013). Ou seja, enquanto as APEs não forem reclassificadas, não poderão ser consideradas Unidades de Conservação.

Em parte da APE Rio Manso, na área conhecida como Pau de Vinho, Campello e Haddad (2011), realizaram a valoração de 34 cavidades desenvolvidas em rochas ferruginosas tendo identificado 01 cavidade com máxima relevância e 12 cavidades com alta relevância, com fortes atributos físicos incluindo a presença de água, sumidouros, ressurgências além de feições espeleogenéticas (RUCHKYS; MACHADO, 2012). Assim, sugere-se que essas cavidades sejam consideradas áreas prioritárias para conservação do patrimônio espeleológico (Figuras 4 e 5).

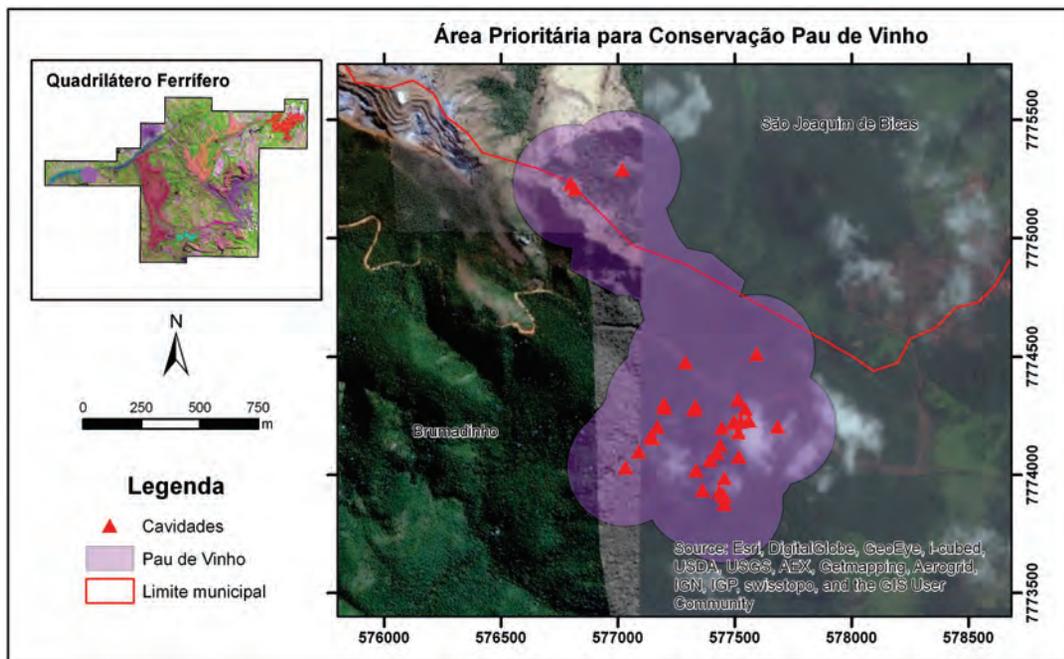


Figura 4 - Área prioritária para conservação de Pau de Vinho no distrito Serra Azul com 34 cavidades naturais subterrâneas em rochas ferruginosas. Elaborado pelos autores.



Figura 5 - (a) Vista geral do sítio de Pau de Vinho; (b e c) Cavidades em Pau de Vinho localizadas dentro da APE Rio Manso. Fotos: Úrsula Ruchkys (a) e Marcos Campello (b e c).

Também na região de Serra Azul, na área conhecida como Pedra Grande de Igarapé, Campello et al. (2012) identificaram 19 cavernas, 29 abrigos sob rocha e 16 reentrâncias. A área de Pedra Grande, além de seu reconhecido valor paisagístico, apresenta um conjunto de feições endocársticas e exocársticas de valor geomorfológico e geológico, constituindo um importante patrimônio do QF. Embora exista proteção legal sobre a região da Pedra Grande em nível municí-

pal, uma Área de Proteção Ambiental e um tombamento do conjunto paisagístico, é importante que esta região seja reconhecida, em nível estadual, como área prioritária para conservação do patrimônio espeleológico, já que a pressão da atividade de mineração é muito grande (Figura 6 e Figura 7). Desse modo, sugere-se a criação de uma Unidade de Conservação de proteção integral, para que esse patrimônio seja devidamente protegido.

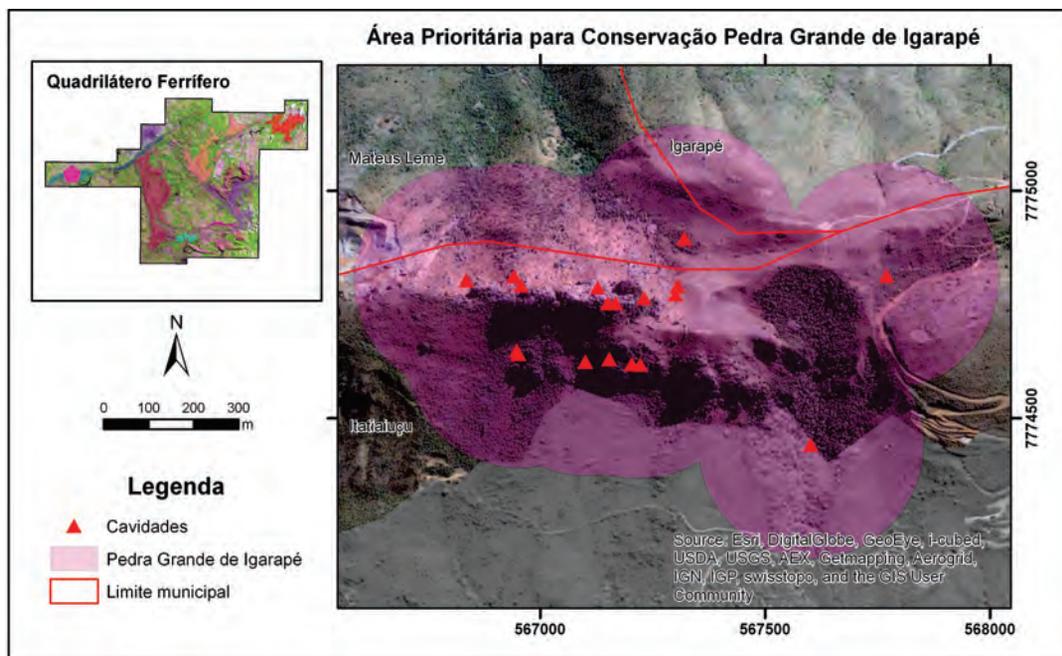


Figura 6 - Área prioritária para conservação de Pedra Grande de Igarapé no distrito Serra Azul com 19 cavidades naturais subterrâneas em rochas ferruginosas. Elaborado pelos autores.



Figura 7 - Área prioritária para conservação de Pedra Grande de Igarapé no distrito Serra Azul: (a) Vista geral do maciço de Pedra Grande e (b) Entrada de uma das cavidades. Fotos: Marcos Campello.

DISTRITO ESPELEOLÓGICO SERRAS DO CURRAL-ROLA MOÇA

Esse distrito espeleológico conta com quatorze Unidades de Conservação de uso sustentável e cinco de proteção integral, sendo duas em nível estadual e três em nível municipal (Belo Horizonte): Estação Ecológica Cercadinho; Parque Estadual da Serra do Rola Moça; Parques Municipais

das Mangabeiras, Aggeo Pio Sobrinho e Baleia. A proposição de áreas prioritárias para conservação envolve as cavidades naturais subterrâneas encontradas no Parque Estadual da Serra do Rola Moça (Figura 8) e no Parque Municipal das Mangabeiras.

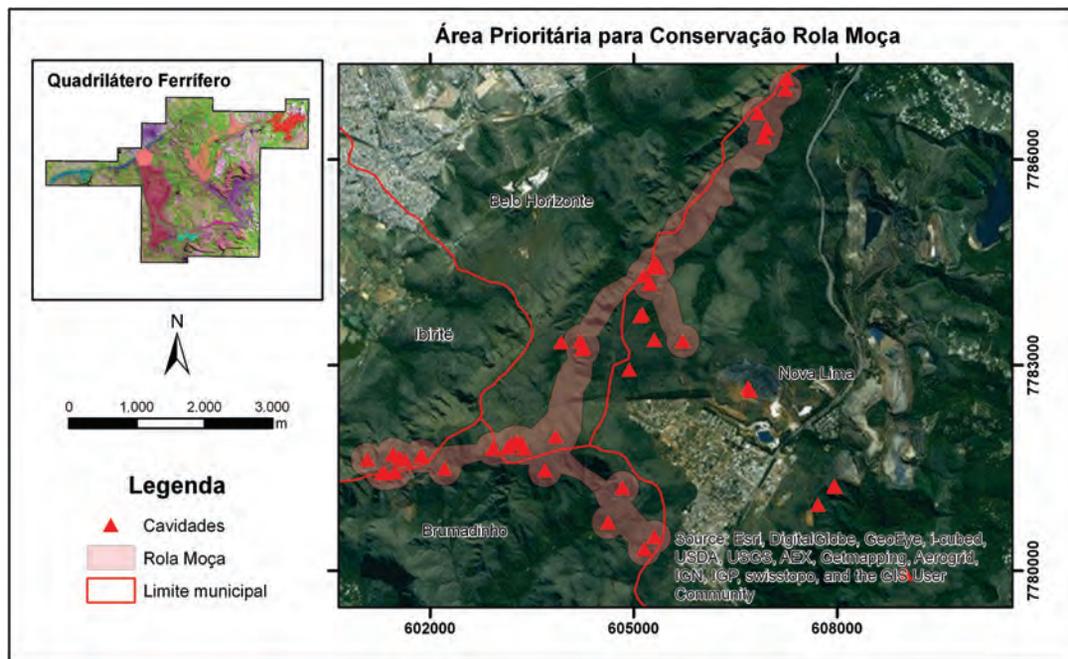


Figura 8 - Área prioritária para conservação da Serra do Rola Moça no distrito Serras do Curral-Rola Moça com 39 cavidades naturais subterrâneas em rochas ferruginosas. Elaborado pelos autores.

Pereira et al. (2012) fizeram uma análise das cavidades conhecidas da Serra do Rola Moça em relação a sua localização e desenvolvimento linear, buscando entender os processos associados à gênese dessas cavidades. Constataram que todas as 42 cavidades estudadas estão localizadas nas bordas dos platôs de canga e que, a grande maioria, possui até 19 metros de desenvolvimento linear. No entanto, os autores destacam que 3 cavidades apresentam entre 50 e 80 metros de desenvolvimento linear. Gomes et al. (2013) avaliaram a influência de algumas variáveis ambientais sobre a ocupação de cavernas ferruginosas por morcegos, no Parque Estadual da Serra do Rola Moça. Os resultados demonstram que, em litologias ferruginosas, a escolha de cavernas como abrigo está relacionada com as características físicas da cavidade, tais como suas dimensões (projeção horizontal, área e volume), altitude em que está localizada e presença de zona afótica.

Baeta e Piló no capítulo intitulado *Arqueologia nas Cavernas e Suportes Ferruginosos* mostram a potencialidade arqueológica desta área. Segundo esses autores, nas adjacências da Serra do Rola Moça, em localidade conhecida como Capão Xavier, foram encontrados vestígios arqueológicos em dois sítios pré-históricos sotopostos (líticos e cerâmicos) e na superfície do solo, que foram alvo de salvamento arqueológico. Os autores afirmam, ainda, que dentro do Parque Estadual do Rola Moça são encontradas grutas, cujo reconhecimento preliminar, permite constatar vestígios de ocupações humanas pretéritas, sobretudo fragmentos de utensílios cerâmicos, carvões e algumas lascas de quartzo. Imagens dessa área prioritária são apresentadas na Figura 9.



Figura 9 - (a) Vista geral da canga na Serra do Rola Moça. Foto: Úrsula Ruchkys; (b, c) Entrada de cavidades em rochas ferruginosas. Fotos: Darcy Jose dos Santos.

No Parque Municipal das Mangabeiras, localizado no município de Belo Horizonte, são conhecidas 5 cavidades em rochas ferruginosas (Figura 10). Essas cavidades têm sido objeto de estudo por diferentes

Grupos de Espeleologia, segundo o espeleólogo Luciano Faria (em comunicação verbal), merecem destaque os trabalhos do Núcleo de Atividades Espeleológicas (NAE) e do Guano Speleo.

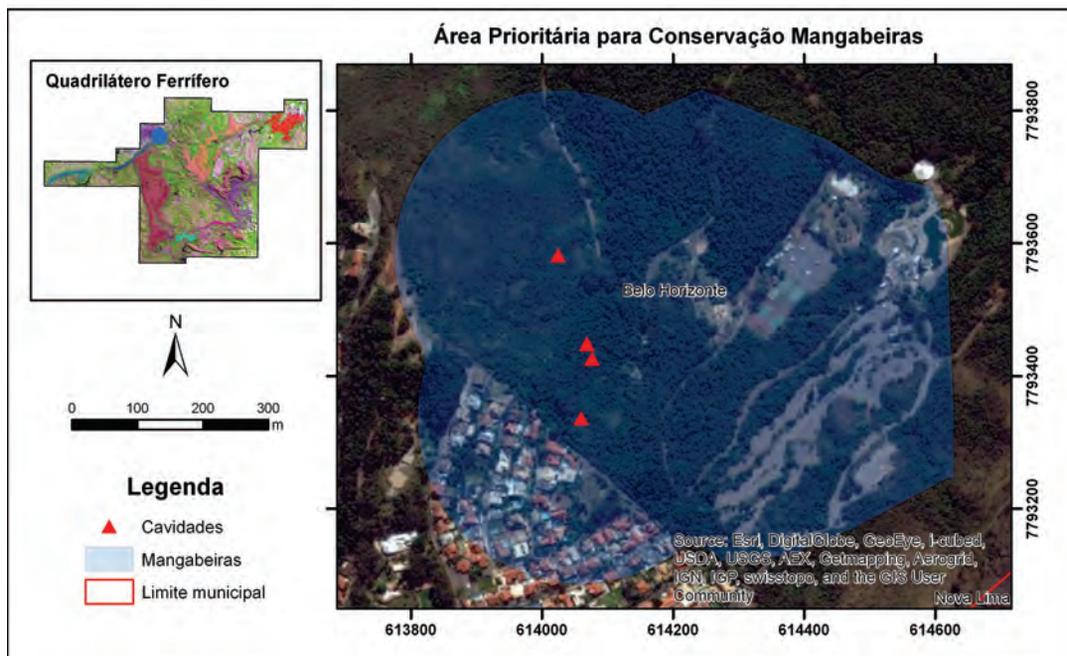


Figura 10 - Área prioritária para conservação do Parque das Mangabeiras no distrito Serras do Curral-Rola Moça com 5 cavidades naturais subterrâneas em rochas ferruginosas. Elaborado pelos autores.

Apesar do conhecimento sobre a existência de cavidades naturais subterrâneas em rochas ferruginosas, nessa unidade de conservação, existem poucos estudos realizados, centrados principalmente na biodiversidade associada, com destaque para Lima et al. (2012) e Silva et al. (2010). Lima et al. (2012) capturaram 215 indivíduos, pertencentes a 11 ordens e 47 morfoespécies para duas cavidades do Parque Municipal das Mangabeiras. Os autores destacam que, apesar das cavidades analisadas serem relativamente pequenas, apresentaram alta diversidade e baixa similaridade faunística, o que

ênfatisa seu valor biológico e a importância de serem preservadas. Silva et al. (2010) realizaram a identificação de fungos filamentosos em duas cavidades naturais subterrâneas desta mesma unidade de conservação e encontraram os seguintes microrganismos: 79 isolados, sendo 8 Zigomicetos, 5 *Miceliasterilia*, 58 Deuteromicetos (fungos mitospóricos), destes, os gêneros mais representativos foram *Penicillium* e *Aspergillus*, os outros 8 isolados não foram identificados. Na figura 11 são apresentadas imagens da biodiversidade das cavidades.



Figura 11 - (a) Anuros em uma das cavidades do Parque das Mangabeiras. (b) Opilião em cavidade do Parque das Mangabeiras. Fotos: Luciano Faria.

Como no distrito Serras do Curral-Rola Moça estão sendo indicadas áreas prioritárias dentro de Unidades de Conservação de proteção integral é fundamental a elaboração de plano de manejo do patrimônio espeleológico (PME). Considerando as cavidades em rochas ferruginosas, que têm uma vocação muito mais científica e educativa do que turística, é importante que o PME destas Unidades de Conservação dê, ao patrimônio espeleológico associado a estas litologias, um tratamento diferenciado em função de suas peculiaridades. Embora o Plano de Manejo do Parque Estadual da Serra do Rola Moça (IEF, 2007) coloque que entre os objetivos do parque está a proteção das características relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica, paleontológica e cultu-

ral, representadas pelas cavidades naturais subterrâneas em campos ferruginosos e sítios histórico-culturais; não existe especificamente um PME.

O PME deve incorporar ações educativas principalmente para escolas do entorno, com intuito de promover o conhecimento e apreciação das cavidades naturais subterrâneas associadas às formações ferríferas e canga, conforme ressaltado por Ruchkys e Machado no capítulo deste livro intitulado *Serviços da Geodiversidade Associados às Rochas Ferruginosas: Pressão e Oportunidades de Conservação*. É fundamental, ainda, o diagnóstico com valoração das cavidades já cadastradas do ponto de vista cultural, biótico e abiótico, para que seja estabelecida uma política de manejo com sugestão de monitoramento do patrimônio espeleológico.

DISTRITO ESPELEOLÓGICO SERRA DO GANDARELA

Conforme salientado por Calux e Cassimiro no capítulo intitulado *Geoespeleologia das Cavernas em Rochas Ferríferas: Aspectos Dimensionais, Morfológicos, Hidrológicos e Sedimentares*, os distritos com maior destaque na província espeleológica Quadrilátero Ferrífero são as serras da Piedade e do Gandarela, cuja densidade de cavernas é de 2,8 e 2,4 cavernas por quilômetro quadrado, respectivamente. Sem dúvida, neste distrito, uma das áreas prioritárias para conservação do patrimônio espeleológico é a região onde está inserida a paleotoca (Figura 12). Segundo Ruchkys et al. (2013), Ruchkys et al (2014) e Bittencourt et al. no capítulo intitulado *Registro Paleontológico em Cavidade de Formações Ferríferas na Serra do*

Gandarela (MG) deste livro, a paleotoca da Serra do Gandarela está associada aos depósitos de canga que recobrem, no topo da Serra, a sequência de litotipos ferríferos associados à Formação Cauê. É formada por uma cavidade não biogênica interligada a condutos e galerias escavadas por algum mamífero de grande porte provavelmente para habitação. A paleotoca da Serra do Gandarela está inserida na área proposta pela empresa Vale do Rio Doce para a Mina de Apolo, estando sujeita a várias ameaças associadas às fases da exploração mineral, inclusive a prospecção e pesquisa. Até o momento, este é o único registro da megafauna extinta no QF o que atesta a necessidade e garantia da sua efetiva conservação (Figura 13).

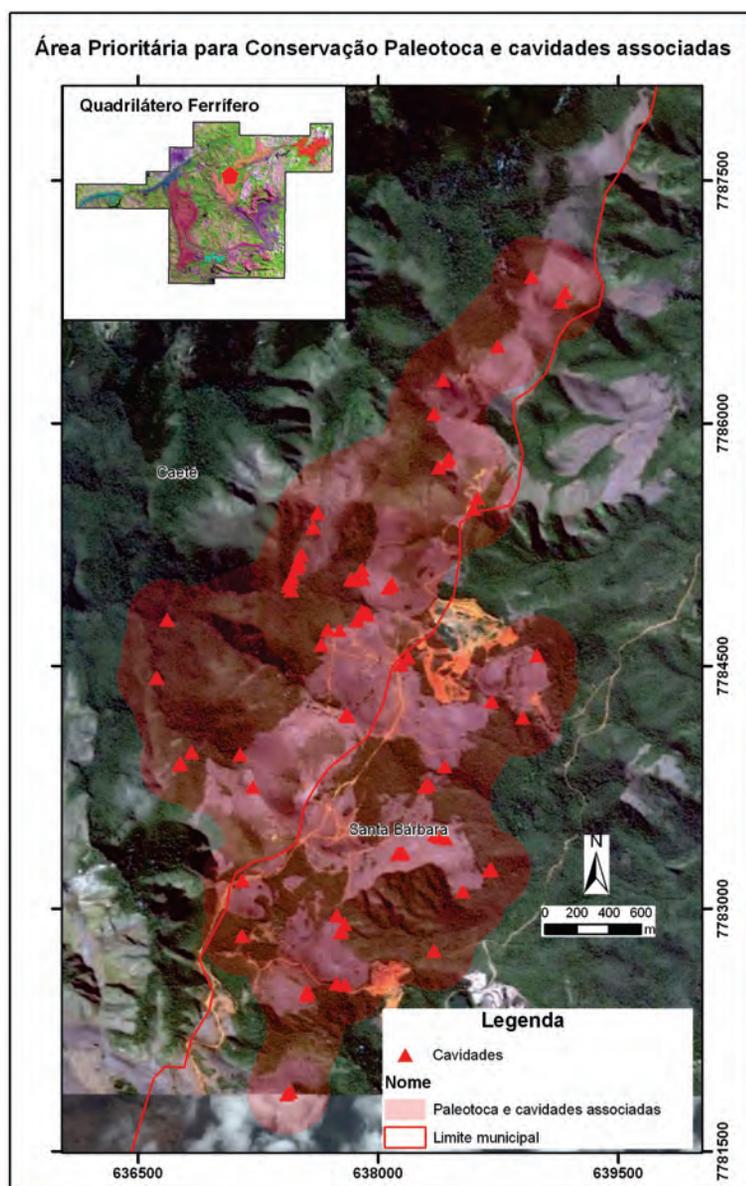


Figura 12 - Área prioritária para conservação da Paleotoca e cavidades associadas, no distrito Serra do Gandarela com 78 cavidades naturais subterrâneas em rochas ferruginosas. Elaborado pelos autores.



Figura 13: (a) Área prioritária para conservação da Paleotoca e cavidades associadas no distrito Serra do Gandarela com 78 cavidades naturais subterrâneas em rochas ferruginosas. Vista geral da Serra do Gandarela. (b, c) Interior da paleotoca da Serra do Gandarela. Fotos: Luciano Faria.

Nesse mesmo distrito, após a realização da consulta pública no site da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE), foi proposta, pelos espeleólogos Tiago Vilaça Bastos e Ian Dutra, a área prioritária Dois Irmãos (Figura 14) na serra homônima. Há uma drenagem de direção aproximada N-S, que está associada a uma grande densidade de cavidades naturais subterrâneas em rochas ferruginosas. Nesta região, ocorrem mais de 80 cavidades naturais subterrâneas em rochas ferruginosas, algumas de grandes dimensões para as litologias – itabirito e canga (cerca de 8 cavidades têm mais de 100 metros de desenvolvimento linear, outras três mais de 150 metros e uma mais 250 metros). Faz parte desse conjunto de cavidades a famosa gruta de Simmons, o primeiro a elaborar um modelo espeleogenético para cavernas em litologias ferríferas. No interior dessa caverna é possível constatar a presença de feições de dissolução, favorecidas pela rocha encaixante ser um itabirito altamente dolomítico (SIMMONS, 1963), como alvéolos e karrens. Essa cavidade é caracterizada pela presença de poços que represam a água de origem meteórica sendo possível encontrar vários lagos em diferentes níveis, apontando para um sistema de fluxo hídrico que segue o mergulho do itabirito e a declividade da vertente (Figura 15) (Tiago Vilaça Bastos em comunicação verbal, estudo ainda não publicado).

Em 2013 a empresa Geomil - Serviços de Mineração, elaborou o Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental referente a uma mina de exploração de minério de ferro do chamado Projeto Dois Irmãos da Mineração Serra Azul. Esses estudos apontam a existência de 122 cavidades na área, sendo que 72 delas já possuíam registro na base de dados do CECAV. Segundo a Geomil (2013) as estruturas propostas no plano diretor da mina não interceptam o perímetro de proteção provisório legal de 250 metros das cavidades naturais subterrâneas.

Importante salientar que foi criado, no final de 2014 o Parque Nacional da Serra do Gandarela, proposta pelo ICMBio (2010). Por se tratar de uma área com conflito de interesse entre a atividade extrativa mineral, em especial representada pela Companhia Vale do Rio Doce, que tem por intenção implantar a Mina Apolo, e a conservação do patrimônio ambiental; a área inicialmente proposta pelo ICMBio foi modificada. Várias são as justificativas para criação do Parque Nacional apresentadas pelo ICMBio (2010), incluindo a ocorrência de cavidades naturais subterrâneas de máxima relevância e o bom estado de conservação do geossistema ferruginoso, já que esta é uma das únicas áreas remanescentes desse geossistema no Quadrilátero Ferrífero ainda pouco impactado pela mineração.

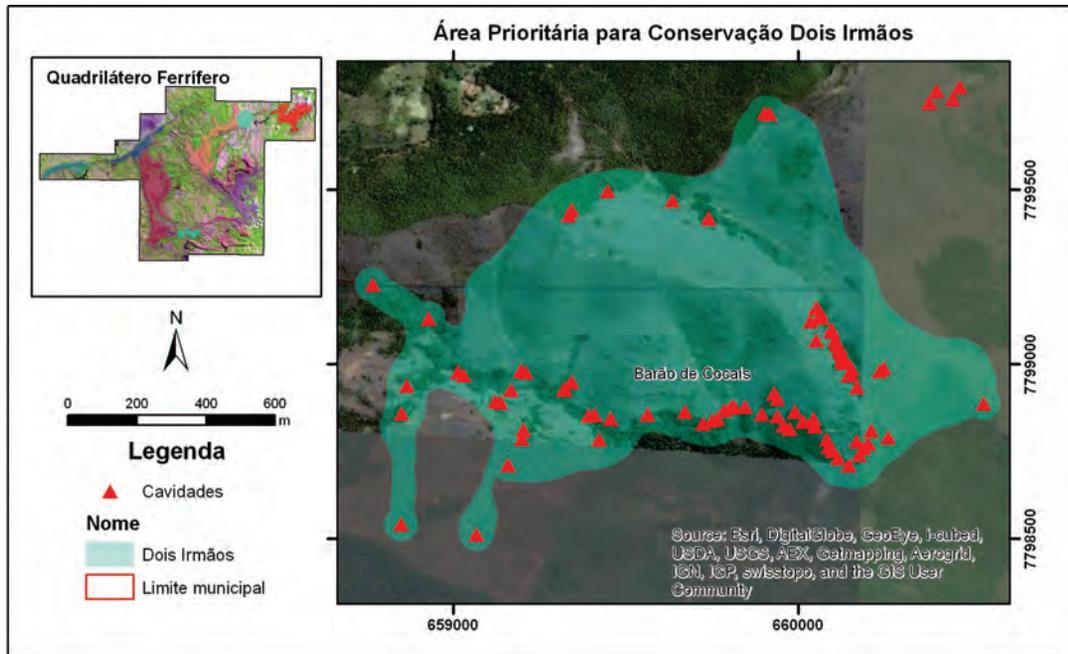


Figura 14 - Área prioritária Dois Irmãos, no Distrito Espeleológico Serra do Gandarela. Elaborado pelos autores.



Figura 15 - (a,b,c) Área prioritária para conservação Dois Irmãos, no distrito Serra do Gandarela. Cavernas em rochas ferruginosas exploradas por George Simmons no final da década de 50 e início da década de 60. A cavidade representada na foto (15a) é totalmente desenvolvida em itabirito. As fotos 15 b e 15c são da Gruta de Simmons. Fotos: Ian Dutra (a) e Tiago Vilaça Bastos (b,c).

DISTRITO SERRA DA MOEDA

Na Serra da Moeda ocorrem vários afloramentos de itabirito e canga, além dos quartzitos da Formação homônima. O patrimônio espeleológico está presente em toda serra, que na sua porção sul, é conhecida como Serra da Calçada. A proposição de áreas prioritárias para conservação buscou criar um “corredor” de proteção não permitindo o isolamento de cavidades (Figura 16). Na figura 17 são apresentadas imagens desse distrito espeleológico.

Buscando proteger seu patrimônio ambiental, foi criado em 2010, o Monumento Natural Estadual da Serra da Moeda com uma área de 2.372,55 ha. Segundo Carste Consultores Associados (2013), essa Unidade de Conservação de Proteção Integral, foi criada em atendimento ao Acordo Judicial celebrado entre Gerdau Açominas S/A, o Ministério Público Estadual e a Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, referente à mina de Várzea do

Lopes, município de Itabirito. Dentre as 46 cavernas registradas, 18 estão inseridas na área do Monumento Natural e outra cavidade encontra-se devidamente protegida em função do Termo de Compromisso assinado com o IBAMA. Para viabilização da mina o relatório do Carste Consultores Associados (2013) solicita a supressão de 10 cavidades classificadas como de alta relevância e a redução do perímetro de proteção de 12 cavidades, das quais uma classificada como de máxima relevância e o restante como de alta. Segundo os autores, o pedido se justifica devido a inexistência de alternativas locais para expansão da cava e que já existe compensação para as cavidades objeto de supressão uma vez que a empresa destinou, parte de sua área, para a criação do Monumento Natural Estadual da Serra da Moeda, onde existem, pelo menos, cinco cavidades caracterizadas com de alta relevância que poderiam tornar-se cavi-

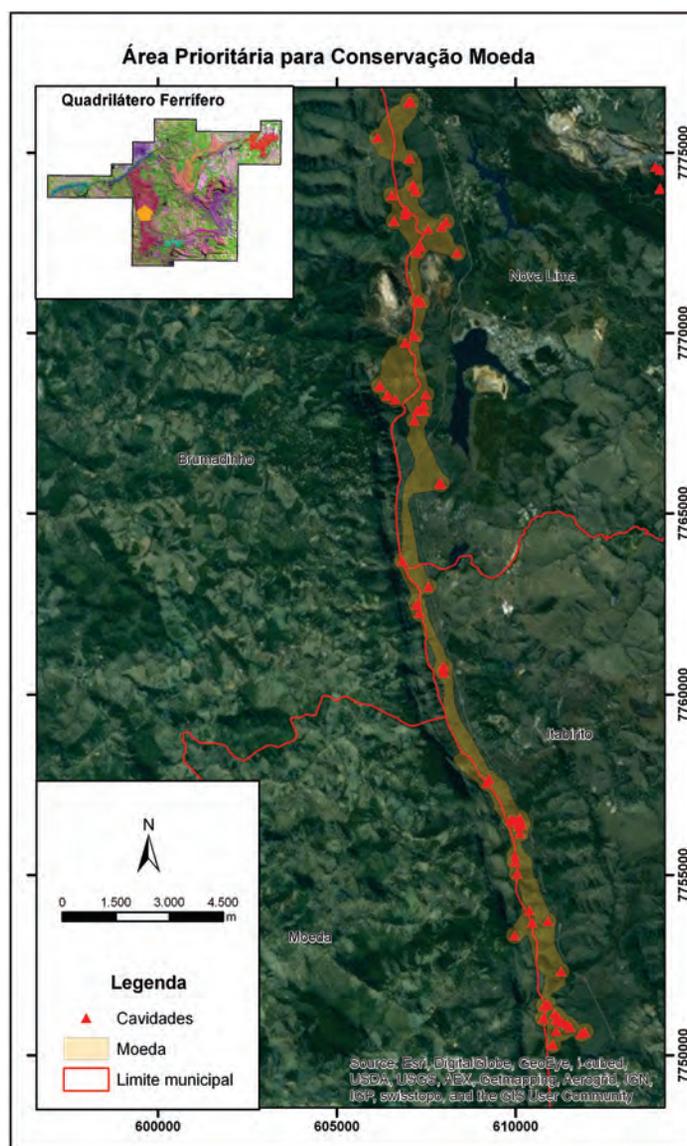


Figura 16 - Área prioritária para conservação da Serra da Moeda no distrito homônimo com 93 cavidades naturais subterrâneas em rochas ferruginosas. Elaborado pelos autores.

dades testemunho. Importante ressaltar que na legislação vigente somente não podem ser suprimidas cavidades classificadas como de máxima relevância como apresentado no capítulo intitulado *Proteção Jurídica do Patrimônio Espeleológico* de autoria de Miranda e Chiodi nesta obra.

Um dos objetivos de criação do Monumento Natural Estadual da Serra da Moeda foi a conservação do patrimônio espeleológico que apresenta valores biológicos, culturais e outros. Do ponto de vista da biodiversidade, Ferreira (2005) demonstrou a importância das cavidades naturais subterrâneas em rochas ferruginosas, pela ocorrência de diferentes espécies tro-

glomórficas que têm relevante história evolutiva, adaptadas a viver na ausência de luz. Em trabalho realizado pela Brant Meio Ambiente (2008), foi salientado o grande potencial arqueológico associado às cavidades da Serra da Moeda e ao Sinclinal homônimo. Baeta e Piló, no capítulo intitulado *Arqueologia nas Cavernas e Suportes Ferruginosos*, deste livro, também destacam que, em levantamento preliminar, foi possível constatar que pelo menos parte das cavidades em rochas ferruginosas que ocorrem na Serra da Moeda (também do Gandarela e do Rola Moça) contém vestígios de ocupações humanas pretéritas, o que confirma sua grande potencialidade arqueológica.



Figura 17 - (a) Vista geral da Serra da Moeda; (b) cavidade com presença de morcego; (c) entrada de uma das cavidades em rochas ferruginosas. Fotos: Dionisio Azevedo (a) e Glauco Cezar Borges (b,c).

Euclides (2011) ressalta o papel de ONGs e associações de moradores na pressão para criação de novas Unidades de Conservação na região do Quadrilátero Ferrífero na tentativa de "frear" o avanço da mineração. Um exemplo é a ONG Arca Amasserra, que pleiteia a criação do Monumento Natural da Serra da Calçada, contíguo ao Parque Estadual da Serra do Rola Moça, e o Movimento Abraça a Serra da Moeda, que solicita a expansão do Monumento Natural Estadual da Serra da Moeda ou a criação do Monumento Natural da Serrinha, de modo a abranger terrenos do município de Brumadinho. Essas duas novas Unida-

des de Conservação iriam aumentar a área de abrangência de proteção do patrimônio espeleológico de forma não isolada.

Segundo a ONG Arca Amasserra, a preocupação ganhou, neste ano, respaldo científico internacional, já que a Serra da Moeda foi incluída em uma lista mundial de patrimônios culturais ameaçados de destruição: a *World Monuments Watch 2014*. A inclusão da Serra da Moeda nessa lista serve como apelo à tomada de ação por parte de organizações governamentais, empresas patrocinadoras e outras entidades para que ajudem a assegurar a proteção desse patrimônio.

DISTRITO SERRA DA PIEDADE

A Serra da Piedade marca o limite setentrional do Quadrilátero Ferrífero, sustentada morfologicamente pelas rochas do Supergrupo Minas. A sequência é composta por sedimentos clásticos e químicos, os últimos constituem a formação ferrife-

ra do Itabirito Cauê e ocorrem no topo da serra. Nesse distrito espeleológico foi definido um conjunto de cavidades estudadas por Pereira (2012) como área prioritária para conservação do patrimônio espeleológico (Figura 18).

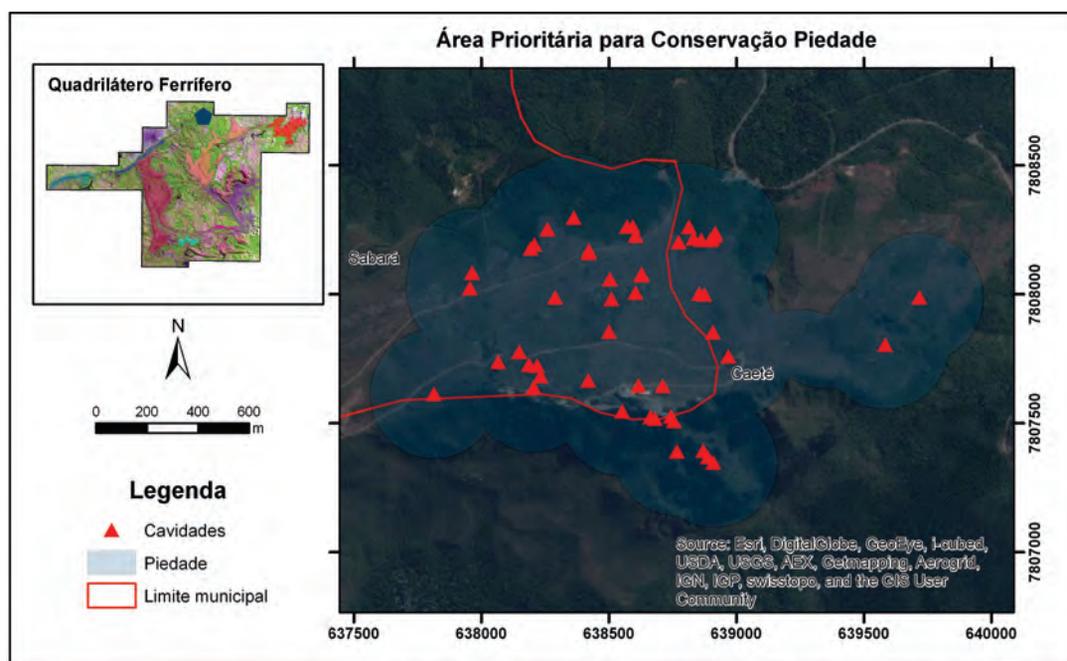


Figura 18 - Área prioritária para conservação da Serra da Piedade, no distrito homônimo com 52 cavidades naturais subterrâneas em formações ferríferas. Elaborado pelos autores.

Na zona de amortecimento¹ do Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade ocorre extração de itabirito, causando conflitos entre as empresas de mineração e o patrimônio natural, conforme salientado por Ruchkys et al. (2009). Estes autores destacaram o valor do patrimônio natural e cultural associado à Serra da Piedade e a propuseram como sítio geológico e da história da mineração reconhecido pela Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP).

Cassimiro et al. (2011) e Travassos no capítulo intitulado *Valor Cênico, Turismo e Religião*, deste livro, mostram a importância religiosa associada às cavidades naturais subterrâneas em rochas ferruginosas que ocorrem nesse distrito, com destaque para a Gruta dos Romeiros e a Gruta da Macumba, que são utilizadas tanto para cultos católicos, quanto afro-brasileiros. Pereira (2012) inventariou e classificou as cavidades no Monumento Natural da

Serra da Piedade. Para classificação considerou seus aspectos genéticos e sua relação com o relevo tendo descrito três tipos de cavidades: cavidades em tálus; cavernas com feições cársticas e cavernas onde não foi possível constatar evidências morfocársticas. A autora conclui que existem processos de carstificação em cavernas e feições superficiais desenvolvidas no itabirito e na canga, embora as mesmas não sejam tão recorrentes e desenvolvidas como as feições presentes em rochas carbonáticas.

Do ponto de vista biótico, Bichuete et al. no capítulo intitulado *Biota Subterrânea Associada às Cavernas em Formações Ferríferas*, deste livro, afirmam que uma pesquisa realizada em três cavernas da Serra da Piedade, revelou:

Um total de 175 morfoespécies, das quais cerca de 43% são aracnídeos (dominado pelas aranhas em 58%) e 37% são insetos. Entre os insetos destaca-se uma elevada riqueza de besouros e uma

significativa abundância de cigarrinhas, insetos fitófagos, que assim como colêmbolos e psocópteros (insetos diminutos), foram geralmente encontrados associados às raízes presentes nas cavidades ferruginosas. Os quilópodes (lacraias), diplópodes (piolhos-de-cobra) e isópodes (tatuzeiros-de-jardim), geralmente escondidos e associados a microespaços ou sob fragmentos ferríferos, representam um grupo rico e especial, com características relacionadas a estes microhabitats. Das mais de 170 espécies observadas, 11 possuem traços troglomórficos, com alongamento de cerdas e pernas, olhos ausentes ou diminutos e despigmentação corporal (M. E. Bichuette e colaboradores, dados não publicados).

Para os autores, as cavernas da Serra da Piedade apresentam uma complexa gama de substratos que são utilizados pelas espécies. Além disso, observações de morcegos evidenciaram a presença de espécies ecologicamente importantes, destacando-se *Carollia perspicillata*, *Anoura geoffroyi*. O estudo detalhado dessas espécies que ocupam rochas ferruginosas como abrigo é de extrema urgência e deve ser foco de Planos de Ação conservacionistas das instituições ambientais governamentais (BICHUETTE et al., 2015).

Na figura 19 são apresentadas imagens de cavidades na área proposta como prioritária para conservação nesse distrito espeleológico.



Figura 19 - (a e b) Cavidades em rochas ferruginosas na Serra da Piedade que são relativamente grandes. Fotos: Luciano Faria.

OUTROS DISTRITOS: MORRARIAS DE DOM BOSCO; SERRA DE OURO PRETO-ANTÔNIO PEREIRA; ESCARPA ORIENTAL DO CARAÇA

Segundo Oliveira et al. (2011), o distrito Morraria de Dom Bosco localiza-se na porção sul do QF, na região da cidade de Miguel Burnier. As porções mais altas desse distrito são sustentadas por formações ferríferas da Formação Cauê e quartzitos do Grupo Piracicaba. Nesse distrito está a Gruta da Igrejinha, maior caverna conhecida em dolomito do Quadrilátero Ferrífero. Meyer et al. (2013) realizaram a valoração da Gruta da Igrejinha e constataram que ela possui parâmetros geológicos que lhe relegam relevância máxima. Além dos parâmetros geológicos que atestam

seu valor, a cavidade tem ainda presença de população residente de quirópteros, atributos cênicos, precipitação química ativa, com intenso gotejamento e formação de espeleotemas.

O distrito Serra de Ouro Preto-Antônio Pereira engloba as serras que delimitam a porção sul e sudeste do QF, caracterizadas respectivamente, pela ocorrência de quartzitos do Grupo Itacolomi e dolomitos da Formação Gandarela. Embora não seja foco deste capítulo centrar em cavidades que ocorrem em litologias não ferríferas, é importante destacar que Travas-

sos no capítulo intitulado *Valor Cênico, Turismo e Religião* mostra a importância religiosa e histórica da Lapa de Antônio Pereira, desenvolvida em dolomitos, onde é realizado o culto a Nossa Senhora da Lapa. Baeta e Piló, no capítulo intitulado *Arqueologia nas Cavernas e Suportes Ferruginosos*, deste livro, salientam que cavidades naturais subterrâneas em formações ferríferas foram aproveitadas na abertura de grandes galerias nos Morros Santana ou Gogô e Santo Antônio.

O distrito Escarpa Oriental do Caraça compreende toda a encosta oriental da Serra de Antônio Pereira e do platô do Caraça, onde se sabe da existência de cavidades em quartzitos, com destaque para aquelas que ocorrem no Pico do Inficionado, onde está a gruta do Centenário, a maior do mundo nessa litologia, tendo sido descrita por Dutra et al. (2002) e reconhecida pela SIGEP como patrimônio espeleológico.

ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA PESQUISA CIENTÍFICA

Na figura 20 é apresentado um mapa síntese das áreas prioritárias para conservação e na figura 21 uma tabela dos distritos espeleológicos com suas respectivas proposições de áreas prioritárias. Na figura 22 é apresentada uma síntese de cada uma das áreas prioritárias propostas com sua situação específica. Como explicado, essas áreas foram propostas com base nos estudos existentes e na indicação dos especialistas que escreveram os demais capítulos

que compõem esta obra, bem como em sugestão enviada pelos espeleólogos Tiago Vilaça Bastos e Ian Dutra, durante a consulta pública no site da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE). Todas essas áreas devem ser consideradas prioritárias também para pesquisa científica que devem ser sempre concentradas na prevenção de danos ao patrimônio natural e cultural das cavidades naturais subterrâneas em rochas ferruginosas.

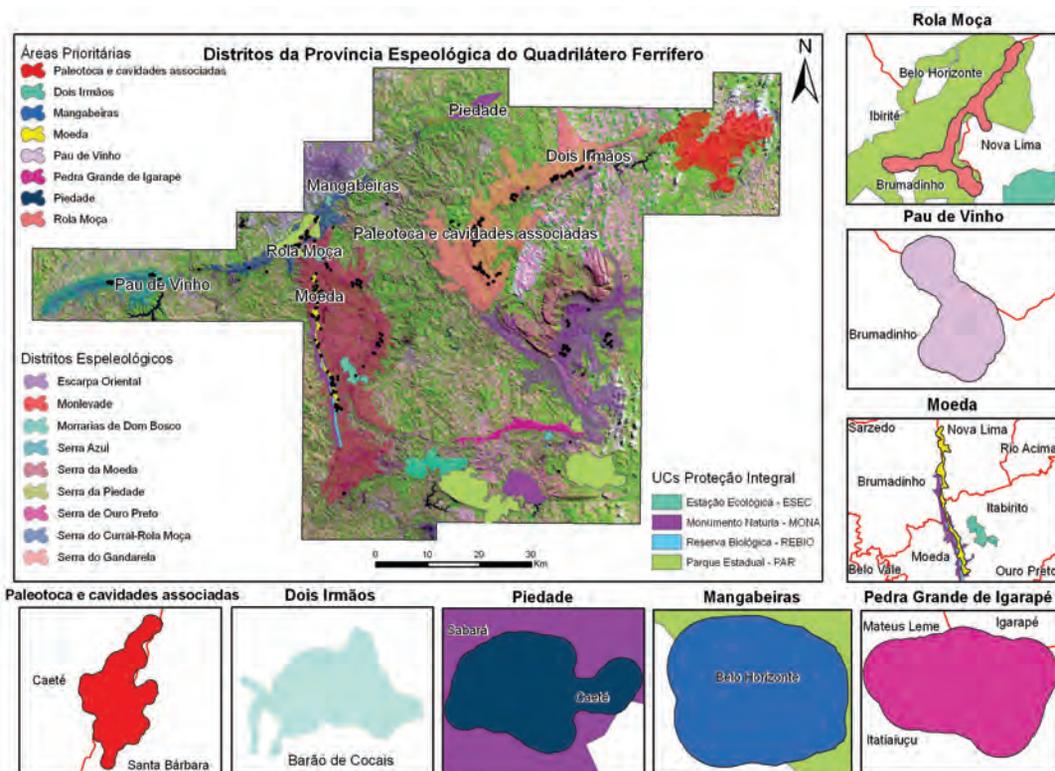


Figura 20 - Mapa síntese das áreas prioritárias, sua localização nos distritos espeleológicos e relação com Unidades de Conservação de proteção integral. Elaborado pelos autores.

Distrito espeleológico	Municípios total ou parcialmente abrangidos	Unidades de conservação presentes	Títulos minerários presentes	Áreas Prioritárias
Serra Azul	Brumadinho, Igarapé, Itatiaiuçu, Itaúna, Mateus Leme, São Joaquim de Bicas	APE Rio Manso, APE, Serra Azul, APA Igarapé, RPPN Inhotim	208	Pedra Grande de Igarapé, Pau de Vinho
Serras do Curral-Rola Moça	Belo Horizonte, Brumadinho, Ibirité, Mário Campos, Nova Lima, Sabará, Sarzedo	APE Rola-Moça e Bálamo, APE Mutuca, APE Barreiro, APE Taboão, RPPN Minas Tênis Clube, PAR Baleia, APE Fechos, PAR Aggeo Pio Sobrinho, PAR Fort Lauderdale, PAR Municipal Paredão da Serra do Curral, PAR Mangabeiras, PAR Serra do Rola Moça, RPPN Mata do Jequitibá, RPPN Mata do Jambreiro, APE Cercadinho, ESEC Cercadinho	92	Rola Moça, Mangabeiras
Serra do Gandarela	Barão de Cocais, Caeté, Itabirito, Raposos, Rio Acima, Santa Bárbara, São Gonçalo do Rio Abaixo	APA Sul RMBH, Possibilidade de Criação do Parque Nacional Serra do Gandarela a	221	Paleotoca e cavidades associadas, Dois Irmãos
Serra da Moeda	Belo Horizonte, Belo Vale, Brumadinho, Congonhas, Ibirité, Itabirito, Moeda, Nova Lima, Ouro Preto, Rio Acima	APE Rola-Moça e Bálamo, ESEC Fechos, APE Mutuca, APE Barreiro, APE Catarina, APE Fechos, PAR Serra do Rola Moça, RPPN Rio do Peixe, RPPN Capitão do Mato, RPPN Trovões, REBIO Florestal do Tumbá	368	Moeda
Serra da Piedade	Caeté, Sabará, Santa Luzia	MONA Serra da Piedade, APA Águas da Serra da Piedade, APA Descoberto, RPPN AngloGold Ashanti - Cuibá	50	Piedade

Figura 21 - Tabela com os distritos espeleológicos, os municípios, as áreas protegidas e o total de cavernas por distrito do Quadrilátero Ferrífero.

Não cabe aqui definir diferentes níveis de prioridade já que, para tal, seria necessário um estudo detalhado que levasse em consideração índices para analisar as atividades de pressão e vulnerabilidade de cada cavidade. Esse é um estudo mais genérico, no contexto do objetivo do livro. No entanto, é importante colocar que existem experiências bem sucedidas nesse sentido, que poderiam ser aplicadas às 711 cavidades cadastradas em rochas ferruginosas no Quadrilátero Ferrífero, com atenção especial para aquelas inseridas em áreas aqui classificadas como prioritárias.

Donato et al. (2014) realizaram um estudo para nove cavidades no município de Laranjeiras, Sergipe. Os autores propuseram e aplicaram um método para definição de áreas prioritárias para

conservação desenvolvido em três etapas: impacto e pressão sobre a cavidade; análise de indicadores relacionados ao ambiente biótico, abiótico e antrópico. Para estes dois itens são atribuídas notas que variam de 0 a 100. No caso do impacto e pressão, são analisadas as atividades que interferem na cavidade, tais como: mineração, agricultura, turismo, urbanização, dentre outras - notas menores mostram maior integridade das cavidades. A partir dessas notas, as cavidades são classificadas em: intacta; estável; vulnerável; em perigo; criticamente em perigo e extinta. Na segunda etapa, são analisados indicadores qualitativos considerando ausência ou presença de: animais com troglomorfose; grupos de invertebrados; guano; fósseis; descaracterização do ambiente; vestígios arqueológicos; beleza cênica; patrimô-

Áreas Prioritárias	Municípios total ou parcialmente abrangidos	Unidades de conservação presentes	Títulos minerários presentes	Áreas total (ha)	Referências para indicação de áreas prioritárias
Pau de Vinho	Brumadinho, São Joaquim de Bicas	APE Rio Manso	12	146	Campello e Haddad (2011); Ruchkys e Machado (2012)
Pedra Grande	Igarapé, Itatiaiuçu, Mateus Leme	APE Rio Manso, APA Igarapé, APE Serra Azul	22	97	Campello et al. (2012)
Rola Moça	Brumadinho, Belo Horizonte, Ibirité, Nova Lima	APE Rola Moça e Bálamo, APE Mutuca, APE Barreiro, APE Catarina, APE Fechos, PAR Serra do Rola Moça	25	692	Pereira et al. (2012); Gomes et al. (2013); Baeta e Piló (2014) - nesta obra
Paleotoca e cavidades associadas	Caeté, Santa Bárbara	APA Sul RMBH - Possibilidade de Criação do Parque Nacional Serra do Gandarela	11	799	Calux e Cassimiro (2014) - nesta obra; Ruchkys et al. (2013); Bittencourt et al. (2014) - nesta obra; Baeta e Piló (2014) - nesta obra
Dois Irmãos	Barão de Cocais	Nenhuma UC	4	117	Sugestão dos espeleólogos Tiago Vilaça Bastos e Ian Dutra
Moeda	Brumadinho, Itabirito, Moeda, Nova Lima	APA Sul RMBH, MONA Serra da Moeda, REBIO Campos Rupestres de Moeda Norte, REBIO Campos Rupestres de Moeda Sul, MONA Mãe D'Água	38	2076	Baeta e Piló (2014) - nesta obra; Ferreira (2005); Brant (2008); Carste Consultores Associados (2013) Travassos (2014) - nesta obra
Mangabeiras	Belo Horizonte	APA Sul RMBH, PAR Mangabeiras	4	57	Lima et al. (2012.); Silva et al. (2010)
Piedade	Caeté, Sabará	APA Águas da Serra da Piedade, MONA Serra da Piedade	4	220	Pereira (2012); Ruchkys et al. (2009); Cassimiro et al. (2011); Bichuete et al. (2014) - nesta obra; Travassos (2014) - nesta obra; Calux e Cassimiro (2014) - nesta obra

Figura 22 - Síntese de cada uma das áreas prioritárias propostas com sua situação específica

nio cultural; espeleotemas; água permanente; vegetação natural no entorno da cavidade; outros elementos cársticos no entorno; localização dentro de unidade de conservação; antropização visível; construções ou mudanças ambientais. Neste item também são atribuídas notas. Por fim, a combinação das duas avaliações anteriores é colocada em uma equação para gerar um índice de prioridade de conservação e as cavidades são assim classificadas: intensa; alta; média, modera-

da e baixa prioridade. Um estudo detalhado utilizando e adaptando essa metodologia, inicialmente aplicada em carste carbonático, poderia ser aplicada em cavidades em rochas ferruginosas.

No caso do Quadrilátero Ferrífero é necessário ainda uma boa base de dados e estudos que contemplem os aspectos necessários para aplicação do método proposto por Donato et al. (2014). Em uma análise preliminar, no entanto, pode-se afirmar que áreas prioritárias para conservação

aqui apresentadas não estão localizadas em Unidades de Conservação de proteção integral: como as áreas dos distritos Serra Azul e Gandarela, que são as mais vulneráveis e devem ser tratadas de forma mais urgente. As cavidades encontradas no distrito Serra da Moeda, podem ser consideradas como prioritárias para pesquisa científica. Os estudos realizados por Baeta e Piló (2015), nesta obra, indicam sua grande potencialidade para descobertas arqueológicas. As cavidades desse distrito ainda não foram alvo de pesquisas envolvendo valoração, com exceção do relatório apresentado pela Carste Consultores Associados de 2013. As cavidades nos distritos Serras do Curral - Rola Moça e Serra da Piedade devem ser tratadas

como prioritárias no tocante à necessidade do plano de manejo espeleológico já que se encontram inseridas dentro de Unidades de Conservação de proteção integral.

Cabe destacar ainda que a ocorrência de cavidades naturais subterrâneas não está centrada unicamente nas formações ferríferas da Formação Cauê (amplamente mapeada), mas também ocorrem associadas à canga que tem distribuição espacial mais abrangente. Carmo (2010) apresenta uma tabela sobre a ocorrência de canga no Quadrilátero Ferrífero (Figura 23), a princípio, todas as áreas por ele citadas podem ser consideradas como prioritárias para a investigação científica associada ao patrimônio espeleológico.

Estrutura ou Formação Geológica	Municípios	Localidades/Topônimos
Chapada de Canga	Catas Altas Mariana	Chapada de Canga Morro da Água Quente
Serra do Curral	Belo Horizonte Brumadinho Caeté Ibirité Igarapé Itatiaiuçu Mario Campos Mateus Leme Nova Lima Sabará São J. de Bicas Sarzedo	Serra da Mutuca Serra da Piedade Serra de Itatiaiuçu Serra do Curral Serra do Rola Moça Serra dos Três Irmãos Serra do Barreiro
Sinclinal Alegria	Mariana Ouro Preto	
Sinclinal Conta História	Mariana Ouro Preto	Alto do Conta História; Timbopeba; Serra de Capanema; Serra do Batatal.
Sinclinal Dom Bosco	Mariana Ouro Branco Ouro Preto	Saramenha, Serra da Bocaina; Serra da Brígida; Serra do Itacolomi; Serra de Ouro Branco; Serra do Fundão; Serra de Ouro Preto; Tripuí
Sinclinal Gandarela	Barão de Cocais Caeté Rio Acima Santa Bárbara São Gonçalo do Rio Abaixo	Platô da Lagoa Grande Serra da Pedra Formosa Serra de Gandarela Serra de Gongo Soco Serra do Tamanduá Serra do Machado
Sinclinal Moeda	Belo Vale Brumadinho Congonhas Itabirito Jeceaba Moeda Nova Lima Ouro Preto Rio Acima	Serra da Moeda; Morro do Chapéu Morro do Tamanduá Serra da Boa Morte Serra da Calçada; Serra da Gama Serra de Itabirito; Serra das Almas; Serra do Galinheiro; Serra de Belo Vale Serra das Serrinhas Serra do Pires; Serra do Batateiro Serra dos Mascates; Serra dos Trovões.
Sinclinal Ouro Fino	Itabirito Santa Bárbara	Serra de Ouro Fino
Outros	Mariana Brumal Ouro Preto	Serra de Antônio Pereira Serra das Andorinhas

Figura 23: Locais de ocorrência de canga no Quadrilátero Ferrífero. Fonte: Carmo (2010)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Historicamente, a região do Quadrilátero Ferrífero sofre com as pressões de atividades antrópicas com destaque para mineração, principal atividade econômica da região desde os fins do século XVII. Nos últimos anos, a mineração em ferro tem levado a degradação e supressão de cavidades naturais subterrâneas nem sempre acompanhadas de estudo prévio. Nesse sentido, é necessário identificar e promover a salvaguarda de um número mínimo de cavidades naturais subterrâneas em rochas ferruginosas, para ilustrar a importância do patrimônio espeleológico dessa região. Vale ressaltar que a disponibilidade de reservas minerais é reconhecida, mas a exploração mineral não deve ser a única preocupação dos gestores públicos.

Os polígonos definidos a partir dos dados disponíveis como de prioridade alta para conservação representam menos de 3% da área do Distrito Espeleológico Serra Azul. Das 61 cavidades inseridas nesse distrito, 18 estão na Área Prioritária Pedra Grande de Igarapé (com uma cavidade no município de Mateus Leme e 17 no município de Itatiaiuçu), 34 na Área Prioritária Pau de Vinho, sendo 2 em São Joaquim de Bicas e 32 em Brumadinho. Os polígonos definidos a partir dos dados disponíveis como de prioridade alta para conservação representam 4% da área do Distrito Espeleológico Serra da Moeda, onde existem 155 cavidades, sendo que 95 se encontram na Área Prioritária da Moeda, com 32 ocorrências em Nova Lima, 16 em Brumadinho, 7 no município de Moeda e 40 em Itabirito. No Distrito Espeleológico Serra da Piedade, a área proposta como prioritária para conservação, representa 6% do distrito, onde estão cadastradas 52 cavidades, sendo que todas se encontram na Área Prioritária da Piedade, com 32 ocorrências no município de Sabará e 20 em Caeté. O Distrito Espeleológico Serra do Gandarela possui 304 cavidades, das quais 78 estão inseridas na Área Prioritária Paleotoca e cavidades associadas, que ocupa cerca de 2% da área do distrito. No município de Santa Bárbara encontram-se 31 cavidades e 47 em Caeté. Ainda na Serra do Gandarela, a Área Prioritária para conservação Dois Irmãos possui 84 cavidades, todas localizadas nos municípios de Barão de Cocais. Essa área ocupa menos de 1% do Distrito Espeleológico Serra do Gandarela. No Distrito Espeleológico Serras do Curral-Rola Moça existem 61 cavidades, sendo que 39 estão inseridas na Área Prioritária Rola Moça

correspondente a esse distrito e 4 na Área Prioritária Mangabeiras que somadas correspondem a apenas 10% do Distrito Espeleológico Serra do Curral-Rola Moça. Na Área Prioritária Rola Moça, 10 cavidades estão no município de Ibirité, 7 em Brumadinho, 10 em Belo Horizonte e 13 em Nova Lima. Na Área Prioritária Mangabeiras, as 4 cavidades encontram-se em Belo Horizonte. Para estas áreas é emergencial a necessidade da efetiva conservação das cavidades.

A maior parte das áreas indicadas como prioritárias coincidem com Unidades de Conservação já criadas pelo poder público. No entanto, é importante tecer algumas considerações sobre a efetividade na proteção do patrimônio natural e cultural nestas Unidades de Conservação. Euclides (2011) coloca que no caso das APes, não é possível afirmar precisamente se o (limitado) controle de uso do solo que promovem se deve à instituição das áreas como APes ou ao fato de que grande parte dos terrenos por elas abrangidos já pertenciam ao poder público.

Segundo o site da Associação Brasileira dos Membros Ministério Público de Meio Ambiente (ABRAMPA), um diagnóstico divulgado em 2012 pelo Ministério Público de Minas Gerais (MPMG) revela que, dos 605.921,67 hectares de áreas protegidas pelas Unidades de Conservação, apenas 179.529,23 hectares (29,62%) estão regularizados. Os 426.392,44 hectares restantes - 70,38% das Unidades de Conservação - ainda não estavam regularizados fundiariamente, ou seja, as propriedades não foram adquiridas pelo Estado. No caso do Quadrilátero Ferrífero, algumas Unidades de Conservação ainda só existem no papel, faltando, nesse caso, principalmente o cumprimento de normas legais pelo poder público no que se refere à estruturação e gestão adequada.

Merece destaque o esforço louvável do Ministério Público (MP) em ações para obrigar o Estado a adotar medidas de regularização das Unidades de Conservação. Mesmo com ações judiciais do MP, parece que o Estado esquece a existência de normas legais, e, parte dos recursos que deveria, por lei, ser investido nas áreas protegidas não está sendo devidamente empregado. O site da AMBRAPA aponta que o saldo na conta do Estado de Minas Gerais, em dezembro de 2012, era de aproximadamente R\$ 98 milhões. Entretanto, segundo informações presta-

das pelo então secretário de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, no ano anterior foram empenhadas despesas de pouco mais de R\$ 5 milhões para a regularização fundiária, o que corresponde a apenas 5,36% do montante disponível. Em abril de 2013, o valor disponível para investimento nas Unidades de Conservação era de R\$ 111.255.236,78.

Euclides (2013) fez uma análise dos repasses da CFEM para os municípios mineradores do Quadrilátero Ferrífero e constatou que, dos municípios analisados, 15 receberam mais de R\$1 milhão, nos seis primeiros meses de 2010. Desses 15, um terço se aproximou de R\$10 milhões ou até mais. Trata-se dos Municípios de Nova Lima, Itabira, Mariana, São Gonçalo do Rio Abaixo e Congonhas, tradicionais focos da mineração em Minas Gerais. A CFEM que recebem tem origem principalmente no minério de ferro.

Esses valores mostram que a efetivação da estruturação e gestão adequada das Unidades de Conservação não é financeira, falta vontade política no cumprimento da lei. Se os recursos decorrentes da CFEM e Compensação Ambiental das empresas de mineração que atuam no Quadrilátero Ferrífero fossem devidamente aplicados (nas porcentagens exigidas por lei) nas Unidades de Conservação já criadas, principalmente na sua estruturação, elaboração de planos de manejo (inclusive espeleológico), programas de educação e interpretação ambiental, já teria um grande avanço na efetiva conservação do patrimônio espeleológico regional. Cabe lembrar que os recursos da CFEM devem, por lei, ser aplicados em projetos de melhoria da infraestrutura, da qualidade ambiental, da saúde e da educação. Sua aplicação nos quesitos qualidade ambiental e educação pode ser direcionada para as Unidades de Conservação, inclusive em projetos de cunho turístico e educação ambiental.

AGRADECIMENTO

Aos espeleólogos Marcos Santos Campello e Eduardo Abjaud Haddad que deram início aos estudos espeleológicos no Distrito Espeleológico Serra Azul e nos apresentaram estas áreas

prioritárias; e aos espeleólogos Tiago Vilaça Bastos e Ian Dutra pela indicação da área prioritária Dois Irmãos no Distrito Serra do Gandarela.

NOTAS

¹ Segundo o SNUC, a zona de amortecimento ou ZA é o entorno de uma Unidade de Conservação, onde as atividades humanas estão sujeitas a normas e restrições específicas, com o propósito de minimizar os impactos negativos sobre a unidade.

REFERÊNCIAS

ABRAMPA - Associação Brasileira dos Membros do Ministério Público de Meio Ambiente. *MPMG conclui diagnóstico sobre as Unidades de Conservação de Minas Gerais*, 2012. Disponível em: <<http://abrampa.jusbrasil.com.br/noticias/100577784/mpmg-conclui-diagnostico-sobre-as-unidades-de-conservacao-de-minas-gerais>>. Acesso em: abr. 2014.

AULER, A.S.; RUBBIOLI, E.; BRANDI, R. *As Grandes Cavernas do Brasil*. Belo Horizonte: Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, 2001. 228p.

BRANT Meio Ambiente. *Patrimônio natural-cultural e zoneamento ecológico-econômico da Serra da Moeda: uma contribuição para sua conservação*. Belo Horizonte: Sindiextra/Fiemg, 2008.

CAMPELLO, M. S.; HADDAD, E. A. *Relatório espeleológico complementar: Projeto de Ampliação de Serra Azul*. MMX - Grupo EBX Brumadinho, Igarapé e São Joaquim de Bicas, Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011 (não publicado).

CAMPELLO, M. S.; RUCHKYS U. A.; HADDAD, E. A.; MACHADO, M. M. M. *Cavidades Naturais da Pedra Grande de Igarapé - Geossítio de Relevância Espeleológica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, Rio de Janeiro, v. 35, n.1, p. 252-260, 2012.

- CARMO, F.F. Importância Ambiental e Estado de Conservação dos Ecossistemas de Cangas no Quadrilátero Ferrífero e Proposta de Áreas-Alvo para a Investigação e Proteção da Biodiversidade em Minas Gerais. 2010. 90f. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- CARSTE CONSULTORES ASSOCIADOS. Diagnóstico espeleológico e análise de relevância das cavidades do projeto Várzea do Lopes, Itabirito, MG, 2013. 235p. (Relatório). Disponível em: <http://www.institutodocarste.org.br/br/images/stories/docs_08-2013/gerdau/varzea_Lopes.pdf>. Acesso em: abr. 2014.
- CASSIMIRO, R. PEREIRA, M.C.; GUERRA, A.; CAMARGO, R.; HISSA, L.de B.V.; FARIA, L.E.; RENGER, F.E. Referências históricas sobre os “milagres” e as cavernas a Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 31, 2011, Ponta Grossa. Anais... Ponta Grossa: SBE/GUPE/UEPG, 2011. p.357-364. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais31cbe/31cbe_357-364.pdf>. Acesso em: abr. 2014.
- CASTRO, P. T. Cangas: a influência da geodiversidade na biodiversidade. In: SIMPÓSIO AFLORAMENTOS FERRUGINOSOS NO QUADRILÁTERO FERRIFERO: BIODIVERSIDADE, CONSERVAÇÃO E PERSPECTIVAS DE SUSTENTABILIDADE, 1, 2008, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: UFMG, 2008. 1 CD-ROM. p.30-51.
- CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS DO INSTITUTO CHICO MENDES (CECAV/ICMBio). Termo de referência para o plano de manejo espeleológico de cavernas com atividades turísticas. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2008. 12p.
- CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS DO INSTITUTO CHICO MENDES (CECAV/ICMBio). Oficina sobre a área de influência de cavidades naturais subterrâneas - Relatório final. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2013. 9p. Disponível em: <www.icmbio.gov.br/cecaav/images/stories/projetos-e-atividades/PAN/PAN_Cavernas_do_SF_relatorio_final_oficina_area_influencia_091013.pdf>. Acesso em: abr. 2014.
- COSTA, S. A. N. *Áreas de Proteção Especial - Melhor conhecê-las, para melhor defendê-las*, 2013. Disponível em: <www.jurisway.org.br/v2/dhall.asp?id_dh=12272>. Acesso em: mai. 2014.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. *Sobre a CFEM*. Disponível em: <www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=60>. Acesso em: 10 jun. 2014.
- DONATO, C. R.; RIBEIRO, A. S.; SOUTO, L. S. A Conservation Status Index, as an Auxiliary Tool for the Management of Cave Environments. *International Journal of Speleology*, Tampa, USA, v.43, n.3, p. 315-322, 2014.
- DORR, J.V.N. 1969. *Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. USGS/DNPM. Professional Paper 641-A, 110p, 1969.
- DUTRA, G.M.; RUBBIOLI, E.L.; HORTA, L.S. Gruta do Centenário, Pico do Inficionado (Serra da Caraça), MG: A maior e mais profunda caverna quartzítica do mundo. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; QUEIROZ, E.T.; WINGE, M.; BERBERTBORN, M. (Ed.). *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. DNPM/CPRM/SIGEP: Brasília, 2002. p.431-441.
- EUCLYDES, A.C.P. *Criação de Unidades de Conservação na periferia sul da metrópole belo-horizontina: elementos para uma discussão sobre a produção do espaço de reserva*. Disponível em: <<http://xiisimpurb2011.com.br/app/web/arq/trabalhos/8c8c9e5d38fc46f64982459f5368d2aa.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2014.
- EUCLYDES, A.C.P. Contradições da política ambiental por meio de incentivos financeiros: os casos do ICMS ecológico e da CFEM nos municípios do Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brasil). *Revista Árvore*, Viçosa, v.37, n.6, 2013.
- FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. *A mineração de ferro na Serra de Itatiaiuçu*. FEAM: Belo Horizonte, 2012. 312p. (Relatório Final).
- FERREIRA, L.R. 2005. A vida subterrânea nos campos ferruginosos. *O Carste*, Belo Horizonte, v.17, n.3, p.106-115, 2005.
- GEOMIL - SERVIÇOS DE MINERAÇÃO. *Estudo de Impacto Ambiental Mineração Serra Azul -MSA Projeto Dois Irmãos*, 2013. Volume I, 594p.
- GOMES, A.M.; ARAUJO, A.V.; FALCÃO, L.A.D; RODRIGUES, M.S.P.R.; CARMO, F.F.; PAGLIA, A.P. Seleção de cavernas ferruginosas como abrigo por morcegos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil In: RASTEIRO, M.A.; MORATO, L. (Orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 32, 2013, Barreiras. *Anais...* Campinas: SBE, 2013. p.131-136. Disponível em: <www.cavernas.org.br/anais32cbe/32cbe_131-136.pdf>. Acesso em: mai. 2014.
- ICMBIO. Parque Nacional da Serra do Gandarela: estudos técnicos para a criação de unidade de conservação federal. ICMBio: Brasília, 2010. 103p. Disponível em: <www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/o-que-fazemos/Estudo%20que%20originou%20a%20proposta.pdf>. Acesso em: mai. 2014.
- IEF-INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS. *Plano de Manejo para o Parque Estadual da Serra do Rola Moça, incluindo a Estação Ecológica de Fechos*. Belo Horizonte: Governo do Estado de Minas Gerais, Secretaria de Meio Ambiente, 2007. 80p. Disponível em: <www.ief.mg.gov.br/images/stories/Plano_de_Manejo/Rola_Moca/enc4_pesrm_eef-995.pdf>. Acesso em: mai. 2014.

KARMANN, I.; SANCHÉZ, L. H. Distribuição das rochas carbonáticas e províncias espeleológicas do Brasil. *Espeleo-Tema*, São Paulo, n.13, p.105-167, 1979.

LIMA, K.M.; FARIA, L.E.; OLIVEIRA, E. G. *Caracterização Biológica de duas Cavernas do Parque das Mangabeiras, Belo Horizonte, Minas Gerais*. 2012. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário UNA Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

MEYER, B.O.; ROSADA, T.R.; LUCON, T.N. Valoração da Gruta da Igrejinha, Ouro Preto (MG) para seu possível enquadramento dentro dos novos limites do Parque Estadual Serra do Ouro Branco proposto pelo Projeto de lei Nº 3.405/2012. In: RASTEIRO, M.A.; MORATO, L. (Orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 32, 2013, Barreiras. *Anais...*Campinas: SBE, 2013. p.307-317. Disponível em: <www.cavernas.org.br/anais32cbe/32cbe_307-317.pdf>. Acesso em: mai. 2014.

NOTA JURÍDICA. *Diretoria de Áreas Protegidas*: 109/2012, 2012.

OLIVEIRA, O. A. B.; OLIVITO, J. P. R.; RODRIGUES-SILVA, D. Caracterização da unidade espeleológica e das unidades geomorfológicas da região do Quadrilátero Ferrífero - MG. *Espeleo-Tema*, Campinas, v.22, n.1, p. 61-80, 2011. Disponível em: <www.cavernas.org.br/espeleo-tema/espeleo-tema_v22_n1_061-080.pdf>. Acesso em: mai. 2014.

PEREIRA, M. C. *Aspectos genéticos e morfológicos das cavidades naturais da Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. 2012. 150 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

PEREIRA, M.C.; STÁVALE, Y.O.; SALGADO, A.A.R. Estudo da gênese das cavidades e depressões em minério de ferro - Quadrilátero Ferrífero/MG: serras do Rola Moça e do Gandarela *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.13, n.3, p.245-253, 2012.

RUCHKYS, U.A.; BITTENCOURT, J.S.; CARMO, F.F. *Avaliação preliminar da paleotoca da megafauna extinta na Serra do Gandarela como geossítio do Geopark Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Belo Horizonte: UFMG, 2013. Relatório de Pesquisa (não publicado).

RUCHKYS, U.A.; BITTENCOURT, J.S.; BUCHMANN, F.S.C. A paleotoca da Serra do Gandarela e seu potencial como geossítio do Geoparque Quadrilátero Ferrífero. *Caderno de Geografia*, Belo Horizonte, v.24, n.2, p.249-263, 2014. Disponível em:<periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/download/P.../7386>. Acesso em: fev.2015.

RUCHKYS, U.A., MACHADO, M.M.M. *Avaliação preliminar do sítio de Pau de Vinho, para sua valorização e aproveitamento geoturístico, educativo e/ou científico no contexto do Geopark Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Belo Horizonte: UFMG, 2012. Relatório de Pesquisa (não publicado).

RUCHKYS, U. A.; RENGER, F. E.; NOCE, C. M.; MACHADO, M. M. M. Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero, MG – da lenda do Sabarabuçu ao patrimônio histórico, geológico, paisagístico e religioso. In: SCHOBENHAUS, Carlos; CAMPOS, Diógenes de Almeida; QUEIROZ, Emanuel Teixeira de; WINGE, Manfredo; BERBERT-BORN, Mylene Luíza. (Orgs.). *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. DNPM/CPRM/SIGEP: Brasília, 2009.

SILVA, F. R. *A paisagem do Quadrilátero Ferrífero, MG: potencial para o uso turístico da sua geologia e geomorfologia*. 2007. 144 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

SILVA, L.; CASALI, A.K.; FARIA, L.E. *Levantamento e caracterização de fungos filamentosos de duas cavernas em canga laterítica no Parque Municipal das Mangabeiras, Belo Horizonte, Minas Gerais*. 2010. 21f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário UNA Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

SIMMONS, G.C. Canga caves in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *The National Speleological Society Bulletin*, 25: 66-72, 1963.

SPELAYON CONSULTORIA. *Análise de relevância de cavidades da Mina Viga, 2012*. 307p. Relatório. Disponível em: <www.cavernas.org.br/deposito/espeleologia_mina_viga_ferrous.pdf>. Acesso em: abr. 2014.

SUPRAM - Superintendência Regional de Regularização Ambiental. Parecer único CM Nº 469- 2012. Parecer referente ao Licenciamento Ambiental da Mina Viga. Disponível em: <www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/URCS_SupramCentral/RioParaopeba/61/8.2-ferrous-pu.pdf>. Acesso em: jun. 2014.

SUPRAM - Superintendência Regional de Regularização Ambiental. *Parecer único CM nº 488/2012, 2012. Parecer referente ao Licenciamento Ambiental do Complexo Alegria 2012*. Disponível em: <www.semam.mg.gov.br/images/stories/URCS_SupramCentral/RioVelhas/60/19.1-samarco.pdf>. Acesso em: abr. 2014.

VALENTIM, R. F.; OLIVITO, J. P. R. Unidade Espeleológica Carajás: delimitação dos enfoques regional e local, conforme metodologia da IN-02/2009 MMA. *Espeleo-Tema* v.22, n.1, p. 41-60, 2011. Disponível em: <www.cavernas.org.br/espeleo-tema/espeleo-tema_v22_n1_041-060.pdf>. Acesso em: jun. 2014.

VIVEIROS, J.F.M. *Serra do Itatiaiuçu - O futuro do minério no Quadrilátero Ferrífero Panorama e desafios após aquisições*. 2009. Trabalho apresentado no 13º Congresso Brasileiro De Mineração, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00000554.pdf>. Acesso em: mai. 2014.

CAVERNAS FERRUGINOSAS EM
UNIDADES DE CONSERVAÇÃO:
GARANTIA DE PROTEÇÃO?
UM ESTUDO DE CASO
NA APA SUL RMBH



FLÁVIO FONSECA DO CARMO

Instituto Prístino

IARA CHRISTINA DE CAMPOS

Instituto Prístino

LUCIANA H. YOSHINO KAMINO

Instituto Prístino



INTRODUÇÃO

Até o momento já foram registradas 743 cavidades naturais subterrâneas no Quadrilátero Ferrífero, segundo a base de dados do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas - CECAV¹(2014). Desse total, 89% representam cavidades ferruginosas desenvolvidas em cangas e nas formações ferríferas bandadas – conhecidas como itabiritos – que merecem destaque também por abrigarem uma fauna de invertebrados com características singulares quanto à biodiversidade, funcionalidade trófica e vulnerabilidade (FERREIRA, 2005). Essa fauna abriga a maior riqueza média relativa e o maior número de espécies troglomórficas, quando comparada com as associadas às cavidades desenvolvidas em outras litologias no Domínio da Mata Atlântica (SILVA et al., 2011). Citam-se como exemplo para as cavidades ferruginosas do Quadrilátero as descrições recentes dos gêneros novos para a ciência, como a aranha *Brasilomma* (BRESCOVIT et al., 2012) e o hemíptero *Ferricixius* (HOCH; FERREIRA, 2012). Com relação a este último organismo, os autores destacam a importância científica do espécime, por ser o primeiro registro para o Brasil e o quinto para os Neotrópicos. Trata-se, portanto, de um organismo com elevado valor para a conservação em função de sua história evolutiva e distribuição restrita a apenas uma cavidade localizada na Serra do Itabirito, inserido na Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte (APA SUL RMBH), uma unidade de conservação de uso sustentável.

Além dos atributos bióticos, o sistema ferruginoso no qual se desenvolve a maioria das cavidades registradas para o Quadrilátero Ferrífero apresenta outros atributos de extrema importância para a conservação, como por exemplo: os serviços ambientais de recarga e armazenamento de água; valor cênico e religioso; além de registros paleontológicos, arqueológicos e geoambientais. Esses atributos foram determinantes para classificar o Quadrilátero entre as áreas prioritárias para a conservação, uso sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade brasileira (MMA, 2008).

Ao mesmo tempo, as cavernas ferruginosas estão atualmente sob forte pressão devido ao avanço das atividades de mineração (CAVALCANTI et al., 2012; CARMO et al., 2012). Na APA SUL RMBH, 97% de sua área encontra-se sobreposta por títulos minerários. Os títulos minerários de ferro, em fase de concessão de lavra, já sobrepõem cerca de 60% da área do sistema ferruginoso, representado geologicamente pelo Grupo Itabira (formações ferríferas bandadas da Formação Cauê) e pelas cangas associadas. Um exemplo crítico dessa realidade é o caso do já citado hemíptero troglóbico do gênero *Ferricixius*, onde Hoch e Ferreira (2012) destacaram a extrema ameaça de extinção devido aos impactos negativos já ocorridos na área de influência da única cavidade onde o espécime foi encontrado (Figura 1).

Considerando esse cenário, diagnosticamos qualitativamente a situação de risco das cavidades inseridas na APA SUL RMBH. Essas cavidades representam cerca de 40% de todas as cavidades ferruginosas registradas para o Quadrilátero. Após as análises, foram discutidos os principais marcos institucionais e algumas ferramentas metodológicas criados ou adaptados para o planejamento e gestão das cavidades ferruginosas.

A área de estudo focou a maior unidade de conservação de uso sustentável do Quadrilátero Ferrífero, abrangendo 165.160 ha, em parte ou na totalidade do território dos municípios de Belo Horizonte, Brumadinho, Caeté, Ibirité, Itabirito, Nova Lima, Raposos, Rio Acima e Santa Bárbara (Figura. 2). De acordo com o Cap. 1, Artigo 2º, XI, da Lei 9.985 (BRASIL, 2000), entende-se por uso sustentável:

A exploração do ambiente de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável.

CAVERNAS FERRUGINOSAS EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO: GARANTIA DE PROTEÇÃO?



Figura 1 - Caverna ferruginosa (destaque vermelho) em área de influência de um complexo minerário de ferro na região da Serra do Itabirito, APA SUL RMBH. Essa caverna (WGS 84 -UTM 23K, 619725 m E, 7764775 m S) representa o único registro do troglóbio raro *Ferricixius davidi* gen. n., sp. n. Adaptado de *Google Earth Pro*, acesso em junho de 2014. Elaborado pelos autores.

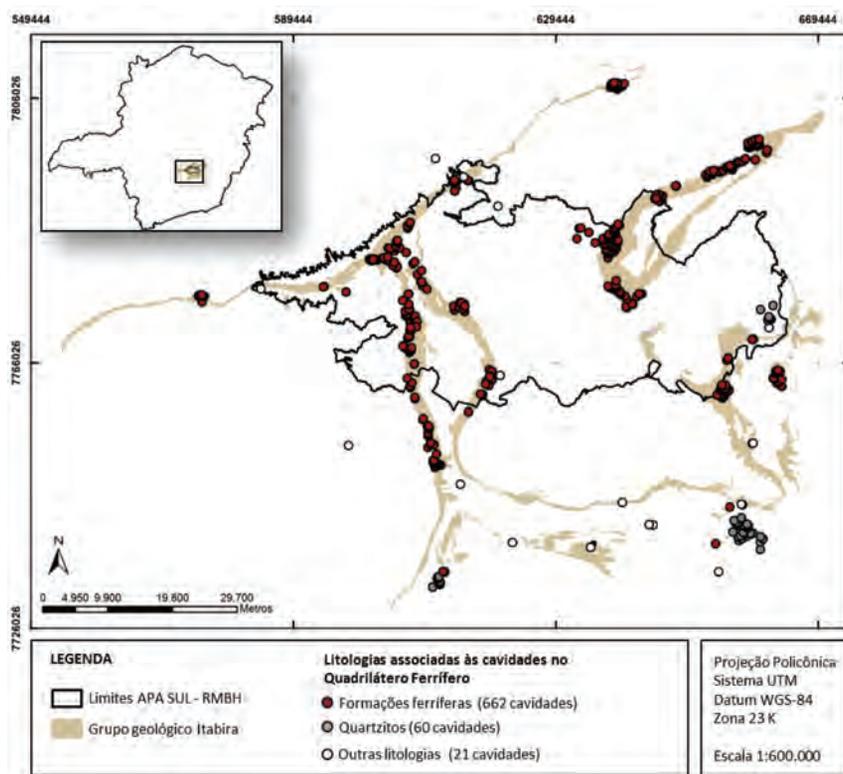


Figura 2 - Cavernas naturais subterrâneas registradas para o Quadrilátero Ferrífero (CECAV, 2014). Elaborado pelos autores.

ANÁLISE DE RISCO: INTERVENÇÕES EM ÁREAS DE CAVIDADES FERRUGINOSAS

A perda e a degradação de áreas naturais constituem o principal processo relacionado à erosão da biodiversidade (NOVACEK; CLELAND, 2001). Para sistemas frágeis, como os sistemas subterrâneos, intervenções aparentemente mínimas podem causar efeitos negativos relevantes. Por exemplo, o toque com as mãos em determinados tipos de espeleotemas (Figura 3) pode comprometer sua integridade física. Ainda, a alteração no microclima de uma caverna pode causar modificações das condições adequadas para a permanência de alguns organismos que habitam o seu interior. Portanto, torna-se fundamental o conhecimento do grau de ameaça das cavidades naturais, principalmente quando estão inseridas em unidades de conservação. Esse diagnóstico é essencial para que a gestão das cavidades e dos seus atributos bióticos e abióticos seja realizada de forma adequada.

A análise de risco desenvolvida no presente estudo foi baseada na avaliação qualitativa das alterações observáveis em um perímetro delimitado por um raio de 250 m gerado a partir da coordenada de uma cavidade registrada no banco de dados do CECAV (2014). Foram identificados os agentes causadores de perda ou degradação de áreas naturais, através do uso de imagens disponibilizadas no software Google Earth Pro, adaptando o método desenvolvido por Beaudette e O'Geen (2009). Dentro de cada raio foram consideradas como perdas ou degradação apenas intervenções físicas no substrato ferruginoso, como remoção do solo/rocha, supressão de vegetação ou alteração do substrato para a construção de estruturas como estradas, por exemplo.



Figura 3 – Espeleotema formado em cavidade ferruginosa, Serra de Gandarela, APA SUL RMBH. Foto: Flávio do Carmo.

A Resolução CONAMA 347/2004, que dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico, entende como área de influência para fins de avaliação de impacto ambiental:

área que compreende os elementos bióticos e abióticos, superficiais e subterrâneos, necessários à manutenção do equilíbrio ecológico e da integridade física do ambiente cavernícola.

Determinar, de fato, a área de influência de uma cavidade constitui um trabalho bastante complexo, envolvendo diagnóstico e monitoramento, ao longo do tempo, incluindo um elevado número de variáveis, entre as quais estão as próprias populações de organismos cavernícolas, direção e taxa de migração, microclima, direção e fluxo de água subterrânea, aporte de energia e matéria orgânica, entre outras. Cien-

tes dessa complexidade, adotamos um perímetro de 250 m de raio, projetado a partir da coordenada da cavidade. Nota-se que não estamos adotando o que preconiza a Resolução CONAMA 347/2004, no seu Art. 4º, § 3º, a saber:

Até que se efetive o previsto no parágrafo anterior, a área de influência das cavidades naturais subterrâneas será a projeção horizontal da caverna acrescida de um entorno de

duzentos e cinquenta metros, em forma de poligonal convexa.

Mas, assim como a resolução, adotamos de forma arbitrária os 250 m, para fins de ilustração dos riscos.

Os critérios para a classificação das intervenções observadas dentro do círculo com raio de 250 m foram apresentados na Tabela 1 e na Figura 4.

Tabela 1 - Lista da classificação e dos critérios utilizados na definição das intervenções observadas nas áreas de influência das cavidades naturais subterrâneas registradas na APA-SUL RMBH, Minas Gerais.

Classificação	Crítérios das Intervenções Observadas
Ausente	Não foram observadas alterações
Baixo	Intervenções que alteraram pequenas áreas localizadas em setores mais distantes da coordenada de uma cavidade
Médio	Intervenções que alteraram pequenas áreas localizadas em setores mais próximos da coordenada de uma cavidade
Alto	Intervenções que alteraram grande área
Supressão	Evidência de completa intervenção, provocando a supressão da cavidade

O resultado da análise de risco apontou uma situação de elevado grau de ameaça. Das 300 cavidades ferruginosas inseridas na APA SUL RMBH, não foram observadas intervenções no raio de 250 m para apenas 29%. Para as outras 213 foram observadas intervenções, sendo que em 106 cavidades as intervenções foram classificadas como média ou alta. Aparentemente foram suprimidas nove cavidades (Figuras 4 e 5). A mineração foi o agente mais frequente associado às intervenções observadas, seguido por estradas. Dois exemplos da rápida e irreversível degradação sofrida no perímetro das cavidades podem ser observados em complexos minerários nos municípios de Mariana e Nova Lima (Figura 6). Em oito anos, três cavidades tiveram cerca de 50% de suas áreas de influência comprometidas por intervenções minerárias em Mariana (Figura 6 - a e a'). Já em Nova Lima, a cavidade foi suprimida ao longo de quatro anos de avanço de lavra (Figura 6 - b e b').

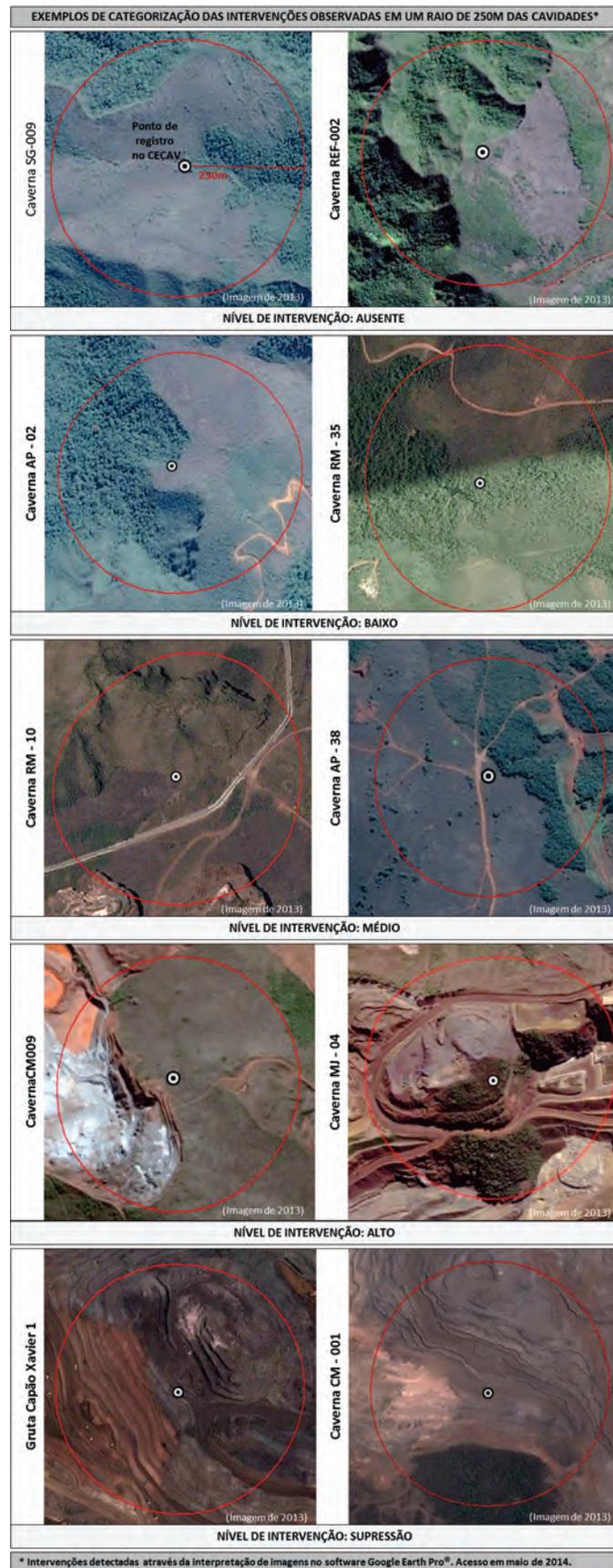


Figura 4 - Critérios para a classificação das intervenções observadas dentro do círculo com raio de 250 m projetado a partir da coordenada da cavidade. Elaborado pelos autores.

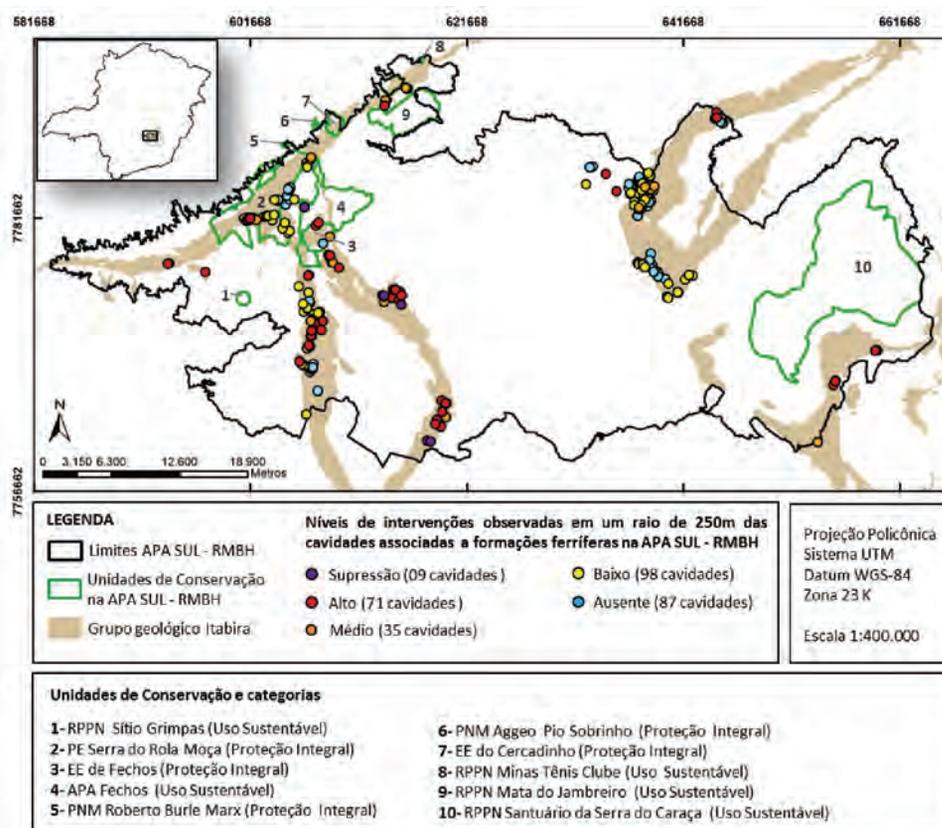


Figura 5 - Cavidades naturais subterrâneas associadas a formações ferríferas na APA SUL RMBH classificadas de acordo com níveis de intervenções observadas em um raio de 250 m do ponto de coordenada do CECAV (2014). Elaborado pelos autores.

Esse cenário precisa ser revertido, pois as alterações observadas geram impactos negativos ao sistema espeleológico ferruginoso. Esses impactos negativos podem ser: degradação visual, interferência nos fluxos de drenagem subterrânea, poluição dos aquíferos, vibração no corpo rochosos onde se desenvolveu a cavidade, supressão de vegetação, entre outros (CAVALCANTI et al., 2012). Essa degradação e perda de áreas naturais pode ainda gerar o colapso dos sistemas ecológicos, ou espeleológicos, em um momento ante-

rior ao da extinção das espécies (WOODWELL, 2002).

Considerando o marco institucional e legal, essa situação é paradoxal uma vez que todas as cavidades analisadas estão inseridas em unidades de conservação, algumas no regime de proteção integral. Sob a prerrogativa desse regime, deveria ser garantida a manutenção dos ecossistemas livres de alterações causadas por interferência humana, admitindo apenas o uso indireto dos seus atributos naturais (Art. 2º da Lei 9.985 de 2000).

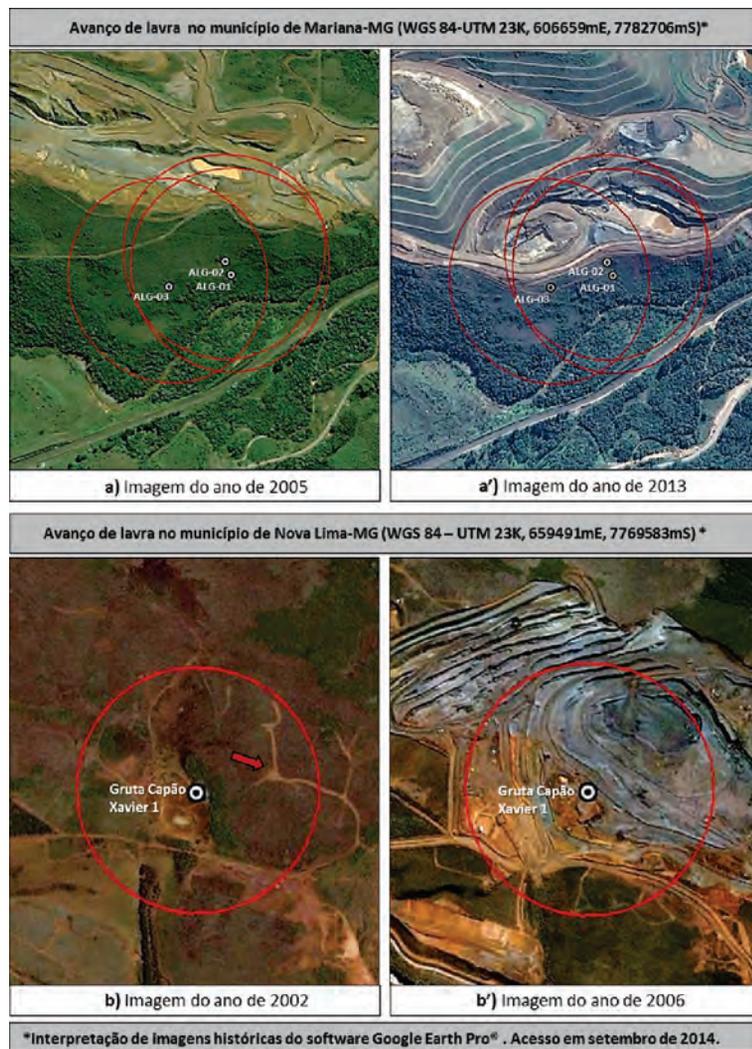


Figura 6: Avanço de lavra em complexos minerários nos municípios de Mariana e Nova Lima - MG. Em Mariana: a) situação das cavidades ALG-01, ALG-02 e ALG-03 no ano de 2005; a') situação das mesmas cavidades, no ano de 2013, com cerca de 50% das áreas dos perímetros irreversivelmente degradadas pela mineração. Em Nova Lima: b) situação da Gruta Capão Xavier 1, em 2002, onde observa-se indícios de estudos de prospecção mineral na área de influência (seta vermelha); b') no ano de 2006, a Gruta Capão Xavier 1 já foi suprimida. Elaborado pelos autores.

UNIDADES DE CONSERVAÇÃO E INSTRUMENTOS DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DAS CAVIDADES FERRUGINOSAS

As áreas protegidas são mundialmente reconhecidas como uma das ações humanas mais eficientes para a proteção e a conservação da diversidade biológica, dos serviços ambientais e dos processos ecossistêmicos (HOCKINGS, 2003; RODRIGUES et al., 2004). O Brasil foi o primeiro signatário da Convenção da Diversidade Biológica - CDB - um tratado internacional que solicitou aos países participantes a definição de metas com o

objetivo de reduzir a erosão da diversidade biológica priorizando um sistema de áreas protegidas que considerasse a representatividade dos ecossistemas. O estabelecimento de um sistema de áreas protegidas, onde medidas especiais precisam ser adequadas para a conservação *in situ* dos ecossistemas e áreas naturais, está entre as ações essenciais para a conservação da diversidade biológica (CDB, 1992).

No Quadrilátero Ferrífero existem diversas unidades de conservação. Dentro dos limites da APA SUL RMBH ocorrem outras 10 áreas protegidas (Figura 5), entre elas: Parque Estadual, Parque Municipal, Estação Ecológica e Reserva Particular do Patrimônio Natural.

O Decreto nº 35.624 de criação da APA SUL RMBH (MINAS GERAIS, 1994¹), em seu Artigo 2º, informa que essa área tem por objetivo proteger e conservar os sistemas naturais essenciais à biodiversidade, especialmente os recursos hídricos necessários ao abastecimento da população da Região Metropolitana de Belo Horizonte e áreas adjacentes, com vista à melhoria de qualidade de vida da população local, à proteção dos ecossistemas e ao desenvolvimento sustentado. Mas apesar de inseridas em áreas protegidas, as cavidades ferruginosas estão sob elevado grau de ameaça, demonstrando que a efetividade de uma unidade de conservação depende também de como se planeja e se executa a gestão. Dito de outra forma, a efetividade de proteção dos atributos ambientais e dos objetos de conservação dependerá substancialmente de um plano de manejo adequado às especificidades de cada área protegida.

O Plano de Manejo é considerado o principal documento técnico norteador de gestão e manejo dos recursos naturais. Seus principais objetivos são (MMA, 2002):

- Definir os objetivos específicos de manejo, orientando a gestão da UC.
- Dotar a UC de diretrizes para seu desenvolvimento.
- Definir ações específicas para o manejo da UC.
- Promover o manejo da Unidade, orientado pelo conhecimento disponível e/ou gerado.
- Estabelecer a diferenciação e intensidade de uso mediante zoneamento, visando à proteção de seus recursos naturais e culturais.
- Destacar a representatividade da UC no Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC - frente aos atributos de valorização dos seus recursos como: biomas, convenções e certificações internacionais.
- Estabelecer, quando couber, normas e ações específicas visando compatibilizar a presen-

ça das populações residentes com os objetivos da Unidade, até que seja possível sua indenização ou compensação e sua realocação.

- Estabelecer normas específicas regulamentando a ocupação e o uso dos recursos da zona de amortecimento (ZA) e dos corredores ecológicos (CE), visando à proteção da UC.
- Promover a integração socioeconômica das comunidades do entorno com a UC.
- Orientar a aplicação dos recursos financeiros destinados à UC.

De modo mais específico, o Artigo 2º da Resolução CONAMA 347/2004 define como plano de manejo espeleológico:

documento técnico mediante o qual, com fundamento nos objetivos gerais da área, se estabelece o seu zoneamento e as normas que devem presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais, inclusive a implantação das estruturas físicas necessárias à gestão da cavidade natural subterrânea.

Apesar de sua importância fundamental, várias unidades de conservação ainda não elaboraram seus planos de manejo (Tabela 2). Não há dúvida de que essa situação prejudica substancialmente que a unidade de conservação atinja seus principais objetivos. O Artigo 27, § 3º, da Lei 9.985 (BRASIL, 2000) estabelece que o Plano de Manejo de uma unidade de conservação deve ser elaborado no prazo máximo de cinco anos, contados a partir da data de sua criação. Portanto, no Quadrilátero Ferrífero existem várias unidades de conservação em situação irregular. Para as unidades de conservação que possuem plano de manejo, a situação não é adequada sob a perspectiva das cavidades, uma vez que não foram encontradas informações sobre um planejamento específico para o patrimônio espeleológico.

Em 2009 o Ministério do Meio Ambiente e o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio - publicaram a Portaria nº 316, que contém uma interessante prerrogativa para fins de reversão do preocupante quadro apontado neste capítulo (MMA; ICMBIO, 2009). Essa portaria explicita instrumentos complementares de implementação da Política Nacional da Biodiver-

sidade voltados para a conservação e recuperação de espécies ameaçadas de extinção: Listas Nacionais Oficiais de Espécies Ameaçadas de Extinção; Livro Vermelho; e os Planos de Ação Nacionais - PAN - para a conservação. Com relação às listas, a Portaria 43 informa que devem ser atualizadas anualmente, e que dentro do prazo máximo de cinco anos seja realizada uma revisão completa². No Quadrilátero Ferrífero, apesar de várias espécies de invertebrados cavernícolas terem distribuição restrita e estarem sob forte vulnerabilidade, nenhuma ainda foi citada no Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção (MACHADO et al., 2008). As listas vermelhas são mundialmente reconhecidas como uma ferramenta para subsidiar políticas públicas ambientais e tomadas de decisão que tratam da conservação e do uso racional dos recursos naturais (GINSBURG, 2001; CALLMANDER et al., 2005). Portanto, a Lista Vermelha da Fauna Ameaçada deve ser urgentemente atualizada.

Em 2010, durante a 10^a Conferência das Partes (COP 10) da Convenção da Diversidade Biológica, 193 países aprovaram um Plano Estratégico com 20 Metas Globais (Metas de Aichi) para 2020 (CDB, 2010). Assim, em 2011 o Ministério do Meio Ambiente lançou a iniciativa “Diálogos sobre Biodiversidade: construindo a estratégia brasileira para 2020” (UICN et al., 2011). Entre essas Metas, pelo menos quatro tem relação direta com medidas eficientes para a conservação das cavidades ferruginosas, pois tratam explicitamente da redução de perda e degradação de áreas naturais e da recuperação das áreas alteradas:

META 5 – reduzir a perda de habitat nativos:

Até 2020, a taxa de perda de todos os habitats nativos, inclusive florestas, terá sido reduzida em pelo menos a metade e, na medida do possível, levada a perto de zero, e a degradação e fragmentação terão sido reduzidas significativamente.

META 11 – expandir e implementar sistemas de áreas protegidas:

Até 2020, pelo menos 17% de áreas terrestres e de águas continentais e 10% de áreas marinhas e costeiras, especialmente áreas de especial importância para biodiversidade e serviços ecossistêmicos, terão sido conservados por meio de sistemas de áreas protegidas, geridas de maneira efetiva e equitativa, ecologicamente representativas e satisfatoriamente interligadas e por outras medidas espaciais de conservação, e integradas em paisagens terrestres e marinhas mais amplas.

META 12 – evitar as extinções das espécies:

Até 2020, a extinção de espécies ameaçadas terá sido evitada e sua situação de conservação, em especial daquelas sofrendo maior declínio, terá sido melhorada.

META 14 – restauração de ecossistemas provedores de serviços essenciais:

Até 2020, ecossistemas provedores de serviços essenciais, inclusive serviços relativos à água e que contribuem para a saúde, meios de vida e bem-estar, terão sido restaurados e preservados, levando em conta as necessidades de mulheres, comunidades indígenas, e de pobres e vulneráveis.

Em 2012 o ICMBio, através da Portaria n° 18, aprovou o PAN para a Conservação do Patrimônio Espeleológico nas Áreas Cársticas da Bacia do Rio do São Francisco. O Quadrilátero Ferrífero é alvo para a implementação de ações de conservação e gestão do PAN Cavernas do São Francisco, uma vez que integra uma das suas Áreas Cársticas. De acordo com o Artigo 2º, este Plano Ação Nacional tem como objetivo geral:

Garantir a conservação do Patrimônio Espeleológico brasileiro, através do seu conhecimento, promoção do seu uso sustentável e redução dos impactos antrópicos, prioritariamente nas áreas Cársticas da Bacia do rio São Francisco, nos próximos cinco anos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi identificada uma situação de risco para as cavidades ferruginosas inseridas na APA SUL RMBH. Estudos com métodos quantitativos devem ser estimulados para aumentar a acurácia da avaliação dos níveis de ameaça ao patrimônio espeleológico. Ainda que nossa avaliação seja qualitativa, não há dúvida sobre a urgência em tomadas de decisão envolvendo o planejamento de conservação e o uso racional dos sistemas ferruginosos. Trajano (2010) destaca que deve-se assumir o cenário mais desfavorável e optar por ações que garantam a proteção de tal cenário, sempre que houver evidências de que um ecossistema for frágil ou estiver ameaçado:

*Na ausência de dados científicos conclusivos, a opção é usar a lógica, sempre dentro do **princípio da precaução/prevenção**, que deve ser norteador de toda e qualquer política de conservação.*

Apesar da existência de um regime jurídico e de instrumentos de planejamento e gestão específicos para o patrimônio espeleológico, o cenário atual de degradação é preocupante. Destaca-se que em todo o Brasil não foi criada nenhuma unidade de conservação federal de proteção integral que abrigasse sítios relevantes de cavernas ferruginosas, indicando um desalinhamento com as diretrizes de políticas públicas de conservação e com os compromissos internacionais assumidos.

A socialização do conhecimento seguido pela conscientização das pessoas é o caminho para que o Estado, os tomadores de decisão, os empreendedores e outros atores da sociedade reconheçam a importância ambiental, científica e cultural das cavidades ferruginosas. Esse reconhecimento deve ser seguido por ações concretas de planejamento e manejo. Talvez não seja por acaso que a Meta 1 do Plano Estratégico Global é:

META 1 – conscientizar as pessoas sobre o valor da biodiversidade:

Até 2020, no mais tardar, as pessoas terão conhecimento dos valores da biodiversidade e das medidas que poderão tomar para conservá-la e utilizá-la de forma sustentável.

Tabela 2 - Lista das áreas protegidas citadas em bancos de dados oficiais.

Área Protegida ¹	Categoria SNUC	Ano criação	Área (ha)	Possui Plano de Manejo?	Cavidades ferruginosas ²
APA Sul RMBH	Uso Sustentável	Decreto nº 35.624 de 1994 (MINAS GERAIS, 1994 ¹)	165.160	Não	300 cavidades, incluindo todas as citadas abaixo
Reserva Particular do Patrimônio Natural Sítio Grimpas	Uso Sustentável	Portaria nº 108 de 1995 (IBAMA, 1995)	2	Não	Não
Parque Estadual Serra do Rola Moça	Proteção Integral	Decreto nº 36.071 de 1994 (MINAS GERAIS, 1994 ²)	3.940	Sim, mas sem um planejamento específico para cavidades naturais	Caverna RM-01 Caverna RM-03 Caverna RM-04 Caverna RM-18 Caverna RM-19 Caverna RM-20 Caverna RM-21 Caverna RM-25 Caverna RM-29 Caverna RM-33 Caverna RM-34 Caverna CX-004 Caverna CX-006 Caverna RM-26 Caverna RM-28 Caverna RM-30 Caverna RM-31 Caverna RM-32 Caverna RM-37 Caverna RM-41 Caverna CX-005 Caverna RM-38 Caverna RM-39 Caverna RM-40 Caverna RM-43 Caverna RM-02 Caverna RM-16 Caverna RM-17 Caverna RM-05 Caverna RM-06 Caverna RM-07 Caverna RM-08 Caverna RM-11 Caverna RM-12 Caverna RM-22
Estação Ecológica de Fechos	Proteção Integral	Decreto nº 36.073 de 1994 (MINAS GERAIS, 1994 ³)	603	Sim, mas sem um planejamento específico para cavidades naturais	Caverna REF-002 Caverna REF-003 Caverna REF-004 Caverna REF-005
Área de Proteção Especial Fechos	-	Decreto nº 22.327 de 1982 (JORNAL DE MINAS, 1982)	1.074	Não	GCX I Caverna RM-28 GCX II Caverna RM-30 Caverna REF-002 Caverna RM-31 Caverna REF-003 Caverna RM-32 Caverna REF-004 Caverna CX-005 Caverna REF-005 Caverna RM-38 Caverna CX-004 Caverna RM-39 Caverna CX-006 Caverna RM-40 Caverna RM-26 Caverna RM-43
Parque Natural Municipal Roberto Burle Marx	-	1994	17	Não	Não
Parque Natural Municipal Aggeo Pio Sobrinho	-	1996	60	Não	Não
Estação Ecológica do Cercadinho	Proteção Integral	Lei 15.979 de 2006 (MINAS GERAIS, 2006)	225	Não	Não
Reserva Particular do Patrimônio Natural Minas Tênis Clube	Uso Sustentável	Portaria nº 17 de 2000 (IEF, 2008)	15	Não	Não
Reserva Particular do Patrimônio Natural Mata do Jambreiro	Uso Sustentável	Portaria nº 70 de 1998 (IEF, 2008)	912	Não	Não
Reserva Particular do Patrimônio Natural Santuário da Serra do Caraça	Uso Sustentável	Portaria nº 32N de 1994 (IBAMA, 1994)	10.188	Sim, mas sem um planejamento específico para cavidades naturais.	Não

SNUC: sistema nacional de Unidades de Conservação; APA: Área de Proteção Ambiental; RMBH: região metropolitana de Belo Horizonte.

¹Fontes de dados consultadas em junho de 2014: www.mma.gov.br/areas-protetidas/cadastro-nacional-de-ucs;

www.ief.mg.gov.br/component/content/198?task=view; www.ief.mg.gov.br/images/stories/ucs_abril2008/rppnsestadauais_0408.pdf;

www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=1396; <http://belohorizonte.mg.gov.br/local/barreiro/fl-vio-marques-lisboa/parque-ecologico-roberto-burle-marx>; www.copasa.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=38esid=87etpl=printerview. ²CECAV (2014).

NOTAS

¹<http://www.icmbio.gov.br/cecav/downloads/mapas.html>

² Em 2014 o Ministério do Meio Ambiente publicou a Portaria nº 43 (MMA, 2014), com o mesmo teor, que revogou a Portaria Conjunta MMA/IBAMNA nº 316/2009.

REFERÊNCIAS

BEUADETTE, D.E.; O'GENN, A.T. Soil-Web: An online soil survey for California, Arizona, and Nevada. *Computers & Geosciences*, v. 35, n.2, p. 199-2128, 2009.

BRASIL, 2000. *Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000*. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da União, julho de 2000.

BRESCOVIT, A.D.; FERREIRA, R.L.; SILVA, M.S.; RHEIMS, C.A. *Brasilomma* gen. nov., a new prodidomid genus from Brazil (Araneae, Prodidomidae). *Zootaxa*, v. 3572, p. 23-32, 2012.

CALLMANDER, M.W.; SCHATZ, G.E.; LOWRY II, P.P. IUCN Red List Assessment and the Global Strategy for Plant Conservation: Taxonomists Must Act Now. *Taxon*, v. 54, n.4, p. 1047-1050, 2005.

CARMO, F.F.; CARMO, F.F.; CAMPOS, I.C.; JACOBI, C.M. Cangas: ilhas de ferro estratégicas para a conservação. *Ciência Hoje*, v. 295, p. 48-53, 2012.

CAVALCANTI, L.F.; LIMA, M.F.; MEDEIROS, R.C.S.; MEGUERDITCHIAN, I. *Plano de Ação Nacional para a Conservação do Patrimônio Espeleológico nas Áreas Cársticas da Bacia do Rio São Francisco*. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2012. 140p.

CDB - *Convenção da Diversidade Biológica*, 1992. Disponível em: <www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.montaeidEstrutura=72eidConteudo=2868>. Acesso em: mai. 2014.

CDB - *Convenção da Diversidade Biológica*, 2010. Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020, including Aichi Biodiversity Targets. Disponível em: <www.cbd.int/sp/default.shtml>. Acesso em: set.2014.

CECAV - *Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas*, 2014. Base de dados geoespecializados das cavernas do Brasil. Disponível em: <www.icmbio.gov.br/cecav/downloads/mapas.html>. Acesso em: mai.2014

CONAMA-Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2004. *Resolução nº347, de 10 de setembro de 2004*. Dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico. Diário Oficial da União

FERREIRA, R.L. A vida subterrânea nos campos ferruginosos. *O Carste*, v.3, n.17, p.106-115, 2005.

GINSBURG, J. The Application of IUCN Red List Criteria at Regional Levels. *Conservation Biology*, v. 15, n. 5, p.1206-1212, 2001.

HOCH, H.; FERREIRA, R.L. *Ferricixius davidi* gen. n., sp. n. - the first cavernicolous planthopper from Brazil (Hemiptera, Fulgoromorpha, Cixiidae). *Dtsch. Entomol. Z.*, v. 59, n. 2, p. 201-206, 2012.

HOCKINGS, M. Systems for Assessing the Effectiveness of Management in Protected Areas. *Bioscience*, v. 53, n. 9, p. 823-831, 2003.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1994. *Portaria nº 32, de 30 de março de 1994*. Diário Oficial da União, abril de 1994.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1995. *Portaria nº 108, de 27 de dezembro de 1995*. Diário Oficial da União, dezembro de 1995.

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2012. *Portaria nº18, de 17 de fevereiro de 2012*. Aprova o Plano de Ação Nacional para a Conservação do Patrimônio Espeleológico nas Áreas Cársticas da Bacia do Rio São Francisco - PAN Cavernas do São Francisco, estabelecendo seu objetivo geral, objetivos específicos, ações, prazo de execução, abrangência, formas de implementação e supervisão. Diário Oficial da União, fevereiro de 2012.

IEF – Instituto Estadual de Florestas, 2008. Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN – Estadual. Gerência de Criação e Implantação de Áreas Protegidas – GCIAP. Disponível em: <www.ief.mg.gov.br/images/stories/ucs_abril2008/rppnsestaduais_0408.pdf> Acesso em: mai. 2014.

JORNAL DE MINAS, 1982. *Decreto nº 22.327 de 3 de setembro de 1982*. Define como de interesse especial, para proteção de manancial, terrenos localizados na sub-bacia do córrego dos Fechos, Município de Nova Lima. Jornal de Minas, 173.

MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M.; PAGLIA, A. P. (eds.). *Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção*. 1. ed. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2008. 1420p

MINAS GERAIS, 1994¹. *Decreto nº 35.624 de 8 de junho de 1994*. Declara como Área de Proteção Ambiental a Região situada nos Municípios de Belo Horizonte, Brumadinho, Caeté, Ibirité, Itabirito, Nova Lima, Raposos, Rio Acima e Santa Bárbara, e dá outras providências. Diário do Executivo, junho de 1994.

MINAS GERAIS, 1994². *Decreto nº 36.071 de 27 de setembro de 1994*. Cria o Parque Estadual da Serra do Rola Moça. Diário do Executivo, setembro de 1994.

MINAS GERAIS, 1994³. *Decreto nº 36.073 de 27 de setembro de 1994*. Cria a Estação Ecológica de Fechos. Diário do Executivo, setembro de 1994.

MINAS GERAIS, 2006. *Lei nº 15.979 de 13 de janeiro de 2006*. Cria a Estação Ecológica do Cercadinho e dá outras providências. Diário do Executivo, janeiro de 2006.

MMA/ICMbio – Portaria Conjunta do Ministério do Meio Ambiente e Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2009. *Portaria nº 316 de 9 de setembro de 2009*. Define os instrumentos de implementação da Política Nacional da Biodiversidade voltados para a conservação e recuperação de espécies ameaçadas de extinção sob responsabilidade do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Diário Oficial da União, setembro de 2009.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. *Roteiro Metodológico de Planejamento Parque Nacional, Reserva Biológica e Estação Ecológica*. Brasília, 2002. 136 p.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Atualização - *Portaria MMA nº9, de 23 de janeiro de 2007*. Brasília: MMA, 2008. 327p. (Série Biodiversidade, 31).

MMA- Ministério do Meio Ambiente, 2014. *Portaria nº 43, de 31 de janeiro 2014*. Diário Oficial da União, fevereiro de 2014.

NOVACEK, M.J. e CLELAND, E.E. The current biodiversity extinction event: Scenarios for mitigation and recovery. *Proceedings of the Academy of Sciences of the United States of America*, v. 98, n. 10, p. 5466-5470, 2001.

RODRIGUES, A.S.L.; AKÇAKAYA, H.R.; ANDELMAN, S.J.; BAKARR, M.I.; BOITANI, L.; BROOKS, T.M.; CHANSON, J.S.; FISHPOOL, L.D.C.; FONSECA, G.A.B.; GASTON, K.J.; HOFFMANN, M.; MARQUET, P.A.; PILGRIM, J.D.; PRESSEY, R.L.; SCHIPPER, J.; SECHREST, W.; STUART, S.N.; UNDERHILL, L.G.; WALLER, R.W.; WATTS, M.E.J.; YAN, X. Global gap analysis: priority regions for expanding the global protected-area network. *BioScience*, v. 54, p. 1092-1100, 2004.

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

TRAJANO, E. Políticas de conservação e critérios ambientais: princípios, conceitos e protocolos. *Estudos Avançados*, v. 24, n. 68, p. 135-146, 2010

UICN; WWF-BRASIL; IPÊ. *Metas de Aichi: Situação atual no Brasil*. Ronaldo Weigand Jr; Danielle Calandino da Silva; Daniela de Oliveira e Silva. Brasília, DF: UICN, WWF-Brasil e IPÊ, p. 67, 2011.

WOODWELL, G.M. On purpose in science, conservation and government. *AMBIO*, v. 31, n. 5, p. 432-436, 2002.

GESTÃO DO PATRIMÔNIO
ESPELEOLÓGICO REGIONAL:
DIRETRIZES, METAS E
RECOMENDAÇÕES PARA
CONSERVAÇÃO

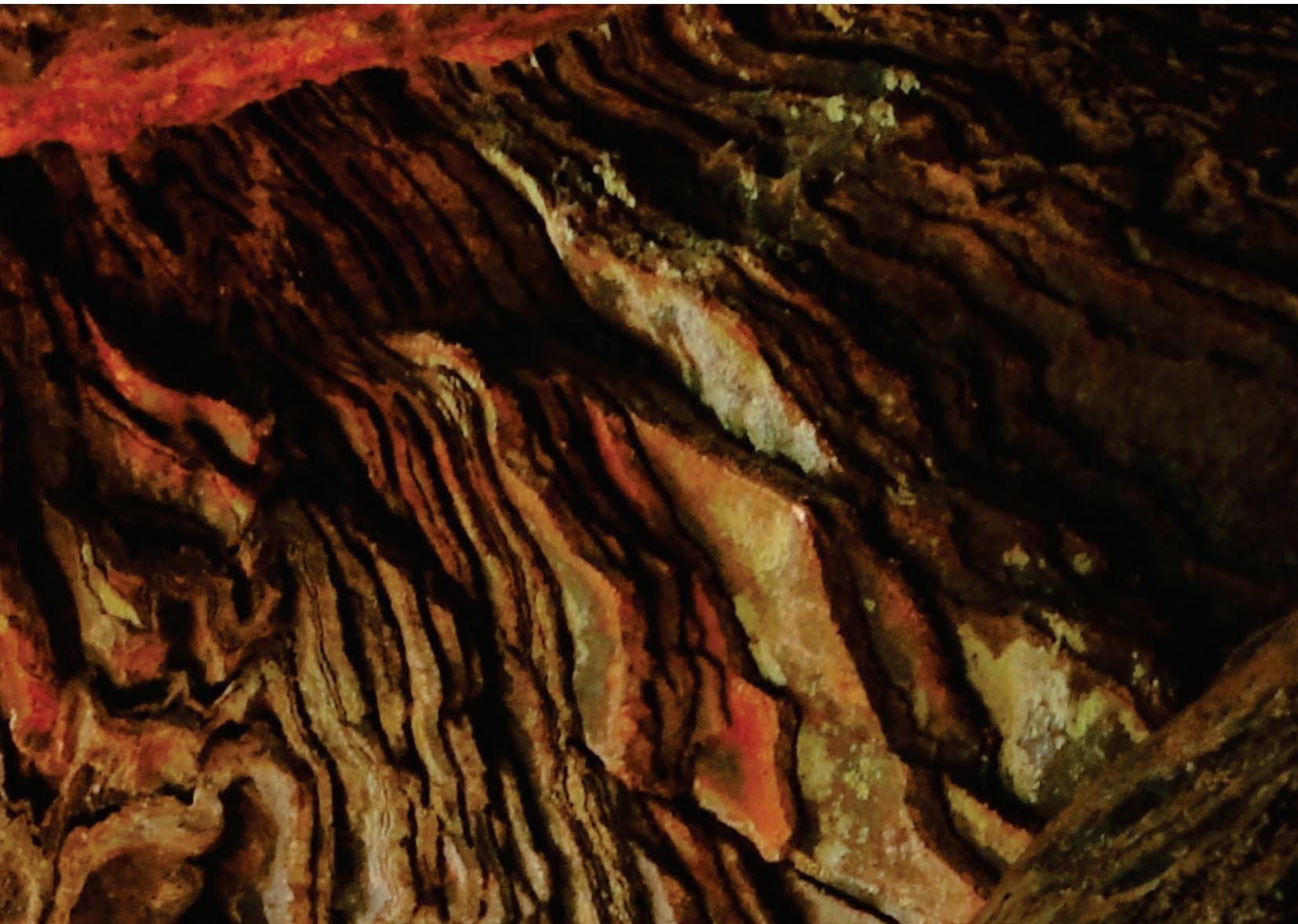


ÚRSULA DE AZEVEDO RUCHKYS

Universidade Federal de Minas Gerais

LUIZ EDUARDO PANISSET TRAVASSOS

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais



INTRODUÇÃO

Na região do Quadrilátero Ferrífero encontram-se numerosas cavidades naturais subterrâneas em formações ferríferas que são parte da geodiversidade integrando o patrimônio natural e cultural com valores científicos, recreativos, socioeconômicos e estéticos. Godard (1997) aponta que a gestão de recursos ambientais deve considerar uma visão estratégica de desenvolvimento no longo prazo, o que lhe confere um sentido para além dos usos cotidianos, pois se constitui no cerne onde se confrontam e se encontram os objetivos associados ao desenvolvimento e aqueles voltados para a conservação da natureza. Assim, quando se pensa na geoconservação e na gestão deve-se ter em mente modelos avançados centrados na proteção multidisciplinar e holística de todo o patrimônio associado à geodiversidade, em especial o patrimônio espeleológico. Seus princípios devem ser a base sobre a qual se apoiam todas as facetas deste patrimônio e das formações ferríferas: geológica, biológica, paisagística, arqueológica, histórica, paleontológica, econômica, etc.

O conhecimento interdisciplinar de todos os aspectos relativos à área, em especial aqueles associados a seu patrimônio natural e cultural, é um instrumento essencial no estabelecimento de estratégias de gestão considerando o uso equilibrado dos recursos naturais com sua proteção. O conhecimento científico nas mais diferentes áreas do conhecimento deve ser suficiente para servir de base na orientação de ações e estratégias de gestão do patrimônio espeleológico regional.

Como abordado nos capítulos *Panorama do Patrimônio Espeleológico Regional* e *Áreas Prioritárias para Conservação*; o Quadrilátero Ferrífero conta com um número expressivo de unidades de conservação e grande parte da sua área está inserida na Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte - APA Sul, caracterizada por altos índices de geodiversidade (PEREIRA, 2012). Na concepção das APAs não ocorre desapropriação de terras, o que torna a gestão ambiental dessas áreas um grande desafio, conforme apresentado no capítulo *Cavernas ferruginosas em unidades de conservação: garantia de proteção? Um estudo de caso na APA Sul, RMBH* de autoria de Carmo et al.

Para áreas com rica geodiversidade, como é o caso do Quadrilátero Ferrífero, as ações mundiais mais recentes sinalizam alternativas que considerem

a necessidade de proteger o patrimônio associado à geodiversidade e, ao mesmo tempo, promover o desenvolvimento econômico com uso racional dos recursos. Essas ações envolvem a geoconservação, um aspecto mais recente da conservação da natureza, por meio da criação de geoparques, onde a responsabilidade da gestão patrimonial é compartilhada entre o Estado e a sociedade, onde as políticas patrimoniais fortalecem as ações da sociedade civil e a identidade territorial, sem, no entanto, proibir o uso econômico dos recursos da geodiversidade, mas levando em conta restrições ao uso do território numa perspectiva de exploração regrada e eficiente.

A geoconservação está ligada à própria palavra patrimônio, ou “herança do pai”, como salienta Mansur (2010). Esse significado pressupõe que a ele seja atribuído um valor e que, por esse motivo, deve ser objeto de proteção. As iniciativas de geoconservação envolvem uma sequência complexa de ações que vão desde o conhecimento do patrimônio de um território até propostas de uso e valorização. Considerando a legislação já existente para proteção do patrimônio espeleológico, conforme apresentado por Miranda e Chiodi, no capítulo *Proteção Jurídica do Patrimônio Espeleológico*. Assim, propõe-se aqui uma sequência de ações para promoção de sua conservação com base em propostas mundiais: Gray (2004), Brilha (2005); ICN (2007); Ruchkys (2007); Lima (2008); Uceda (2009); Mansur, (2010); dentre outros: inventário do patrimônio espeleológico associado às formações ferríferas; quantificação das cavidades naturais subterrâneas segundo a legislação brasileira - a valoração; classificação associada ao potencial de uso; indicação de conservação; monitoramento; valorização e divulgação.

As diretrizes, metas e/ou recomendações são tratadas dentro dessas categorias e tiveram como base o que foi apresentado nos capítulos anteriores desta obra, em especial, os seguintes: *Breve Inventário do Patrimônio Espeleológico*, de autoria de Hardt; *Proteção Jurídica do Patrimônio Espeleológico*, de autoria de Miranda e Chiodi; *Biota Subterrânea Associada às Formações Ferríferas* de autoria de Bichuette et al.; *Arqueologia em Cavernas e Suportes Ferruginosos*, de autoria de Baeta e Piló; *Serviços da Geodiversidade Associadas às Formações Ferríferas*

ras: Pressão e Oportunidades de Conservação, de autoria de Ruchkys e Machado; *Cavernas Ferruginosas em Unidades de Conservação: Garantia de Proteção? Um Estudo de Caso na APA Sul RMBH*, de autoria de Carmo et al.

Foram consideradas também as diretrizes recomendadas pela UICN no *Guia para proteção de caver-*

nas e do carste e as metas de conservação apresentadas pelo CECAV no Relatório *Oficina de Áreas Prioritárias para a Conservação do Patrimônio Espeleológico e Plano de Ação Nacional para Conservação do Patrimônio Espeleológico nas Áreas Cársticas da Bacia do Rio São Francisco* onde está inserida a região do Quadrilátero Ferrífero.

INVENTÁRIO

Diretriz 1 - Promover sistemática continuidade do inventário das cavidades naturais subterrâneas em formações ferríferas.

Meta 1: Normalizar os processos de inventário por meio de uma ficha que deve conter: (a) Nome / localização / acessibilidade; (b) Questões fundiárias, dados de propriedade; (c) Questões legais; (d) Tipologia (inclui descrição, detalhes e se está associado a outros elementos naturais, religiosos, culturais etc.); (e) Descrição do contexto histórico regional: usos, datas e personalidades históricas (por exemplo, visita/descrição de naturalistas), acervo arqueológico; (f) Descrição do contexto natural regional: clima, fauna, vegetação, topografia, geologia, ecossistemas, degradação ambiental, geomorfologia; (g) Características da cavidade: litotipo; desenvolvimento horizontal; volume; processos hidrológicos presentes (drenagens, surgências perenes ou temporárias); sedimentos clásticos; sedimentos químicos, espeleogênese; vestígios arqueológicos; riqueza de espécies; táxons novos; espécies troglomórficas; (h) Anexos: fotos, desenhos, pinturas, literatura, bibliografia, entre outros; (i) Dados sobre o responsável pelo preenchimento - nome, endereço, e-mail, telefone, responsabilidade, instituição e data; (f) Validação de cada cavidade natural subterrânea em relação ao município e litologia predominantes; coordenadas conferidas “in loco” de acordo com os critérios do CECAV; existência ou não de mapeamento topográfico.

Diretriz 2- Promover o conhecimento das espécies de fauna associadas às cavidades naturais subterrâneas em formações ferríferas.

Meta 2: Inventariar as espécies de toglóbios terrestres, aquáticos e os de distribuição espacial restrita.

Meta 3: Inventariar as espécies ameaçadas identificadas em listas oficiais e espécies relictuais (geográfico ou filogenéticos).

Meta 4: Inventariar as cavidades naturais subterrâneas usadas como abrigo ou como locais importantes para reprodução de espécies de fauna silvestre.

Meta 5: Inventariar espécies de morcegos

Diretriz 3- Promover o conhecimento das características das cavidades naturais subterrâneas em relação a seus atributos físicos.

Meta 6: Inventariar os espeleotemas encontrados nas cavidades naturais subterrâneas.

Meta 7: Inventariar os registros paleontológicos representativos, inclusive iconofósseis, existentes nas cavidades naturais subterrâneas

Meta 8: Inventariar as cavidades naturais subterrâneas com estruturas geológicas de interesse científico a exemplo de dobras, contatos, falhas, etc.

Meta 9: Inventariar as cavidades naturais subterrâneas com ocorrência de fragilidade aquífera ou geotécnica.

Diretriz 4- Promover o conhecimento das características das cavidades naturais subterrâneas em relação a seus atributos sócio-históricos-culturais.

Meta 10: Inventariar as cavidades naturais subterrâneas com ocorrência de pinturas rupestres.

Meta 11: Inventariar as cavidades naturais subterrâneas com ocorrência de ossadas humanas.

Meta 12: Inventariar as cavidades naturais subterrâneas com uso religioso.

Meta 13: Inventariar as cavidades naturais subterrâneas com visita pública.

QUANTIFICAÇÃO/VALORAÇÃO

Diretriz 5- Realizar a valoração das cavidades naturais subterrâneas em formações ferríferas do Quadrilátero Ferrífero segundo as recomendações dos Decretos 99556/90 e 6640/08, bem como IN-ICMBio 02/2009.

Meta 14: Topografar todas as cavidades naturais subterrâneas já inventariadas do Quadrilátero Ferrífero que ainda não tiveram seu levantamento topográfico realizado.

Meta 15: Valorar todas as cavidades naturais subterrâneas já inventariadas do Quadrilátero Ferrífero que ainda não foram valoradas.

Meta 16: Definir as áreas de influência para todas as cavidades naturais subterrâneas valoradas como de máxima e alta relevância.

CLASSIFICAÇÃO/POTENCIAL DE USO

Diretriz 6-Realizar a classificação das cavidades naturais subterrâneas em formações ferríferas do Quadrilátero Ferrífero em relação a seu valor de uso.

Meta 17: Classificar todas as cavidades naturais subterrâneas em relação a seu valor cultural associado a forte interdependência do homem com seu meio físico.

Meta 18: Classificar todas as cavidades naturais subterrâneas em formações ferríferas do Quadrilátero Ferrífero em relação a seu valor estético e a sua inserção na paisagem.

Meta 19: Classificar todas as cavidades naturais subterrâneas em formações ferríferas em relação a seu valor econômico baseado no uso direto de recursos geológicos.

Meta 20: Classificar todas as cavidades naturais subterrâneas em formações ferríferas em relação a seu valor funcional relacionado à sua função para sustentação ecológica da fauna e flora.

Meta 21: Classificar todas as cavidades naturais subterrâneas em formações ferríferas em relação a seu valor funcional relacionado à sua função de abastecimento hídrico (mananciais d'água).

Meta 22: Classificar todas as cavidades naturais subterrâneas em formações ferríferas em relação a seu valor científico e educativo.

Meta 23: Classificar todas as cavidades naturais subterrâneas em formações ferríferas em relação a sua raridade geológica, o que remete à necessidade de conservação.

Diretriz 7 - Realizar a classificação das cavidades naturais subterrâneas em formações ferríferas do Quadrilátero Ferrífero em relação a sua sensibilidade e vulnerabilidade aos impactos.

Meta 24: Classificar todas as cavidades naturais subterrâneas em relação a sua sensibilidade perante agentes externos ameaçadores.

Meta 25: Classificar todas as cavidades naturais subterrâneas em relação a sua sensibilidade perante agentes externos ameaçadores tais como expansão urbana, vias de acesso e atividades industriais e de extração.

CONSERVAÇÃO

Diretriz 8 - Promover a conservação da diversidade biológica

Meta 26: Riqueza total de troglóbios:

- Cavidades naturais subterrâneas com alta riqueza (> 14 espécies): 70% de conservação para a área do Quadrilátero Ferrífero
- Cavidades naturais subterrâneas com média riqueza (8 a 14 espécies): 50% de conservação para a área do Quadrilátero Ferrífero
- Cavidades naturais subterrâneas com baixa (1 a 7 espécies): 30% de conservação para área do Quadrilátero Ferrífero

Meta 27: Presença de espécies e/ou populações endêmicas: 100%.

Meta 28: Presença de espécies ameaçadas constantes em listas oficiais, bem como presença de espécies relictuais (geográficos ou filogenéticos): 100%.

Meta 29: Alta biodiversidade total (incluindo troglóbios, troglófilos e troglóxenos): 100%.

Meta 30: Presença de locais de reprodução/nidificação (ninhos de aves em entradas): 100%.

Diretriz 9 - Prever ações de salvaguarda das cavidades naturais subterrâneas em relação a seu enquadramento na legislação.

Meta 31: Realizar uma hierarquização das cavidades naturais subterrâneas para proposição do tipo de conservação mais adequada em relação à legislação.

Meta 32: Classificar as cavidades naturais subterrâneas cuja proteção possa ser feita pela Lei nº 9.985/2000 (Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC).

Meta 33: Classificar as cavidades naturais subterrâneas cuja proteção possa ser feita pelo tombamento em seu viés cultural estabelecido pelo Decreto-Lei nº 25, de 1937.

Meta 34: Classificar as cavidades naturais subterrâneas cuja proteção possa ser feita pela Lei Estadual nº 10.793/1992, que dispõe sobre a proteção de mananciais.

Meta 35: Classificar as cavidades naturais subterrâneas cuja proteção possa ser feita pela Lei Federal nº 11.428/2006, que dispõe sobre a proteção de vegetação de Mata Atlântica.

Meta 36: Classificar as cavidades naturais subterrâneas cuja proteção possa ser feita pelo Código Florestal, Lei nº 12.651/2012, ao serem declaradas como de interesse social.

Meta 37: Classificar as cavidades naturais subterrâneas cuja proteção possa ser feita pela Lei Federal nº 6.766/76 por meio da criação de Áreas de Proteção Especial.

Meta 38: Verificar a possibilidade de proteção de todas as cavidades naturais subterrâneas por meio da Portaria - IBAMA nº 887/90, no Decreto 99.556/90 (alterado pelo Decreto nº 6.640, de 2008), na Resolução CONAMA 347/2004 e nas Instruções Normativas MMA nº 02/2009 e nº 30/2012.

Diretriz 10-Manter os bens e serviços associados às formações ferríferas em relação aos mananciais de água.

Meta 39: Proteger todos mananciais de água.

Meta 40: Manter a capacidade dos mananciais de água associados às formações ferríferas em 80%.

Meta 41: Assegurar a proteção das áreas de recarga da água subterrânea em 80%.

Diretriz 11-Gerar conhecimento e formar recursos humanos para pesquisas envolvendo o patrimônio espeleológico.

Meta 42: Criar linha de financiamento para projetos de pesquisa envolvendo patrimônio espeleológico.

Meta 43: Direcionar recursos financeiros de agências de fomento, em especial a FAPEMIG, para projetos de demanda induzida envolvendo o patrimônio espeleológico.

Diretriz 12- Solucionar os principais problemas existentes na manutenção e manejo das unidades de conservação.

Meta 44: Garantir que os planos de manejo e zoneamento ecológico-econômico (ZEE) das unidades de conservação (UCs) já existentes sejam realizados e implantados.

Meta 45: Garantir que na elaboração dos planos de manejo das unidades de conservação já estabelecidas seja contemplado um plano de manejo específico para o patrimônio espeleológico.

Meta 46: Garantir o cumprimento das normas legais existentes.

Meta 47: Promover o aperfeiçoamento dos instrumentos jurídicos para proteção do patrimônio espeleológico associado a formações ferríferas.

Meta 48: Direcionar a aplicação de mecanismos compensatórios financeiros, pagos pelas empresas de exploração mineral, com participação paritária dos estados e municípios para preservação ambiental, com destaque para a conservação das cavidades naturais subterrâneas naturais em formações ferríferas.

MONITORAMENTO

Diretriz 13-Promover o monitoramento contínuo de cavidades naturais subterrâneas.

Meta 49: Monitorar as cavidades naturais subterrâneas classificadas como de máxima e alta relevância em relação aos impactos decorrentes das atividades econômicas.

Diretriz 14-Reduzir as pressões da mineração sobre o patrimônio espeleológico

Meta 50: Disponibilizar os dados decorrentes do levantamento do patrimônio espeleológico realizado por empresas de mineração em forma de tabelas descritivas e com pontos especializados em portal público e de fácil acesso. Essa iniciativa deve ser uma obrigatoriedade da empresa responsável pelo levantamento, e a criação de uma base de dados para abrigar essas informações deve ser da Sociedade Brasileira de Espeleologia e CECAV, mantendo um banco de dados unificado.

Meta 51: Quando da entrega do EIA-RIMA: Enunciar as medidas mitigadoras e compensatórias; explicar de que modo as medidas evitarão ou reduzirão os impactos nas cavidades naturais subterrâneas; fornecer prova de como e por quem será assegurada e concretizada; fornecer a prova do grau de confiança e no seu presumível êxito; fornecer prova de como as medidas serão acompanhadas e, se for identificado fracasso da mitigação, de que modo tal fracasso será retificado.

VALORIZAÇÃO E DIVULGAÇÃO

Diretriz 15 - Desenvolver e implantar programas de educação espeleológica.

Meta 52: Criar um programa de educação ambiental direcionado ao patrimônio espeleológico para escolas.

Meta 53: Criar um banco de dados sobre experiências mundiais de educação ambiental com patrimônio espeleológico.

Meta 54: Fortalecer as ações educativas dos municípios.

Meta 55: Propor geossítios em cavidades naturais subterrâneas em formações ferríferas no contexto do Geoparque do Quadrilátero Ferrífero.

Meta 56: Criar uma mascote para o patrimônio espeleológico do Quadrilátero Ferrífero.

Diretriz 16 - Desenvolver e implantar programas de interpretação ambiental.

Meta 57: Criar um programa de sinalização interpretativa para o patrimônio espeleológico associado a formações ferríferas.

Meta 58: Criar um programa de visita interpretativa no âmbito de sistemas de ensino vigentes para comunidades escolares no entorno dessas áreas protegidas.

Meta 59: Criar jardins geológicos baseados em formações ferríferas, em várias áreas públicas dos municípios que integram o Quadrilátero Ferrífero.

Meta 60: Criar uma visita virtual para a paleotoca da Serra do Gandarela.

Diretriz 17-Avaliar o potencial geoturístico de conjuntos de cavidades naturais subterrâneas em formações ferríferas nas unidades de conservação.

Meta 61: Criar condições para explorar o potencial turístico pedagógico regional aliado a programas de educação ambiental.

Meta 62: Estabelecer um programa de difusão das informações sobre as cavidades naturais subterrâneas em formações ferríferas (conferências, visitas guiadas, publicações de livros e DVDs) nos municípios onde existe ocorrência do patrimônio espeleológico.

Meta 63: Promover estudos de adequação de infraestrutura para visitas em patrimônio espeleológico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Embora estejamos em um momento de avanço científico sobre o conhecimento das cavidades naturais subterrâneas em formações ferríferas e sobre sua importância, é preciso que avancemos na sua correta gestão e proteção, centradas não só naquilo que é exclusivamente conhecido, mas no potencialmente existente. A gestão efetiva do patrimônio espeleológico em formações ferríferas exige uma apreciação integral de todos os seus valores econômicos, científicos, culturais e naturais. Buscando garantir a conservação adequada do patrimônio espeleológico, além da indicação de diretrizes e metas expostas é recomendável que:

- O Estado e os municípios assegurem que uma seleção representativa de cavidades naturais subterrâneas em formações ferríferas seja conservada por algum instrumento legal. Essa proteção deve ser focada não na cavidade como um elemento isolado, mas em um conjunto de cavidades naturais subterrâneas num contexto paisagístico.
- Criar, como ponto de partida para o conhecimento do patrimônio subterrâneo, uma base de dados normalizada, atualizada e disponibilizada com informações importantes de cada cavidade inventariada com colaboração dos grupos espeleológicos que atuam na área.
- Formar um banco de dados público (que incorpore as cavidades naturais subterrâneas encontradas e descritas inclusive pelas empresas de mineração) que contenha informações relativas aos aspectos elencados na ficha de inventário, bem como esquemas e imagens das cavidades naturais subterrâneas. Pode-se usar como base o banco de dados já disponibilizados pelo CECAV e pela SBE que devem ser integrados. A obrigatoriedade de passar os dados decorrentes de levantamentos realizados para licenciamento ambiental fica a cargo das empresas mineradoras.
- Estabelecer um programa a curto/médio prazo de mapeamento geológico de detalhe focado no patrimônio espeleológico para áreas previamente selecionadas no contexto das formações ferríferas.
- Realizar explorações de campo interdisciplinares nas áreas de ocorrência de formações ferríferas, inclusive em áreas de empresas mineradoras que são, na grande maioria das vezes, acessíveis somente a pesquisadores que trabalham para essas empresas.
- Formar um cadastro de pesquisadores não ligados às empresas de mineração para acesso às áreas de ocorrência de formações ferríferas que não são públicas.

- Garantir que o potencial de uso das cavidades naturais subterrâneas, mesmo quando não classificadas como de máxima relevância, seja avaliado em relação ao turismo, educação e pesquisa científica.
- Para proteção das cavidades naturais subterrâneas é importante a análise conjunta, não de forma isolada, mas no seu contexto paisagístico, podendo incluir restrições de uso para determinadas atividades, indicação de uso para visitação didática ou científica, etc.
- Classificar locais para conservação integral ou parcial.
- Implantar a extração de lavra subterrânea para mineração de ferro, como já acontece em outros países.

Por fim, é importante salientar que no caso do Quadrilátero Ferrífero, é comum que as cavidades naturais subterrâneas ocorram sobre depósitos minerais que tem interesse econômico. Nessas situações há que se acautelar a vertente patrimonial perante qualquer projeto de lavra atual ou futuro.

REFERÊNCIAS

BRILHA, J. *Patrimônio geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica*. Viseu/Portugal: Palimage Editores, 2005. 190p.

CECAV - *Plano de Ação Nacional para Conservação do Patrimônio Espeleológico nas Áreas Cársticas da Bacia do Rio São Francisco*. Brasília: ICMBio, 2012. 140p.

CECAV - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS DO INSTITUTO CHICO MENDES (CECAV/ICMBio). *Oficina sobre a área de influência de cavidades naturais subterrâneas - Relatório final*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2013. 9p. Disponível em: <www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/projetos-e-atividades/PAN/PAN_Cavernas_do_SF_relatorio_final_oficina_area_influencia_091013.pdf>

GODARD, O. O Desenvolvimento sustentável: paisagem intelectual. In: CASTRO, E.; PINTON, F. (Org.). *Faces do trópico úmido: conceitos e questões sobre desenvolvimento e meio ambiente*. Belém: Cejup: UFPA; NAEA, 1997. p. 107-130.

GRAY, M. *Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature*. John Wiley & Sons Ltd: Chichester/England, 2004. 434p.

ICN - International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. *Guidelines for Cave and Karst protection*. Switzerland/Cambridge: IUCN, 2007. 63p.

LIMA, F. F. *Proposta metodológica para a inventariação do patrimônio geológico brasileiro*, 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado). Universidade do Minho, Braga.

MANSUR, K.L. *Diretrizes para Geoconservação do Patrimônio Geológico do Estado do Rio de Janeiro: o caso do Domínio Tectônico Cabo Frio*, 2010. 211f. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências da UFRJ.

PEREIRA, M.C. *Aspectos genéticos e morfológicos das cavidades naturais da Serra da Piedade - Quadrilátero Ferrífero/MG*, 2012. 149f. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais.

PEREIRA, M. C., RODET, J., SALGADO A. A. R., 2012. Aspectos genéticos e morfológicos das cavidades naturais da Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero/MG. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.13, n.4, p.465-476, 2012.

RUCHKYS, U. A. *Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: potencial para a criação de um Geoparque da UNESCO*, 2007. 211 f. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais.

UCEDA, A.C. 1999. *Patrimonio Geológico; Diagnóstico, Clasificación y Valoración*. Soria. Jornadas sobre Patrimonio Geológico y Desarrollo Sostenible, 37 p.

WATSON, J.; HAMILTON-SMITH, E.; GILLIESON, D.; KIERNAN, K. (Eds) *Guidelines for Cave and Karst protection*. Switzerland/Cambridge: IUCN, 2007. 63p.

AUTORES



ALENICE BAETA

Historiadora pela PUC-Minas. Mestre em Educação pela FAE/UFMG. Doutora em Arqueologia pelo MAE/USP. Pós-Doutorado em Arqueologia pela FAFICH/UFMG. Pesquisadora Colaboradora do Setor de Arqueologia do MHNJB-UFMG. Sócia proprietária da Artefacto Consultoria.



ALLAN CALUX

Bacharel em Geografia pela Universidade Estadual de Campinas. Mestre em Geografia Física (Análise Ambiental) pela Universidade Federal de Minas Gerais. Doutorando do Programa de Geoquímica e Geotectônica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.



ANDRÉ GOMIDE VASCONCELOS

Bacharel em Ciências Biológicas pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Mestre em Geologia pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. Professor do Centro Universitário de Belo Horizonte.



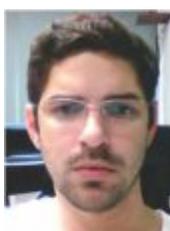
CARLOS ALBERTO ROSIÈRE

Graduado em Engenharia Geológica pela Universidade Federal de Ouro Preto. Doutor em Geologia pela Technische Universitaet Clausthal. Professor do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais e do Programa de Pós-Graduação em Geologia. Pesquisador do CNPq, n. 2.



CRISTINA KISTEMANN CHIODI

Bacharel em Direito pelas Faculdades Milton Campos. Especialista em Gestão Ambiental pela Universidade FUMEC. Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG). Assessora Jurídica do Núcleo de Apoio ao Licenciamento Ambiental do Ministério Público de Minas Gerais.



ERIC OLIVEIRA PEREIRA

Bacharel em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais pela UFMG. Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais.



FLÁVIO FONSECA DO CARMO

Licenciado em Biologia pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre e Doutor em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre pelo Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais. Coordenador de Pesquisa e Desenvolvimento do Instituto Prístino.



FRANCISCO SEKIGUCHI BUCHMANN

Bacharel em Oceanologia pela Fundação Universidade Federal do Rio Grande. Mestre e Doutor em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Professor da Universidade Estadual Paulista (UNESP).



GEORGETE DUTRA

Bacharel em Geologia pela Universidade Federal de Minas Gerais. Especialista em Hidrogeologia pela Universidade Federal de Pernambuco. Conselheira e Espeleóloga Pesquisadora do Observatório Espeleológico.



HENRIQUE PILÓ

Bacharel em História pela PUC-Minas. Especialista em História e Cultura Mineira pela FCHPL. Mestre em Antropologia com área de concentração em Arqueologia Pré-Histórica pelo PGAN/FAFICH/Universidade Federal de Minas Gerais/UFMG. Sócio Diretor da Artefacto Consultoria.



IARA CHRISTINA DE CAMPOS

Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre pela Universidade Federal de Minas Gerais. Pesquisadora do Instituto Prístino.



JONAS EDUARDO GALLÃO

Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Mestre em Ecologia pelo Programa em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Doutorando em Biologia Comparada da Universidade de São Paulo (USP).



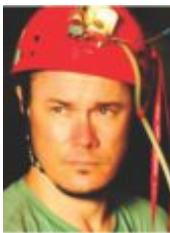
JONATHAS S. BITTENCOURT

Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade de São Paulo. Mestre em Zoologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Doutor em Biologia Comparada pela Universidade de São Paulo. Professor do Departamento de Geologia/CPMTC, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.



LUCIANA H. YOSHINO KAMINO

Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre e Doutora em Biologia Vegetal pela Universidade Federal de Minas Gerais. Coordenadora de Pesquisas e Desenvolvimento do Instituto Prístino.



LUCIANO EMERICH FARIA

Bacharel em Química pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre em Química Orgânica pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professor dos Cursos de Engenharia do Centro Universitário Newton Paiva. Membro da Diretoria da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE) 2013-2015.



LUIZ AFONSO VAZ DE FIGUEIREDO

Licenciado em Ciências Naturais e Química pelo Centro Universitário Fundação Santo André. Mestre em Educação pela UNICAMP. Doutor em Geografia Física pela USP. Professor de Educação e Ciências Ambientais do CUFSA. Coordenador do Projeto História da Espeleologia Brasileira PROHEB/SBE.



LUIZ EDUARDO PANISSET TRAVASSOS

Bacharel, Mestre e Doutor em Geografia pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Doutor em Carstologia pela Universidade de Nova Gorica, Eslovênia. Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia da PUC-MG.



MANUELA CORRÊA PEREIRA

Licenciada em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais e Bacharel em Geografia pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Mestre e Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia (Análise Ambiental) do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais.



MARCELO AUGUSTO RASTEIRO

Bacharel em Turismo pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas) e Especialista em Ecoturismo pelo Centro Universitário SENAC de Águas de São Pedro (SENAC-ASP). Presidente da Sociedade Brasileira de Espeleologia.



MARCOS PAULO SOUZA MIRANDA

Bacharel em Direito pela Faculdade Vianna Júnior. Especialista em Direito Ambiental e Doutorando em Ciências Jurídicas e Sociais. Promotor de Justiça Coordenador da Promotoria Estadual e Defesa do Patrimônio Cultural e Turístico de Minas Gerais.



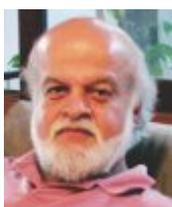
MARIA ELINA BICHUETTE

Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade de São Paulo (USP). Mestre, Doutora e Pós-Doutora em Zoologia pela Universidade de São Paulo (USP). Professora da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), campus São Carlos. Coordenadora do Laboratório de Estudos Subterrâneos da UFSCar.



MARIA MÁRCIA M. MACHADO

Formada em Engenharia Civil pela PUC-MG. Mestre em Geografia e Doutora em Geologia pela UFMG. Professora do Departamento de Cartografia e do Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da UFMG. Pesquisadora do CPMTC-UFMG.



PAULO DE TARSO AMORIM CASTRO

Bacharel em Geologia pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre em Análise de Bacias Sedimentares pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Doutor em Geologia pela UnB. Professor do Departamento de Geologia da Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais da UFOP.



RAFAEL FONSECA-FERREIRA

Licenciado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM). Mestrando em Biologia Comparada da Universidade de São Paulo (USP). Membro do Laboratório de Estudos Subterrâneos da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).



ROBERTO CASSIMIRO

Geólogo pela Universidade Federal de Minas Gerais. Atua no mapeamento de cavernas e realiza pesquisas sobre o tema história da espeleologia. Na área de Geociências tem experiência em pesquisa mineral e geologia ambiental. Pesquisador do Observatório Espeleológico e do Instituto do Carste.



RUBENS HARDT

Formado em Tecnologia da Computação pela UNIVAP e em Estudos Sociais pela Associação Sul Mineira de Educação e Cultura. Mestre e Doutor em Geografia pela UNESP, Campus Rio Claro. Doutorado em cotutela com a Université de Rouen, França. Professor substituto da UFSCAR, Campus de Sorocaba.



ÚRSULA RUCHKYS

Bacharel em Geologia pela UFMG. Mestre em Geografia pela PUC-MG. Doutora em Geologia pela UFMG. Professora do Departamento de Cartografia e do Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da UFMG. Pesquisadora do Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa (CPMTC).

REALIZAÇÃO E
APOIO INSTITUCIONAL

REALIZAÇÃO



EM PARCERIA



APOIO INSTITUCIONAL





As CAVERNAS em rochas ferruginosas representam parte importante e ainda pouco conhecida do patrimônio espeleológico brasileiro, apesar disso, estão constantemente ameaçadas pela expansão da ação humana, especialmente a mineração em regiões como o Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais. Somente com o avanço das pesquisas e a divulgação do conhecimento será possível a gestão responsável destas áreas, compatibilizando o desenvolvimento econômico e social com a conservação ambiental e respeito histórico-cultural. Com este objetivo reunimos pesquisadores de diversos campos do saber para a produção desta obra, trabalhando para que o conhecimento aqui registrado possa ser aplicado na prática e que fomente a realização de novas pesquisas.



REALIZAÇÃO



PARCERIA

