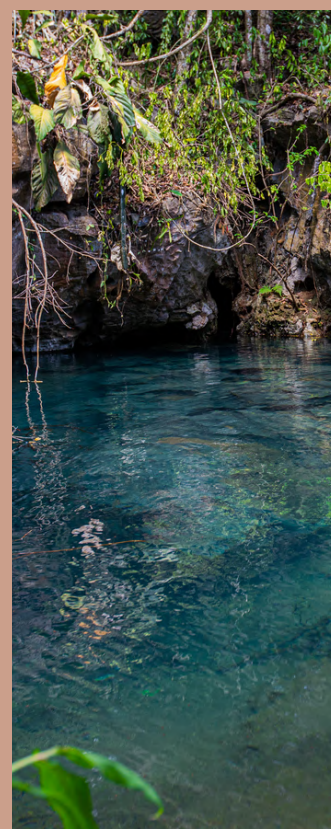
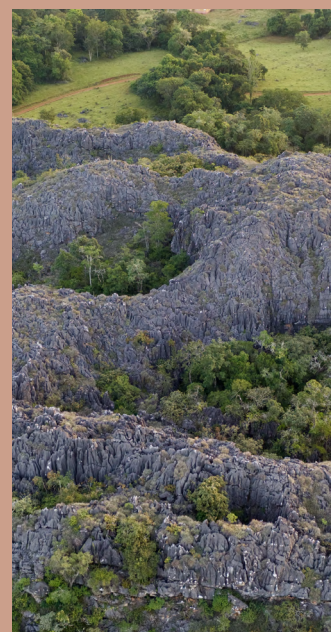
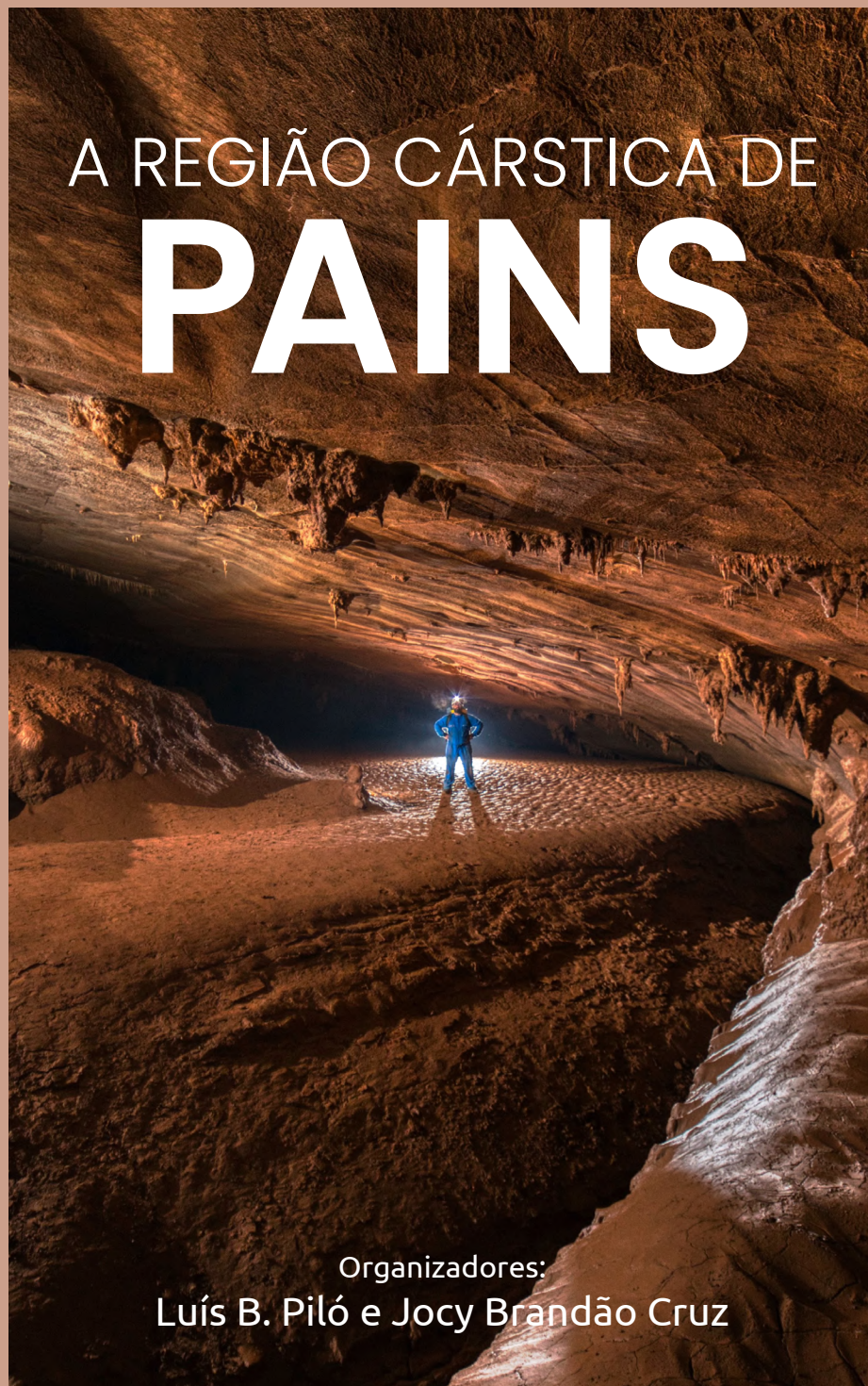




25 ANOS
CECAV
CENTRO NACIONAL DE PESQUISA
E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS
ICMBio-MMA

ICMBio
INSTITUTO CHICO MENDES
MMA

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE



A REGIÃO CÁRSTICA DE
PAINS

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente

JAIR MESSIAS BOLSONARO

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

Ministro

JOAQUIM ALVARO PEREIRA LEITE

Secretário Executivo

FERNANDO WANDSCHEER DE MOURA ALVES

Secretário de Biodiversidade

MARIA BEATRIZ PALATINUS MILLIET

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

Presidente

FERNANDO CESAR LORENCINI

Diretor de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade

MARCOS AURÉLIO VENANCIO

Coordenador do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas

JOCY BRANDÃO CRUZ

GERDAU

Diretor-presidente (CEO)

GUSTAVO WERNECK DA CUNHA

Vice-presidente da Gerdau Brasil, Argentina e Uruguai

MARCOS EDUARDO FARACO WAHRHAFTIG

Diretor de Mineração e Matérias Primas

WENDEL GOMES DA SILVA

Gerente Geral de Sustentabilidade

FRANCISCO DE ASSIS LAFETÁ COUTO

© ICMBio 2022. O material contido nesta publicação não pode ser reproduzido, guardado pelo sistema "retrieval" ou transmitido de qualquer modo por qualquer outro meio, seja eletrônico, mecânico, de fotocópia, de gravação ou outros, sem mencionar a fonte.

© dos autores 2022. Os direitos autorais das fotografias contidas nesta publicação são de propriedade de seus fotógrafos

Ministério do Meio Ambiente
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
Diretoria de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade
Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas

A REGIÃO CÂRSTICA DE **PAINS**

Organizadores:
Luís B. Piló e Jocy Brandão Cruz



Brasília - 2022

©ICMBio 2022.
©dos Autores 2022.

ORGANIZADORES

Luís B. Piló e Jocy Brandão Cruz

AUTORES

Adivane Terezinha Costa	Jocy Brandão Cruz
Alex Hubbe	Lucélio Nativo
Allan Calux	Luís B. Piló
Ataliba Coelho	Marco Otávio Dias Pivari
Bruna Oliveira Meyer	Marconi Souza-Silva
Diogo Saraiva	Maria Gabriela de Carvalho
Eduardo Koole	Pablo Hendrigo Alves de Melo
Felipe Costa	Paulo Galvão
Fernando Frigo	Renata Andrade
Flávio Scalabrini	Robson de Almeida Zampaulo
Isaac Daniel Rudnitzki	Rodrigo Lopes Ferreira
	Thiago Lucon

REVISÃO TÉCNICA

Luís B. Piló e Jocy Brandão Cruz

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Luís B. Piló

REVISÃO GRAMATICAL E ORTOGRÁFICA

Teka Leite - Text Only Revisão de Textos

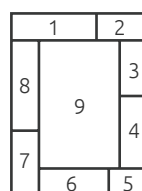
PROJETO GRÁFICO

Javiera de la Fuente Castellón (Editora IABS)

DIAGRAMAÇÃO

Esa Gomes Magalhães (Editora IABS)

FOTOS CAPA



1,8 e 9 - Ataliba Coelho
2,4,6 e 7 - Gabriel Lourenço
3 - Allan Calux
5 - Robson de Almeida Zampaulo



Catálogo na Fonte
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

A região cárstica de Pains / Luís B. Piló e Jocy Brandão Cruz. (org). – Brasília: ICMBio, 2022.

ISBN 978-65-5693-036-7
276 p. ; Color.

1. Espeleologia. 2. Estudos Ambientais. 3. Áreas Cársticas. I. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio. II. Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – Cecav. III. Título.

CDU: 551.44

A reprodução total ou parcial desta obra é permitida desde que citada a fonte.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

Diretoria de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade

Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas

Rodovia BR 450, km 8,5 via Epia, Parque Nacional de Brasília

CEP 70635-800 - Brasília/DF - Tel: 61 2028-9792

<http://www.icmbio.gov.br/CECAV>

SUMÁRIO

7	Apresentação CECAV
9	Apresentação GERDAU
11	Introdução
27	CAPÍTULO 1 Rochas Calcárias Da Região Cárstica De Pains
53	CAPÍTULO 2 Águas Superficiais E Subterrâneas Da Região Cárstica De Pains, Com Ênfase Na Bacia Do Rio São Miguel
81	CAPÍTULO 3 A Vegetação Da Região Cárstica De Pains
103	CAPÍTULO 4 O Relevo Da Região Cárstica De Pains
125	CAPÍTULO 5 As Cavernas Da Região Cárstica De Pains
151	CAPÍTULO 6 A Vida Subterrânea No Carste De Pains: Biodiversidade, Ameaças E Conservação De Fauna Em Uma Notável Paisagem Cárstica Tropical
179	CAPÍTULO 7 Arqueologia Pré-Colonial Da Região Cárstica De Pains
207	CAPÍTULO 8 Paleontologia Do Quaternário Com Ênfase Na Região Cárstica De Pains
231	CAPÍTULO 9 Impactos Ambientais, Vulnerabilidade E Ações De Conservação Na Região Cárstica De Pains
253	CAPÍTULO 10 A Reserva Particular Do Patrimônio Natural – Rppn Luís Beethoven Piló: Ampliando A Conservação Do Carste Na Região De Pains



APRESENTAÇÃO CECAV

A região de Pains, no centro-oeste de Minas Gerais, destaca-se no cenário espeleológico nacional pela especificidade de sua paisagem, caracterizada por uma morfologia peculiar, típica de ambientes cársticos. A quantidade reduzida de rios superficiais e o grande número de dolinas, sumidouros, ressurgências, entre outras formas de relevo, há muito tempo já indicavam aos espeleólogos a intensidade dos processos subterrâneos da região.

Desde os idos do século XIX, o carste da região tem recebido naturalistas, exploradores e pesquisadores que, a cada descoberta, estudo e exploração realizada, elevavam o destaque da região. Na atualidade, é reconhecida como um dos maiores aglomerados de cavernas conhecidos no Brasil e *Hotspot* de biodiversidade subterrânea.

Contudo, o uso e a ocupação da região indicam um avanço significativo das ações humanas sob os ambientes cársticos, reconhecidamente frágeis e vulneráveis. É iminente e necessária a adoção de ações que visem minimizar as consequências desse avanço e promovam o desenvolvimento socioeconômico para a região equalizado pela sustentabilidade ambiental.

O licenciamento ambiental é um dos instrumentos de gestão ambiental que exercem um papel fundamental nesse contexto. A avaliação dos impactos ambientais no patrimônio espeleológico realizada, considerando a sinergia dos impactos, não dissociando os elementos espeleológicos dos demais atributos ambientais, deverá garantir a adequada compatibilidade ambiental necessária para o uso e a ocupação desses ambientes.

Ademais, os estudos realizados no âmbito do licenciamento ambiental contribuem para o avanço do conhecimento e subsidiam a gestão da área. Para tanto, faz-se necessária sua ampla socialização.

Nesse contexto, pautado nas diretrizes do Programa Nacional de Conservação do Patrimônio Espeleológico, Portaria 358/2009/MMA, o Instituto Chico Mendes, por meio do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – ICMBio/Cecav, tem concentrado esforços para a geração, sistematização e disponibilização de informações sobre as cavernas brasileiras e as áreas onde elas ocorrem.

Acreditamos que o fortalecimento da gestão desses ambientes cársticos passa pela informação qualificada e acessível. Nesse sentido, esta obra traz uma síntese do conhecimento produzido na região cárstica de Pains, buscando com isso a difusão do conhecimento e o estímulo à atividade científica na região.

Este livro também homenageia Luís Beethoven Piló. Ao nos deixar precocemente, foi unânime a decisão de dar seu nome à Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), que será criada na região cárstica de Pains, fruto do Termo de Compromisso assinado entre o ICMBio e a Gerdau. No capítulo 10, Piló descreve a unidade de conservação com a maestria que lhe era peculiar.

Essa homenagem, importante e alentadora, se torna singela frente ao amigo carismático e sua contribuição, técnica e científica, para o desenvolvimento da espeleologia e para a conservação do patrimônio espeleológico brasileiro.

Luís Beethoven Piló não foi somente o responsável por identificar a área significativa para a conservação do patrimônio espeleológico da região de Pains, como também participou e coordenou todos os estudos realizados para a criação da reserva.

Encerro aqui expressando quão honrado fico por dividir a organização desse livro com o amigo e mestre. Minha mais profunda gratidão por compartilhar conosco seu conhecimento e amizade.

Jocy Brandão Cruz
Coordenador do ICMBio/Cecav



Gruta Bonita. Foto: Ataliba Coelho.

APRESENTAÇÃO GERDAU

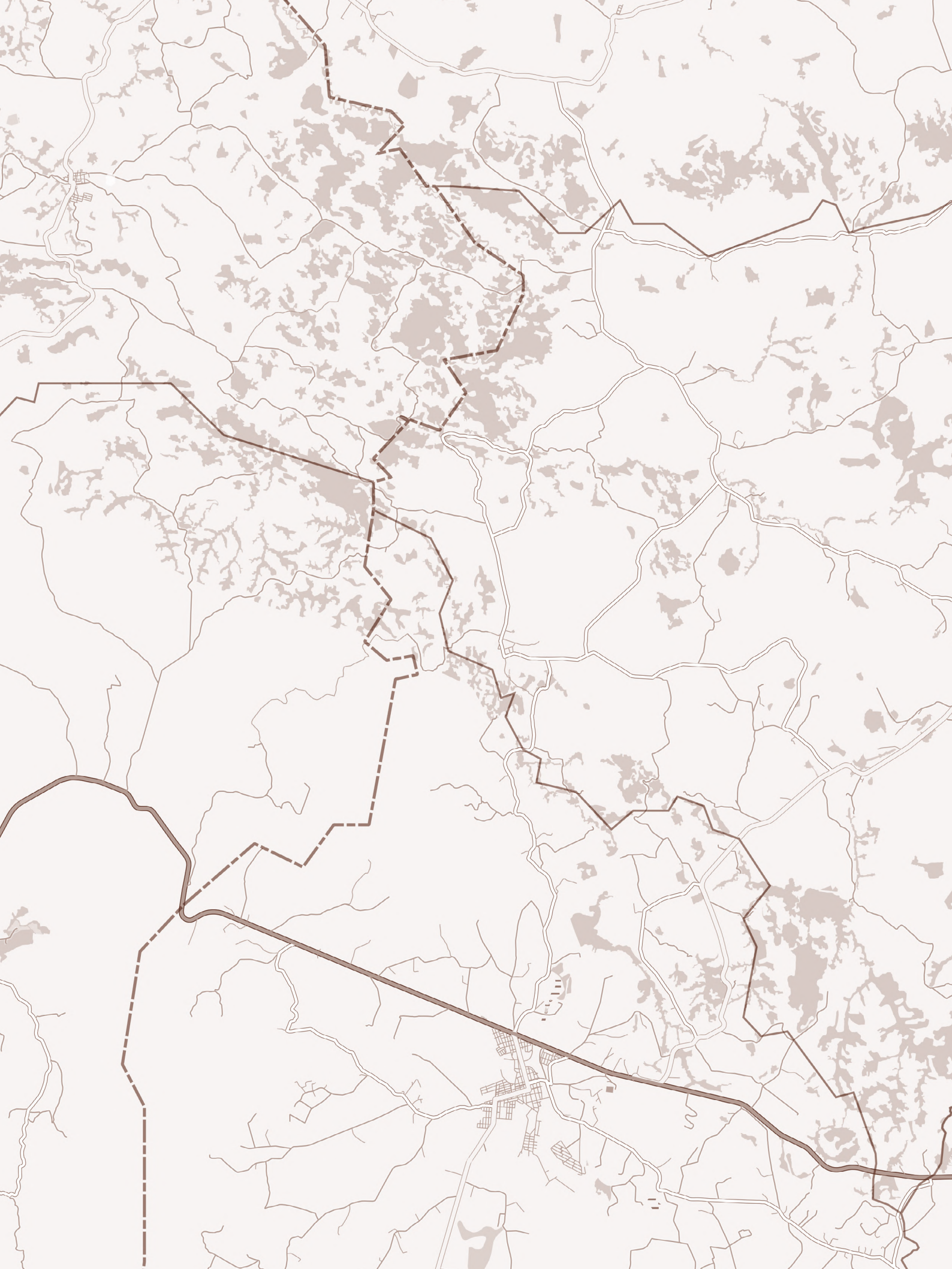
A Gerdau, em atendimento ao Termo de Compensação Espeleológica acordado com o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, vê nesta publicação uma forma de contribuir para a preservação histórica e geológica das formações encontradas na região cárstica de Pains, situada no centro-oeste de Minas Gerais. A região é de grande relevância no cenário nacional da espeleologia, considerada a província espeleológica com o maior número de cavernas carbonáticas do país. A Gerdau mantém a preservação do meio ambiente e a sustentabilidade entre seus pilares mais importantes e acredita que o patrocínio a este projeto vai ao encontro de suas diretrizes enquanto empresa responsável.

A disponibilização de dados científicos por meio desta publicação e a contribuição para a ampliação da base de pesquisas sobre o tema são também importantes aspectos levados em consideração pela Gerdau no apoio a este projeto. Em paralelo, temos a felicidade de apresentar, junto a este conteúdo, a criação da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Luís Beethoven Piló, que também se origina em atendimento ao Termo de Compensação Espeleológica. Esta é a segunda unidade de conservação criada pela Gerdau em Minas Gerais, sendo a primeira no município de Ouro Branco.

O Córrego do Barreado terá um capítulo dedicado nesta publicação, explanando sobre a sua caracterização, que reúne formas tipicamente fluviais e cársticas. A região abrange 60 cavernas, vários sítios arqueológicos, maciços calcários, dolinas e importantes remanescentes florestais, que serão preservados em parceria com a Gerdau.

O livro é assinado por Luís B. Piló e Jocy Cruz, e publicado pelo ICMBio/Cecav em parceria com a Gerdau e o IABS.

Francisco de Assis Lafetá Couto
Gerente-Geral de Sustentabilidade da Gerdau





INTRODUÇÃO

LUÍS B. PILO
JOCY BRANDÃO CRUZ

1. A REGIÃO CÁRSTICA DE PAINS

A palavra *karst* é a forma germânica da palavra de origem pré-indo-europeia “*kras*”, cujo significado é terreno rochoso, característica de uma região situada a nordeste da Itália e noroeste da Eslovênia (SWEETING, 1983). Essa região é referida como o carste clássico, já que foi a primeira a concentrar pesquisas sobre esse tipo de relevo, a partir da segunda metade do século XIX. O termo foi aportuguesado para carste e também estendido internacionalmente para designar todas as regiões com características semelhantes.

Carste é um tipo de relevo distinto que se desenvolve como resultado da dissolução de rochas solúveis denominadas carbonáticas (geralmente calcários e dolomitos) por meio da ação da água rica em CO_2 (ácido carbônico). Esse processo químico produz uma paisagem caracterizada por uma morfologia típica, formada por maciços e paredões rochosos de aspecto ruíniforme, torres, lapiás, vales cegos e dolinas, como também por sistemas de drenagem subterrânea, incluindo a presença de sumidouros, ressurgências e cavernas (Figura 1). Segundo Sánchez (2003), as paisagens cársticas podem ser consideradas de exceção, contrapondo-se às paisagens ditas banais que dominam grande parte do território brasileiro.

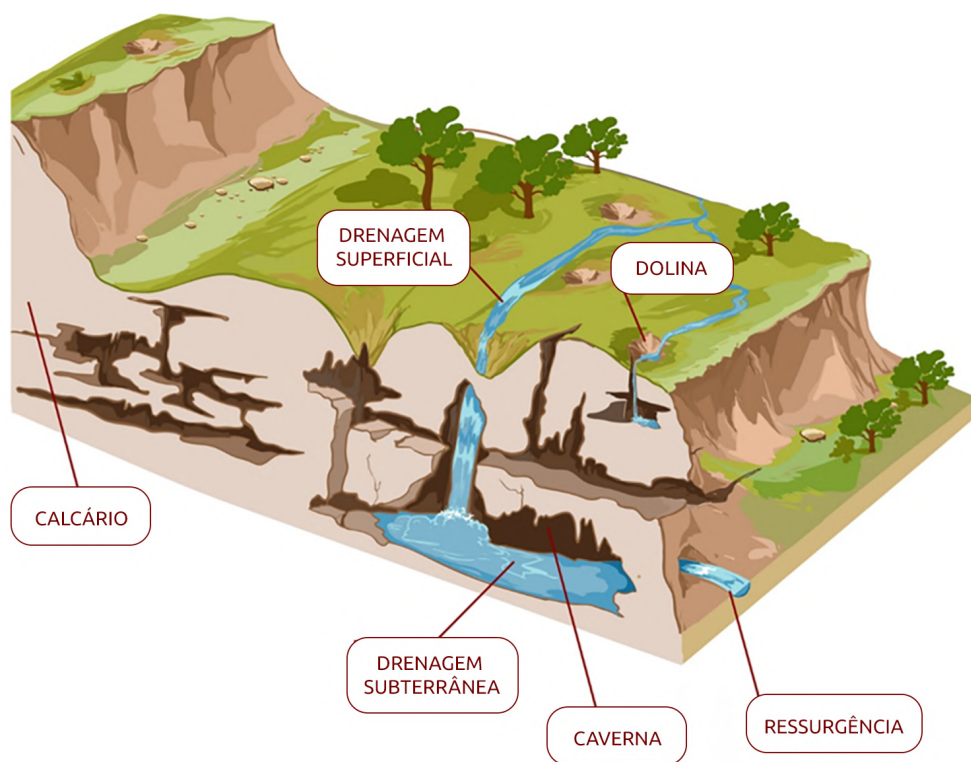


Figura 1 – Bloco-diagrama exibindo um sistema cárstico simplificado com seus principais componentes. Fonte: Getty Images (modificado).

O Brasil possui importantes regiões de ocorrência de rochas carbonáticas com potencial para formação de paisagens cársticas, estimada por Auler (2019) em cerca de 260.815 km², correspondendo a 3,2% do território nacional. O estado de Minas Gerais apresenta diversas áreas com ocorrência dessas rochas, o que possibilitou a formação de várias regiões cársticas, destacando-se os carstes de Lagoa Santa, Montes Claros, Vale do Peruaçu, Vazante e Pains.

A região cárstica de Pains é caracterizada por um conjunto de particularidades morfológicas e hidrológicas comandadas pelo processo de dissolução de calcários e dolomitos neoproterozoicos do Grupo Bambuí (PILÓ, 1997). Na região ainda ocorrem áreas cobertas por rochas pelíticas, não solúveis, como também por espessos horizontes de solos vermelhos e amarelos. No entanto, onde a rocha solúvel aflora, é possível registrar um conjunto único de formas superficiais, típicas do carste (Figura 2).



Figura 2 – Os maciços calcários bem carstificados, circundados por colinas rebaixadas com a presença de dolinas de dissolução, são as formas superficiais do relevo que marcam a região cárstica de Pains. Foto: Allan Calux.

Outra característica da região de Pains é a reduzida incidência de rios superficiais, já que boa parte da drenagem é subterrânea. Alguns sistemas ativos de drenagem subterrânea já foram explorados na região (Figura 3). No entanto, a maioria das cavernas constitui pequenos fragmentos de condutos já abandonados pelo aprofundamento do lençol freático, e que foram desmantelados particularmente pela denudação química do relevo, além de importantes movimentos de massa (abatimentos). Já foram identificadas mais de 2.400 cavernas na região cárstica de Pains (CECAV, 2021), sendo hoje considerada a região com o maior número de cavernas carbonáticas no Brasil.



Figura 3 – Rio subterrâneo na Gruta do Éden, nas proximidades da cidade de Pains. Foto: Gabriel Lourenço.

As entradas das cavernas da região ainda guardam importantes registros arqueológicos de grupos caçadores-coletores, mais antigos, posteriormente substituídos pelos agricultores ceramistas, mais recentes (Figura 4). Os registros demonstram que ocorreu uma transformação de um modo de subsistência baseado na caça, na coleta e na pesca em outro modo que acrescentou a produção agrícola de espécies domesticadas, a exemplo do milho, do fumo e do algodão. Vestígios arqueológicos de caçadores-coletores mais antigos foram datados em cerca de 10.000 anos AP, marcando o início da ocupação humana na região. Os agricultores, por sua vez, já estavam presentes no território a partir de 1,8 mil anos AP (HENRIQUES JÚNIOR, 2006; KOOLE, 2014).



Figura 4 – Urna funerária escavada no Sítio do Inhame, município de Iguatama. Acervo do Museu do Carste do Alto São Francisco (MAC) na cidade de Pains. Foto: Ataliba Coelho.

As cavernas da região apresentam uma significativa riqueza e diversidade de espécies de invertebrados, como também uma surpreendente riqueza de espécies estritamente subterrâneas. Mais de 50 espécies troglóbias já foram registradas no carste de Pains, merecendo destaque os isópodos, grupo mais diversificado entre os troglóbios inventariados. Várias espécies cavernícolas, muito sensíveis a processos de extinção em decorrência de suas baixas densidades populacionais, já foram descritas na região (Figura 5).

Registros fósseis no interior das cavernas foram relatados inicialmente pelo naturalista alemão Wilhelm Ludwig von Eschwege (Figura 6). Visitando a atual Gruta da Cazanga, em 1816, Eschwege mencionou a presença de ossadas fósseis que se encontravam no conglomerado da gruta. Destacou que ocorriam, “espalhados nos sedimentos, numerosos ossos perfeitamente conservados, pertencentes, provavelmente, a animais que ali procuravam refúgio, ou devoravam a sua presa”. Também relatou a presença, na caverna, de ossos e crânios humanos, “provavelmente de infelizes assassinados ou de selvagens que morreram de morte natural” (ESCHWEGE, 2011). No final da década de 1990, ossos articulados e desarticulados de um mastodonte foram descobertos por três pescadores na Loca do Angá (ou gruta do Mastodonte), posteriormente o surpreendente material fossilífero foi estudado por Alberdi *et al.* (2002).

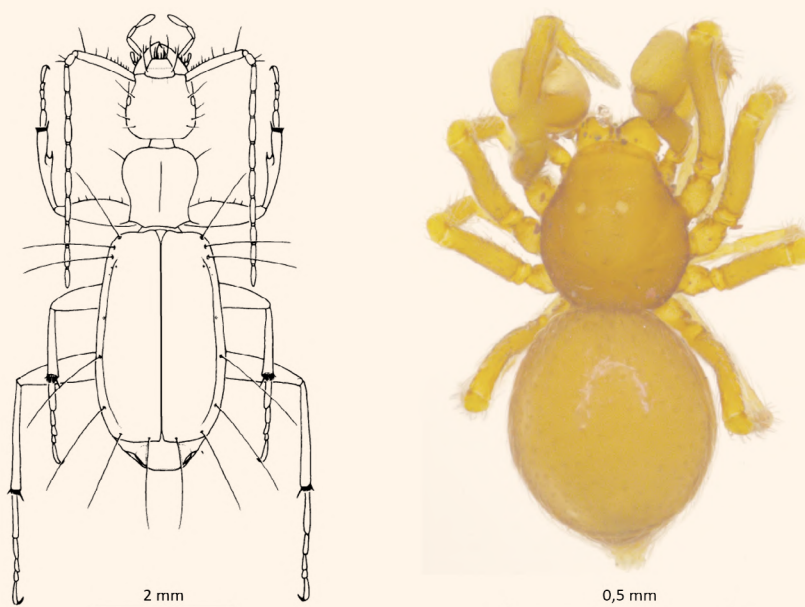


Figura 5 – À esquerda, primeira espécie troglóbia descrita para a região de Pains, o besouro *Coarazuphium pains* (Fonte: Álvares e Ferreira, 2002); à direita, aranha troglóbia (*Matta zuiuda*) descrita recentemente (Fonte: Brescovit e Cizauskas, 2019).

O principal motivo da viagem de Eschwege à região foi conhecer algumas cavernas de onde era extraído o salitre, composto essencial para a fabricação da pólvora, obtida mediante a mistura do salitre, enxofre e carvão. O governo português buscava incentivar a produção do salitre, e muitas cavernas foram assim descobertas no vale do Rio São Francisco. As grutas que continham as terras salitradas eram então denominadas nitreiras, salitreiras ou minas de salitre (GOMES; PILÓ, 1992). A exploração do salitre nas cavernas marca o início do extrativismo mineral na região, ainda no começo do século XIX.

O médico naturalista Johann Emanuel Pohl foi o primeiro a narrar a exuberante vegetação da região, em 1818 (Figura 6). Durante a travessia de uma imponente floresta na região, Pohl contou que foi tomado

por um “temoroso respeito” (POHL, 1976). Já nos meados do século XX, Barbosa (1961) e Mello-Barreto (1942) também destacaram a vigorosa vegetação da região, conhecida como “Mata de Pains”. Os importantes remanescentes de floresta encontrados hoje, geralmente associados aos maciços calcários, guardam influências dos domínios fitogeográficos da Mata Atlântica, do Cerrado e localmente da Caatinga (MELO *et al.*, 2013).

No final do século XVIII, a região foi palco de expedições à cata de fontes auríferas e em busca de remanescentes de quilombos que resistiram aos ataques de expedições oficiais anteriores. Essas expedições, a exemplo da comandada por Ignácio Correia Pamplona, também tinham como objetivo fundar arraiais e distribuir sesmarias (HENRIQUES JÚNIOR, 2006). Toponímias africanas ainda permanecem em grutas, fazendas e rios na região de Pains, como Cazanga, Mandembo, Candonga, Mombaça e Cafunga.

A partir dessas iniciativas foi desencadeado o processo de desmatamento para extração de madeira, criação de pastagens e cultivo da terra. Henriques Júnior (2006) fez referência à existência de fazendas na região denominadas de “Engenho da Serra”, que continham engenhos hidráulicos que moviam grandes serras para o processamento da madeira proveniente da floresta. Essas atividades de uso da terra prevaleceram até as primeiras décadas do século XX.

A extração do calcário, em pequena escala, já ocorria nas primeiras décadas do século XX. Segundo o engenheiro Alagrino Monteiro, do Serviço Geográfico de Minas Gerais, que visitou a região em 1931, “nas proximidades do arraial de Pains e num raio de cinco léguas as serras eram constituídas de calcário, existindo inúmeras caieiras” (IBGE, 1939).

Barbosa (1961) narrou, em seu pioneiro artigo sobre o “Karst da Mata de Pains”, a expansão do extrativismo mineral, focado nas rochas calcárias. Segundo o autor, a riqueza tradicional na região era a agricultura, principalmente o cultivo do milho, no entanto, foi observado um avanço das pastagens com melhoria do rebanho leiteiro. A indústria derivada do calcário estava em plena expansão, com a instalação de unidades industriais nas proximidades de Arcos.

A partir dos anos de 1960 ocorreu um avanço expressivo da atividade minerária na região, com a instalação principalmente de indústrias de calcinação, que atuaram de forma desordenada e com tecnologias muito poluentes na exploração e beneficiamento dos recursos minerais, gerando um passivo ambiental importante. A falta de uma legislação específica para a proteção ambiental também contribuiu para esse cenário de ampliação de áreas degradadas e, particularmente, de poluição atmosférica em decorrência das caieiras.

De 1960 até a década de 1990, vários grupos de exploração, mapeamento e de estudos de cavernas atuaram na região (Figura 7), gerando os primeiros trabalhos descritivos (FILGUEIRAS, 1973; LIMA, 1970), com destaque para a Sociedade Excursionista e Espeleológica dos Alunos da Escola de Minas de Ouro Preto (SEE), Espeleogrupo Anibal Matos (Espam), Núcleo de Atividades Espeleológicas (NAE), Grupo Agster de Pesquisas Espeleológicas



Figura 6 – À esquerda, Wilhelm Ludwig von Eschwege, acervo Parques de Sintra – Palácio da Pena, Portugal (Fonte: Wikipédia); à direita, Johann Emanuel Pohl, litografia de von Adolph Friedrich Kunike, por volta de 1830 (Fonte: Wikipédia).

(Gape), Guano Espeleo, Espelogrupo Pains (EPA), entre outros. Trabalhos sobre as rochas calcárias e o carste também foram elaborados (MADALOSSO; VERONESE, 1978; MUZZI-MAGALHÃES, 1989; PIZARRO, 1998; ROLFF, 1971; SAADI *et al.*, 1998; SENA, 1998).

Nesse período também houve uma importante ampliação da mineração. Por meio da análise de imagens Landsat entre 1984 e 1997, Muniz e Fernandes (2013) detectaram um aumento de 151% da área minerada nos municípios de Arcos e Pains. Com o aumento das atividades poluidoras e dos conflitos ambientais, o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (Ibama) e a Fundação Estadual do Meio Ambiente (Feam), em decorrência do Decreto N° 99.556/1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional, ampliaram suas atuações na região. Termos de Ajustamento de Conduta (TAC) buscaram uma certa adequação das atividades mineradoras na região, mas foram insuficientes para o controle efetivo dos impactos ambientais sobre o carste.

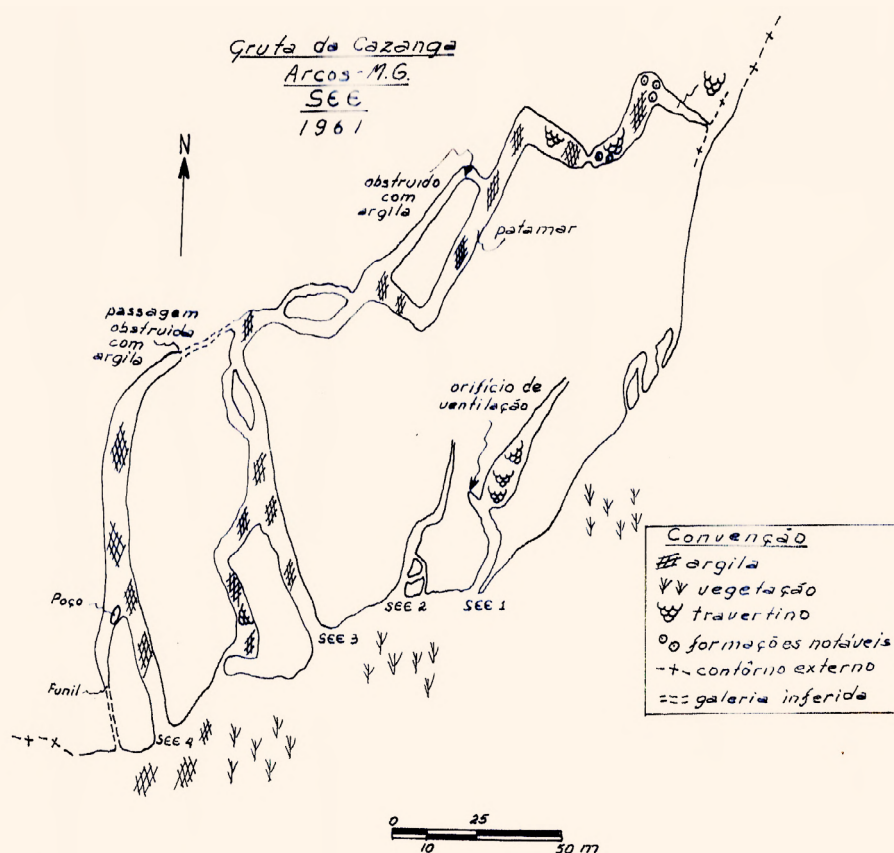


Figura 7 – Planta baixa da Gruta da Cazanga, localizada no município de Arcos, elaborada pela SEE em 1961. Essa caverna foi visitada pelo naturalista Eschwege em 1816. Fonte: Acervo SEE.

Atualmente, a mineração é a principal atividade econômica dos municípios de Arcos, Pains e Córrego Fundo (Figura 8). Essas atividades absorvem grande parte da mão de obra empregada, direta ou indiretamente na indústria ou nas minas da região (NOGUEIRA, 2016). Muniz e Fernandes (2013) detectaram um aumento de 54% da área minerada na primeira década do século XXI. Nesse período ocorreu uma diminuição importante, em relação ao período anterior analisado (1984 e 1997), que foi de 151%. Essa diminuição, segundo os referidos autores, foi consequência da legislação espeleológica, de um aumento das exigências na avaliação dos processos de licenciamento ambiental e de uma maior participação do terceiro setor, aliados a

pressões da comunidade científica que atua na região. Outras intervenções antrópicas associadas a importantes feições do carste da região também têm sido observadas, como o avanço da urbanização, manejo pastoril inadequado, visitação desordenada de cavernas e continuidade do desmatamento.



Figura 8 – Unidade de mineração nas proximidades de Arcos, voltada para o fornecimento de fundentes para a siderurgia, produção de cimento e corretivo agrícola. Importantes remanescentes da floresta estacional sobre maciços calcários podem ser observados. Foto: Allan Calux.

Marcante nas últimas duas décadas foi a atuação expressiva de universidades na região, por meio de pesquisas nas áreas de geologia (MEYER, 2018), hidrologia e hidrogeologia (APEZTEGUIA; PAPROCKI, 2017; FERRARI *et al.*, 2018; FREITAS, 2009; LUCON *et al.*, 2018; LUCON *et al.* 2020; PEREIRA *et al.*, 2019), geomorfologia (MARTINS, 2013; TIMO, 2014), solos (LAGES *et al.*, 2005; MORAES, 2007), botânica (MELO, 2013), meio ambiente (NOGUEIRA, 2016; SANGUINETTO *et al.*, 2018) e espeleologia (ROSA, 2015; SOUSA, 2014; TEIXEIRA-SILVA *et al.*, 2013; ZAMPAULO, 2010). A pesquisa continuada das universidades e a geração de conhecimento científico consistente são, sem dúvida, fortes alicerces para a formulação de políticas públicas, particularmente aquelas ligadas à gestão ambiental.

Estudos ambientais, integrantes do processo do licenciamento ambiental, também tiveram um grande aumento nas últimas duas décadas na região. Esses estudos, quando elaborados com rigor técnico e ética am-

biental, têm como objetivo aferir a viabilidade ambiental do empreendimento, servindo para prevenir danos ambientais e também mitigar impactos ao meio ambiente que são, muitas vezes, inevitáveis (CRUZ e PILÓ, 2019). Melhores práticas ambientais, sociais e de governança empresarial (ESG) vêm recebendo grande atenção no mundo e no Brasil. Cada vez mais essas práticas estão sendo utilizadas por consultores financeiros, bancos e fundos de investimento para avaliar o desempenho das empresas (GROSSI; BLOWER, 2019).

Com amplo reconhecimento da sua importância ambiental e cultural (CECAV, 2018; DRUMMOND *et al.*, 2005; HENRIQUES JÚNIOR, 2006; MMA, 2009; PIZARRO *et al.*, 2001; ZAMPAULO, 2010), a região de Pains apresenta menos de 600 hectares efetivamente protegidos legalmente, por intermédio de unidades de conservação (UCs), ou seja, ações para a criação de UCs ainda são muito tímidas. As UCs são fundamentais para a conservação das variedades de espécies biológicas e dos recursos genéticos, manutenção dos serviços ambientais, regulação da quantidade e qualidade da água, proteção de paisagens consideradas de exceção, promoção da educação, interpretação ambiental e recreação em contato com a natureza, entre outros objetivos.

O carste e as cavernas são ambientes vulneráveis e podem ser afetados por impactos específicos, em grande parte relacionados às suas peculiaridades geomorfológicas, hidrológicas, ecológicas e de cunho cultural. Todos os recursos e serviços ecossistêmicos fornecidos pelo carste não podem ser considerados isoladamente, pois estão fortemente interconectados. Trata-se de um sistema acoplado, envolvendo o carste superficial, o epicarste e o carste subterrâneo. Nesse ambiente ocorrem mecanismos de *feedback* complexos, indicando que impactos em elementos individuais do sistema podem ter reflexos inesperados em outros elementos ou mesmo em amplos setores do carste.

A proteção de ambientes cársticos requer um planejamento integrado que considere, principalmente, a dinâmica específica do carste. O cumprimento da legislação ambiental e espeleológica é importante, mas é necessário avançar em uma gestão ambiental eficiente, envolvendo os setores público, empresarial e a comunidade, buscando desenvolvimento socioeconômico com boas práticas ambientais. Nesse sentido, este livro de divulgação pretende compartilhar com toda a sociedade a grande importância do carste de Pains, sua vulnerabilidade e seus expressivos valores ambientais e culturais.

2. LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO CÁRSTICA DE PAINS

A região cárstica de Pains está situada no centro-oeste de Minas Gerais, englobando integralmente o município de Pains e parte dos municípios de Arcos, Córrego Fundo, Formiga, Pimenta, Piumhi, Doloresópolis e Iguatama (Figura 9). Essa região abrange uma área com cerca de 700 km², representando 0,1% do território de Minas Gerais.

A região também tem sido denominada de Karst da Mata de Pains (BARBOSA, 1961), Província Cárstica do Alto São Francisco (HADDAD, 2007; HENRIQUES JÚNIOR, 2006; KOOLE, 2014), Região de Arcos-Pains-Doloresópolis (PIZARRO *et al.*, 2001; TEIXEIRA-SILVA *et al.*, 2013), Região Cárstica de Arcos, Pains, Doloresópolis, Córrego Fundo e Iguatama (TEIXEIRA; DIAS, 2003), entre outras denominações.

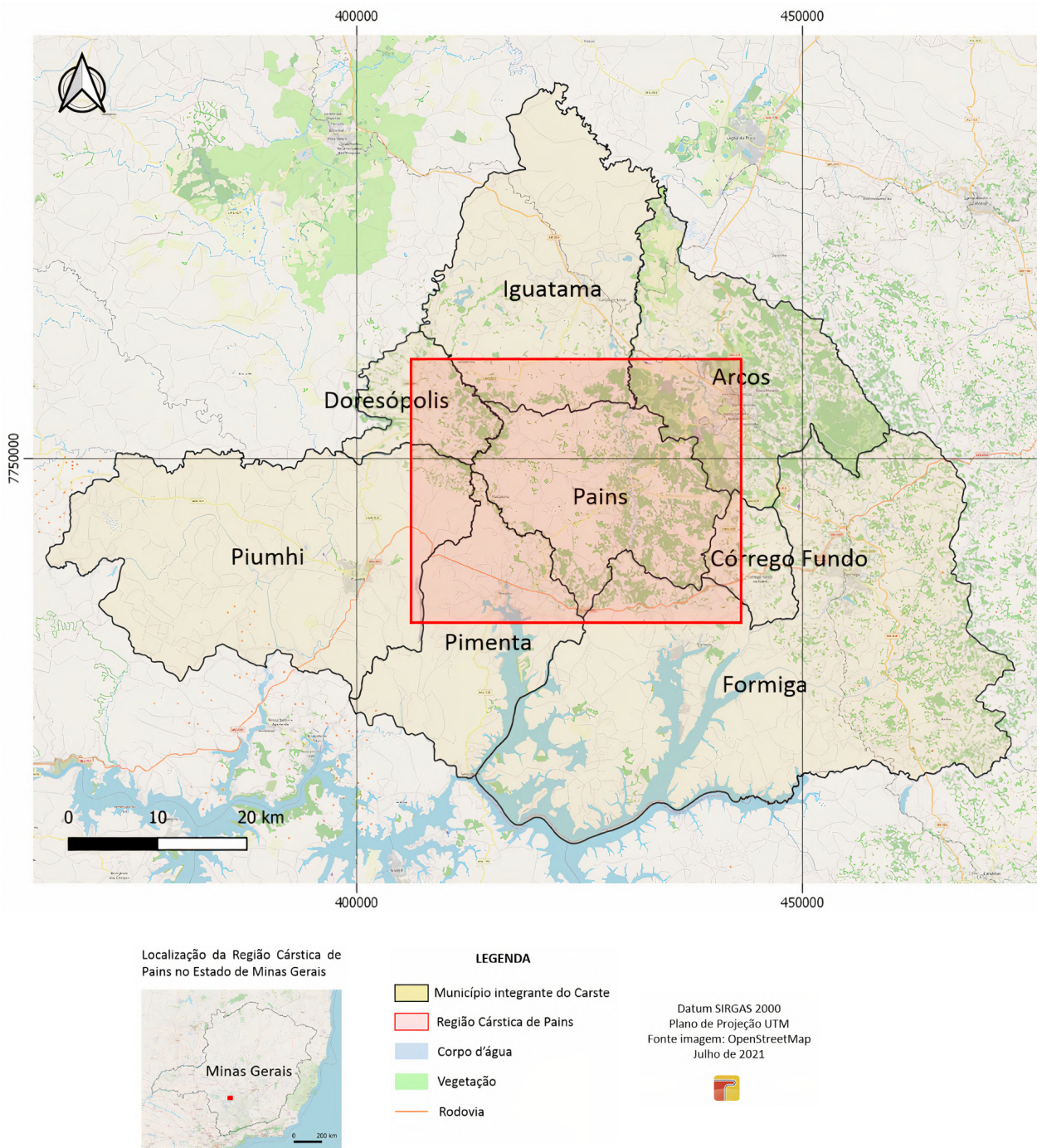


Figura 9 – Localização da região cárstica de Pains no centro-oeste de Minas Gerais.

3. OBJETIVOS E ESTRUTURA DO LIVRO

Este livro tem como objetivo reunir em um volume, de forma inédita, os principais temas que compõem a região cárstica de Pains, buscando a difusão do conhecimento, potencializando o debate científico e instigando novos talentos para atividades de ciências na região. O livro também pretende estimular ações efetivas de conservação e proteção em uma das áreas cársticas mais importantes do Brasil.

O livro está estruturado da seguinte forma. O primeiro capítulo apresenta uma completa caracterização das rochas carbonáticas da região cárstica de Pains. O capítulo 2 tem como foco as águas superficiais e subterrâneas, com ênfase na Bacia do Rio São Miguel. A vegetação da região cárstica de Pains é apresentada em seguida, no capítulo 3. No capítulo 4 são mostrados os principais compartimentos do relevo regional. O capítulo 5 discorre sobre a distribuição, os aspectos dimensionais e a geoespeleologia das cavernas da região, incluindo as grutas notáveis. A vida nas cavernas, incluindo biodiversidade, ameaças e conservação da fauna subterrânea é o tema do capítulo 6. No capítulo 7, o objeto é a arqueologia pré-colonial. No capítulo 8 o tema é a paleontologia do Quaternário, com ênfase na região cárstica de Pains. O capítulo 9 discorre sobre os impactos ambientais, as vulnerabilidades e as ações de conservação necessárias para o carste regional. No capítulo 10 é apresentada a Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN Luís Beethoven Piló, que está sendo criada pela Gerdau na região.

Boa Leitura!

REFERÊNCIAS

ALBERDI, M. T.; PRADO, J. L.; CARTELLE, C. El Registro de *Stegomastodon* (Mammalia, Gomphotheriidae) en el Pleistoceno Superior de Brasil. **Revista Española de Paleontología**. v. 17, n. 2, p. 217-235. 2002.

ÁLVARES, E. S. S.; FERREIRA, R. L. *Coarazuphium pains*, a new species of troglobitic beetle from Brazil (Coleoptera: Carabidae: Zuphiini). **Lundiana**. Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p. 41-43, 2002.

APEZTEGUIA, J. H. I.; PAPROCKI, H. Características de um Rio Cárstico na Bacia do São Francisco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 5, p.1576-1594, 2017.

AULER, A. Introdução. In: RUBBIOLI, E. L. *et al.* (org). **Cavernas – Atlas do Brasil Subterrâneo**. Brasília: ICMBio, 2019. 340p.

BARBOSA, G. V. Notícias sobre o Karst na Mata de Pains. **Boletim Mineiro de Geografia**, v. 2, p. 3-21, 1961.

BRASIL. Decreto Nº 99.556, de 1º de outubro de 1990. Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Seção 1 – 2/10/1990, Brasília, DF, página 18836.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Programa Zoneamento Ecológico-Econômico. **Caderno de Biodiversidade**. p. 211, 2009.

BRESCOVIT, A. D.; CIZAUSKAS, I. Seven new species of the spider genus *Matta* Crosby from caves in the State of Minas Gerais, Brazil (Araneae, Tetrablemmidae). **Zootaxa**, Auckland, v. 4559, n. 3, p. 401-444. 2019.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS. **Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas – CANIE**, 2021. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html>. Acesso em: 01 maio 2021.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS. **Áreas prioritárias para a conservação do Patrimônio Espeleológico**. Brasília. p. 31. 2018.

CRUZ, J. B.; PILÓ, L. B (org.). **Espeleologia e licenciamento ambiental**. Brasília: ICMBio. 2019.

DRUMMOND, G. M. *et al.* Fatores Abióticos. *In: Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação*. 2. ed. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, p. 222. 2005.

ESCHWEGE, W. L. **Pluto brasiliensis**. Senado Federal, Conselho Editorial, Brasília, 2011.

FERRARI, J. A. *et al.* **Identificação e caracterização hidrológica da área de influência da Gruta do Éden, Pains – MG**. ICMBio/Cecav, Brasília. 36 p. 2018 (Não publicado).

FILGUEIRAS, R. R. A Gruta da Loca Grande e a Gruta dos Milagres. **Revista Espeleologia**, Ouro Preto, n. 7, p. 41-43, 1973.

FREITAS, P. M. C. **Estudo de intercomunicação hidráulica superficial-subterrânea no carste da área periurbana de Pains/MG, utilizando-se traçador Rodamina WT**. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 85 p. 2009.

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, v. 16, p. 83-93, 1992.

GROSSI, M.; BLOWER, L. **ESG: as três letras que estão mudando os investimentos**. Sustentável Blog – cebds, 2019. Disponível em: <https://cebds.org/esg-as-tres-letras-que-estao-mudando-comportamento-os-investimentos/>. Acesso em: 02 jul. 2021.

HADDAD, E. A. **Influência antrópica na qualidade da água da bacia hidrográfica do Rio São Miguel, carste do alto São Francisco, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 156 p., 2007.

HENRIQUES JÚNIOR, G. **Arqueologia Regional da Província Cárstica do Alto São Francisco: um estudo das tradições ceramistas Una e Sapucaí**. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) – Museu de Arqueologia e Etnologia da Universidade de São Paulo – MAE. São Paulo, p. 89, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **As Grutas em Minas Gerais**. Belo Horizonte: Oficinas Gráficas da Estatística, 1939. 278 p.

KOOLE, E. **Caracterização arqueológica dos grupos caçadores-coletores a partir da análise de sete elementos e suas implicações para a pré-história da Região Cárstica do Alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil: cronologia, tecnologia lítica, subsistência (fauna), sepultamentos, mobilidade, uso do espaço em abrigos naturais e arte rupestre**. Tese (Doutorado em Arqueologia) – Museu de Arqueologia e Etnologia da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 564. 2014.

LAGES, S. G.; OLIVEIRA, C. V.; SAADI, A. Levantamento Pedológico e de aptidão agrícola da Província Cársica de Arcos, Pains e Doresópolis, região entre Arcos e Pains – Minas Gerais. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30. 2005, Recife. **Anais [...]**. Recife: SBSC, 2005.

LIMA, E. P. A Gruta da Cazanga. **Espeleologia**, Ouro Preto, n. 2, p. 9-15. 1970.

LUCON, T. N. *et al.* Utilização do mapeamento hidroquímico para avaliação da qualidade das águas superficiais da Bacia do Rio São Miguel, Minas Gerais. **Geonomos**, v. 26, n. 1, p. 31-42, 2018.

LUCON, T. N. *et al.* Recharge sources and hydraulic communication of karst aquifer, São Miguel watershed, MG, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 100, 102591, 2020.

MADALOSSO, A.; VERONESE, V. A. Considerações sobre a estratigrafia das rochas carbonatadas do Grupo Bambuí na região de Arcos, Pains e Lagoa da Prata (MG). *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30. 1978, Recife. **Anais [...]**. Recife: SBG. v. 2, p. 635-648, 1978.

MARTINS, T. I. S. **Mapeamento Geomorfológico da Folha Piumhi, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, p. 154, 2013.

MELLO-BARRETO, H. L. Regiões fitogeográficas de Minas Gerais. **Boletim Geográfico**. Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, v. 14, p. 14-28, 1942.

MELO, P. H. A. DE *et al.* Composição florística de angiospermas no carste do Alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguesia**, v. 64, n. 1, p. 29-36, 2013.

MEYER, B. O. **Petrologia e geocronologia das fácies carbonáticas da Formação Sete Lagoas em Pains (MG)**. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. p. 194. 2018.

MORAES, A. F. **Abordagem da vulnerabilidade química e risco de contaminação dos solos por metais pesados em área dos municípios de Pains, Arcos e Córrego Fundo – MG, baseada nos constituintes dos solos retentores dos metais pesados**. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. p. 101, 2007.

MUNIZ, F.; FERNANDEZ, E. Análise da expansão das áreas de cavas de mineração nos municípios de Arcos e Pains (MG) utilizando imagens Landsat. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 32, 2013, Barreiras. **Anais [...]**. Campinas: SBE, 2013. p. 239-244.

MUZZI-MAGALHÃES, P. **Análise estrutural das rochas do Grupo Bambuí na porção sudoeste da Bacia do São Francisco**. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. p. 105, 1989.

NOGUEIRA, C. O. G. **Sustentabilidade da atividade minerária no polo mineroindustrial da microrregião de Formiga, MG**. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras. Lavras. p. 135, 2016.

PEREIRA, D. L. *et al.* Adapting the EPIK method to Brazilian Hydro (geo) logical context of the São Miguel watershed to assess karstic aquifer vulnerability to contamination. **Journal of South American Earth Sciences**, n. 90, p. 191-203, 2019.

PILÓ, L. B. Rochas carbonáticas e relevos cársticos em Minas Gerais. **O Carste**, n. 9, p. 72-78, 1997.

PIZARRO, A. P. Compartimentação Geológico-Geomorfológica da Província Carbonático-Espeleológica Arcos-Pains-Doresópolis-MG. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40. 1998, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBG-MG, 1998.

PIZARRO, A. P.; FRIGO, F. J. G.; CAMPELO, M. S. Atualização da Distribuição de Cavidades Significativas da Província Carbonática Espeleológica de Arcos-Pains. *In*: INTERNATIONAL CONGRESS OF SPELEOLOGY, 13, Brasília. 2001. **Anais [...]**. Brasília: SBE. 2001. p. 245-248.

POHL, J. E. **Viagem no interior do Brasil**. Belo Horizonte: Ed. Itatiaia. 1976.

ROLFF, P. A. M. A. Morfologia Cársica no Bambuí de Arcos-MG. **Espeleologia**, Ouro Preto, n. 3/4. p. 25-30, 1971.

ROSA, M. L. **Geoespeleologia da Gruta Santuário, Pains/MG**. Monografia (Graduação em Geologia) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 53, 2015.

SAADI, A.; MORAIS, M. S.; CARDOSO, G. G. C. Evolução morfotectônica e carstogênese na região de Arcos, Pains e Dorésópolis. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 2. Florianópolis, 1998. **Anais [...]**. Florianópolis, p. 341-344, 1998.

SANCHÉZ, L. E. A produção mineral brasileira, cinco séculos de impacto ambiental. *In*: RIBEIRO, W. C. **Patrimônio Ambiental Brasileiro**. São Paulo: Edusp, 2003.

SANGUINETTO, E.; DANIEL, G. O.; FERREIRA, M. D. Inclusão de Áreas de Proteção em Feições Cársticas e Inovação Minerária no Município de Pains, MG. **Caderno Prudentino de Geografia**. Presidente Prudente, n. 40, v. 1, p. 68-92, 2018.

SENA, F. S. O Patrimônio Cárstico na Província de Pains, MG. **Informativo SBE**, n. 76, 1998.

SOUSA, P. R. A. **Da superfície ao subterrâneo**: um estudo sobre as influências do habitat físico na estrutura da comunidade em um *hotspot* de biodiversidade subterrânea. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, p. 76, 2014.

SWEETING, M. M. **Karst Geomorphology**. Hutchinson Ross Publishing Company: Benchmark Papers in Geology, 59, 1983, 429 p.

TEIXEIRA, P. S.; DIAS, M. S. Levantamento espeleológico da Região Cárstica de Arcos, Pains, Dorésópolis, Córrego Fundo e Iguatama. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 27, 2003, Januária. **Anais [...]**. Januária: SBE, 2003.

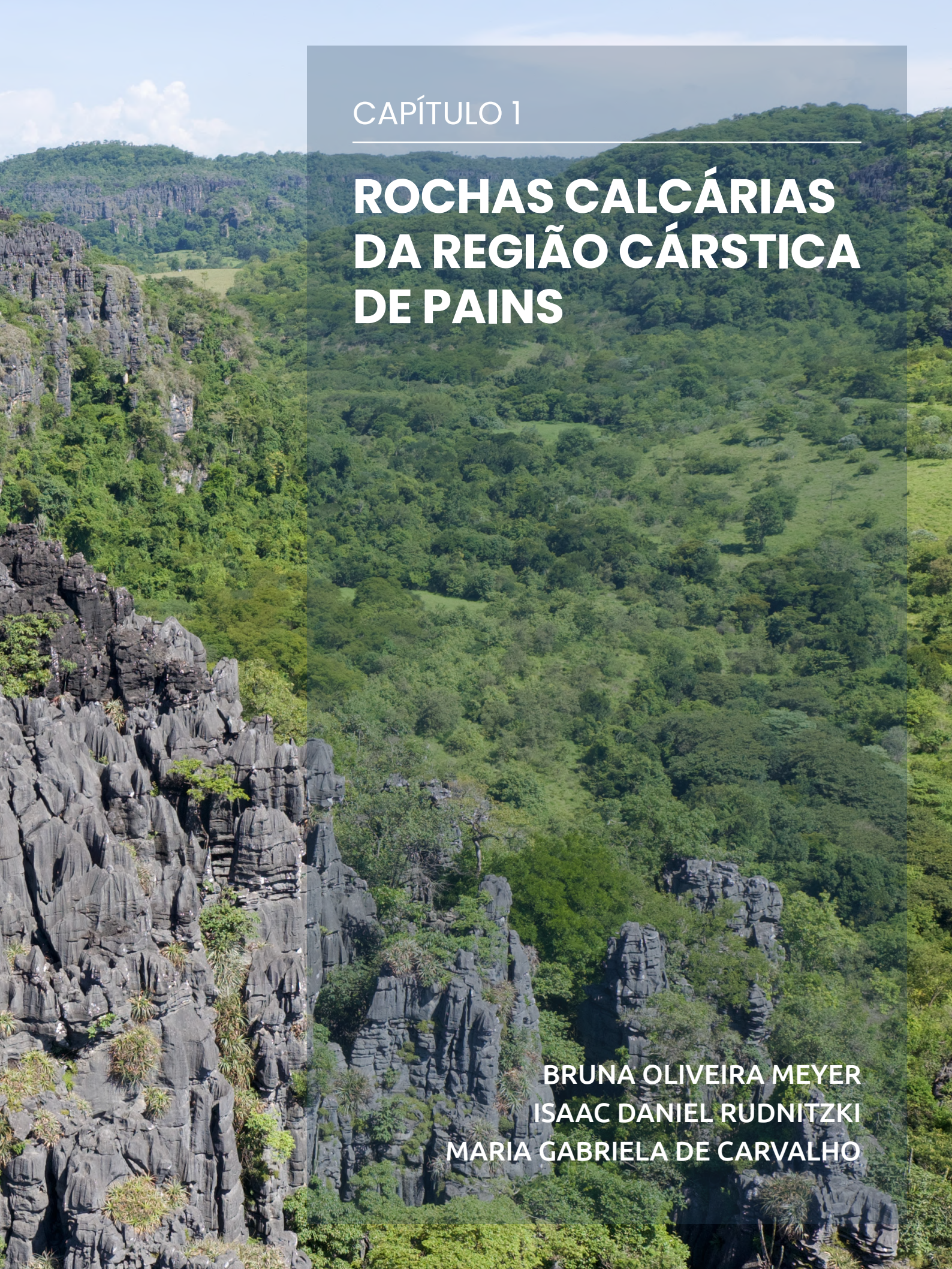
TEIXEIRA-SILVA, C. M. *et al.* Domínios espeleogenéticos da região de Arcos-Pains-Doresópolis (MG, Brasil). *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA*, 32, 2013, Barreiras. **Anais [...]**. Campinas: SBE, 2013. p. 381-390.

TIMO, M. B. **Mapeamento geomorfológico da região Cárstica do Córrego do Cavalo, Piumhi (MG)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 133, 2014.

ZAMPAULO, R. A. **Diversidade de Invertebrados cavernícolas na província espeleológica de Arcos, Pains e Dorésópolis (MG)**: subsídios para a determinação de áreas prioritárias para conservação. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, p. 190, 2010.



Serra dos Varões. Foto: Allan Calux.



CAPÍTULO 1

ROCHAS CALCÁRIAS DA REGIÃO CÁRSTICA DE PAINS

BRUNA OLIVEIRA MEYER
ISAAC DANIEL RUDNITZKI
MARIA GABRIELA DE CARVALHO

1. INTRODUÇÃO

Na região cárstica de Pains, é comum o afloramento de rochas carbonáticas e pelíticas. Fora da área de influência de onde correm os rios locais, os solos são, em geral, produtos da decomposição dessas rochas. A ocorrência desses tipos de rochas controla, também, as morfologias do relevo (Figura 1).



Figura 1 – Paisagem da região de Pains, com maciço de rochas calcárias à direita, onde ocorre dolina na base do paredão, enquanto à esquerda ocorrem colinas suaves, marcando as características do relevo local. Foto: Gabriel Lourenço.

Onde afloram os calcários, os solos são avermelhados e menos espessos, e se associam à ocorrência de um relevo cárstico exumado (ou seja, exposto), com frequentes maciços rochosos, lapiás, torres, dolinas, sumidouros, ressurgências e cavernas. Já onde se encontram expostos os pelitos, os solos são amarelados e mais espessos, configurando um relevo cárstico coberto, em que predominam colinas suaves associadas a eventuais dolinamentos, lagoas e sumidouros (MARTINS; RODRIGUES, 2016; PROAPE, 2012).

Os aspectos do relevo remontam à história geológica dessa região, que nos contam sobre a evolução de ambientes e processos sobre grandes territórios ao longo de milhões de anos. Em específico, as rochas do subsolo regional marcam a existência pretérita de um ambiente marinho, com pouca influência de rios costeiros, que são reunidas pelos geólogos no Grupo Bambuí.

Mas como seria esse ambiente marinho de milhões de anos atrás? Como pode ele influenciar no que hoje vemos na região? Bem, vamos começar entendendo um pouco sobre rochas carbonáticas para então investigar a geologia da região.

2. ROCHAS CARBONÁTICAS: ORIGENS E SIGNIFICADOS

As rochas carbonáticas são uma categoria de rocha sedimentar.

Esses tipos de rochas são formados por fragmentos materiais naturais (sedimentos) depositados na superfície da Terra. Os sedimentos podem ser de origem clástica, química ou biológica. A progressiva acumulação e empilhamento de sedimentos ocasiona a compactação destes, levando à formação das rochas.

A maioria das rochas sedimentares são siliciclásticas, sendo característica a predominância de minerais de silicatos (grupo mineral mais abundante na crosta da Terra). Exemplos de rochas dessa categoria são:

- Os siltitos e argilitos, ou pelitos, rochas formadas por sedimentos do tamanho argila (lamas) e silte (limos);
- Os arenitos, rochas formadas por sedimentos do tamanho de grãos de areia;
- E as brechas e conglomerados, formados por fragmentos de rochas visíveis a olho nu (>2 mm).

Já as rochas carbonáticas são aquelas constituídas principalmente por minerais carbonáticos. Estes são formados, principalmente, pela associação de metais e semimetais com ânions de carbonatos (CO_3^{2-}). Cada mineral possui uma composição química específica e uma estrutura cristalina de organização interna. Os principais minerais formadores de rochas desse grupo são a:

Calcita (Figura 2.A) – CaCO_3 , de hábito (formato externo característico e comum) ortorrômbico (Figura 2.B);
Dolomita (Figura 2.D) – $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, de hábito romboédrico (Figura 2.C)

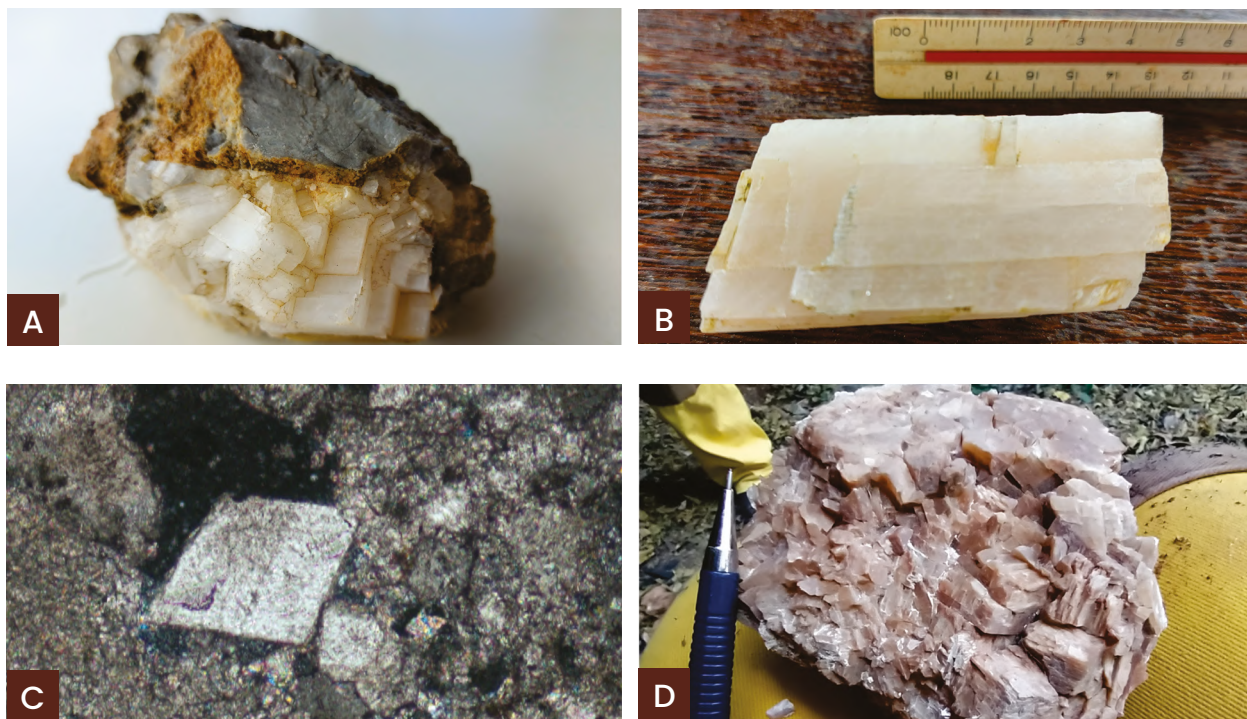


Figura 2. (A) Amostra de rocha carbonática, com veio de cristais de calcitas (brancos) encaixados; (B) Cristal ortorrômbico de calcita; (C) Cristal romboédrico de dolomita (clara), vista ao microscópio, em meio a rocha carbonática; (D) Amostra de dolomitas cristalinas rosadas.

Seus sedimentos se originam ou são induzidos por atividades biológicas; formam-se por processos de precipitação inorgânica pura (químicos), ou mesmo por desagregação de rochas e depósitos já existentes e transportados (clásticos) pela ação dos ventos, das águas, do gelo e/ou da gravidade.

Quando as rochas carbonáticas possuem proporções de argilas e siltes de silicatos consideráveis, são chamadas de margas.

No geral, a produção de depósitos carbonáticos exige condições ambientais específicas, como águas quentes ($\sim 25^{\circ}\text{C}$), salinidade normal, influência da zona fótica (leia-se, da luz) e de baixa turbidez, ou seja, águas claras a transparentes (TUCKER, 1992). A acumulação de seus depósitos ocorre, principalmente, em ambientes marinhos, mais especificamente, ao longo de plataformas carbonáticas (Figura 3) de zonas equatoriais a tropicais, apesar de ocorrerem raros registros de sedimentos carbonáticos de águas frias em zonas de alta latitude.

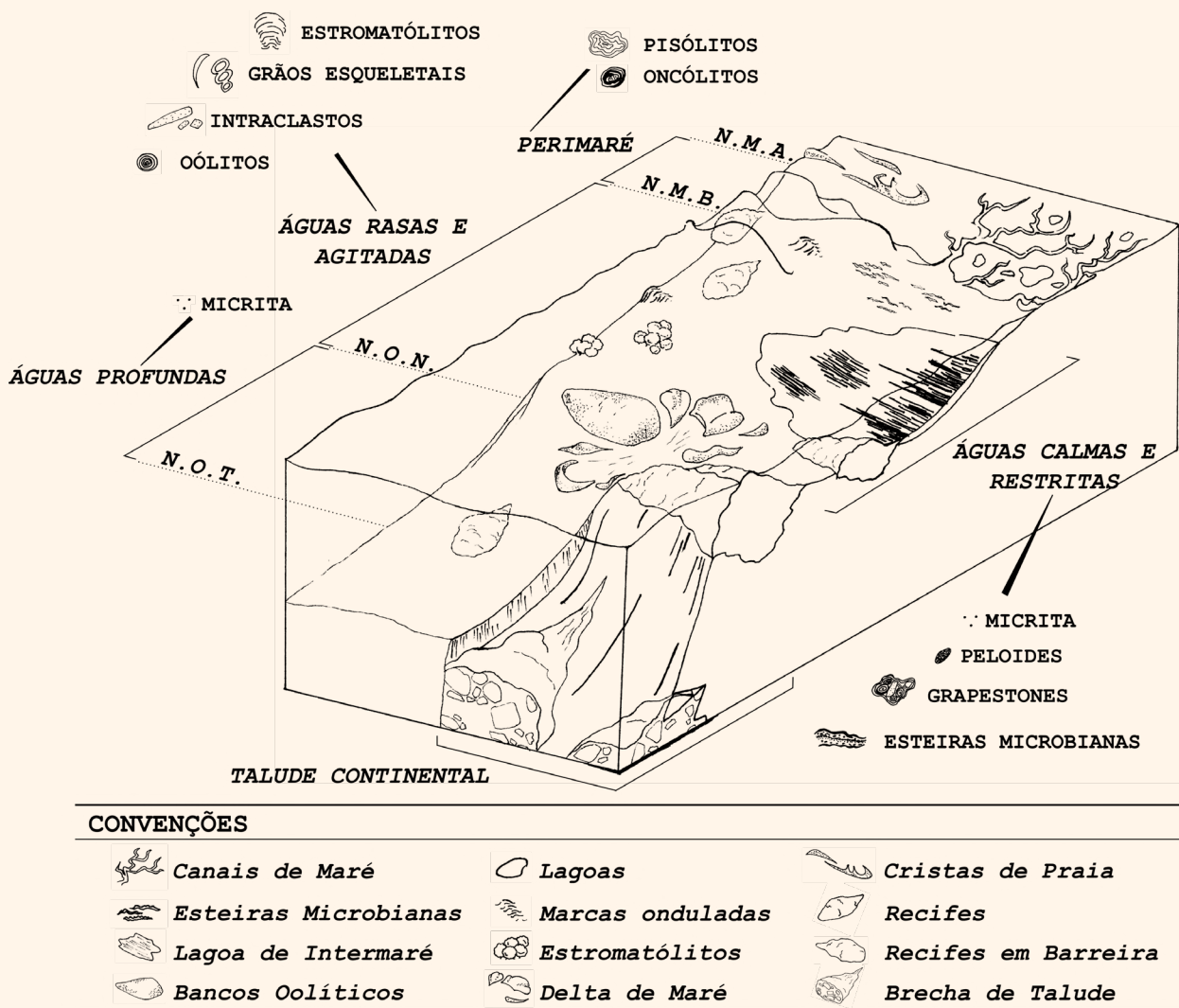


Figura 3 – Bloco diagrama esquemático de uma plataforma marinha carbonática, mostrando uma distribuição geral de tipos de ambientes e grãos. N.M.A.= Nível de maré alta; N.M.B. = Nível de maré baixa; N.O.N. = Nível de ondas normais; N.O.T. = Nível de ondas de tempestades. Adaptado dos blocos disponíveis no site da SEPM Strata.

O ambiente de plataforma corresponde à extensão da margem de um continente que se encontra submerso, ou seja, abaixo do nível do mar. Seu relevo é geralmente plano, com baixas declividades, e chega a atingir profundidades de até 180 metros (comparadas às profundidades oceânicas, são ambientes marinhos rasos), e sua largura é variável (de dezenas de metros a centenas de quilômetros). Prolonga-se desde a linha de costa do mar até o domínio da chamada planície abissal, onde atinge profundidades em torno de 3.000 metros. A transição para esse ambiente pode ser por meio de uma rampa longa e pouco inclinada ou de um talude continental. Este separa o ambiente continental do oceânico, e se caracteriza por uma quebra abrupta no relevo, com alta inclinação, o que ocasiona a predominância de processos de fluxos gravitacionais (deslizamentos, avalanches e desmoronamentos).

Já as plataformas carbonáticas são aquelas desenvolvidas em linhas de costa onde a contribuição de foz de rios é ausente ou limitada, diminuindo o aporte de sedimentos terrígenos (leia-se, oriundos da terra firme). Isso favorece os processos de precipitação e captura biológica dos carbonatos, saís nos quais as águas do mar são saturadas, e que são responsáveis por grande parte da sua alcalinidade. Esses processos produzem os sedimentos carbonáticos, que serão depositados e/ou retrabalhados nos prolongamentos da plataforma.

Ocorrem diferentes ambientes de acumulação de sedimentos nessas plataformas, onde as condições de energia e circulação, profundidade e temperatura, e da composição e equilíbrio químico do meio, além da influência de atividades biológicas, vão definir os tipos e características dos depósitos formados. A Figura 3 apresenta a subdivisão geral e simplificada de uma plataforma carbonática marinha, que inclui as zonas de:

- I. Perimará, sob influência da oscilação das marés, sendo comuns periódicas exposições do ambiente ao ar livre;
- II. Ambiente marinho raso agitado, influenciado pela ação das ondas, marés e tempestades;
- III. Ambiente marinho restrito e calmo, definido pelos domínios de baixa energia;
- IV. Ambiente de águas profundas, onde a circulação de água é calma e reduzida.

Em cada desses subambientes, assembleias de grãos (ou sedimentos) carbonáticos específicos são encontrados. Esses grãos podem ser representados por:

- Carapaças e fragmentos de esqueletos;
- Excrementos fecais mineralizados por carbonatos – (chamados de *pellets*);
- Lamas (micritas) produzidas por organismos vivos;
- Ooides e Pisólitos, grãos com envelopes esféricos a subesféricos, de origem inorgânica;
- Oncólitos, grãos com envelopes irregulares subesféricos, de origem orgânica;
- Intraclastos (fragmentos desagregados de depósitos carbonáticos);
- Bioconstruções, como recifes, corais, estromatólitos e esteiras microbianas;
- Peloides, grãos subesféricos constituídos por micritas (grãos micrométricos de carbonatos).

Além da composição e origem de cada tipo de grão, a disposição de sua ocorrência e a associação com os demais depósitos indicam as condições energéticas e geográficas de seu ambiente de formação.

No presente, as plataformas carbonáticas são pouco expressivas em quantidade e extensão. Porém, o registro geológico apresenta depósitos de extensas plataformas de tempos passados, desenvolvidas em mares que dominavam sobre grandes áreas continentais (TUCKER, 1992).

Esses depósitos de rochas carbonáticas são utilizados, em termos econômicos, principalmente na indústria química (exemplo: cimento e insumos agrícolas), além de serem potenciais reservatórios de água, petróleo e gás, ou ainda hospedeiros de minérios de zinco e chumbo.

3. A BACIA BAMBUÍ

Em geologia, conjuntos de rochas são agrupados em unidades estratigráficas conforme o contexto ambiental e o tempo de sua origem, além de suas características físicas, de uma maneira geral. Pacotes homogêneos de gênese correlata são agrupados em formações, que, por sua vez, são associadas em grupos. As formações, no que lhes concerne, podem ser subdivididas em membros.

O nome dessas unidades estratigráficas é definido de acordo com um termo geográfico da sua *localidade tipo*, onde a descrição de suas características distintivas foi realizada.

O Grupo Bambuí (BRAUN, 1968; RIMANN, 1917), que é a unidade estratigráfica composta por rochas carbonáticas e siliciclásticas que ocorrem na região cárstica de Pains, teve seu nome atribuído pelo geólogo *Eberhard Rimann* (1917), quando este realizava levantamentos geológicos na região da cidade de Bambuí (MG). Contudo, esse grupo de rochas é reconhecido em vários outros locais do estado de Minas Gerais e, também, dos estados de Goiás e Bahia (BRAUN, 1993; DARDENNE, 1978). Essa distribuição é coincidente com os prolongamentos do paleocontinente onde ocorreu sua deposição, o Cráton São Francisco (ALMEIDA, 1977).

Um conceito-chave no estudo de geologia é o Tempo Geológico. Ele trata da dimensão do tempo decorrido desde a origem do planeta Terra até os dias atuais. É consensual que a Terra tenha mais de 4,5 bilhões de anos, que são subdivididos em intervalos de tempo, chamados *unidades cronoestratigráficas*. A maior unidade de subdivisão do tempo geológico é o *Éon*, sendo os quatro reconhecidos para a Terra representados escalarmente na figura abaixo.

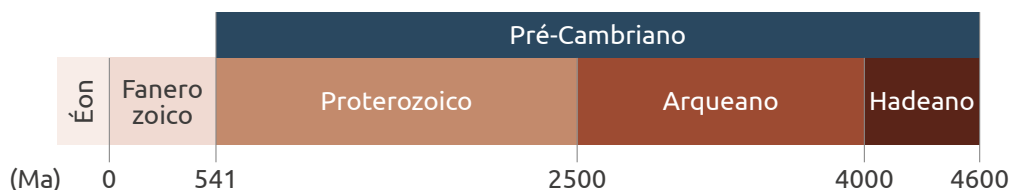


Figura 4 – Subdivisão em éons do tempo geológico, sendo eles, em ordem cronológica, o Hadeano (4,6 a 4,0 Ba), o Arqueano (4,0 a 2,5 Ba), o Proterozoico (2,5 a 0,541 Ba) e o Fanerozoico (541 Ma ao presente). Note que os éons Hadeano, Arqueano e Proterozoico são agrupados sob o nome de Pré-Cambriano. Adaptado do site Palaios.

Quando falamos em Cráton, nos referimos a uma porção de crosta terrestre espessa, composta principalmente por rochas continentais antigas, que estão estáveis (leia-se, sem sofrer deformações significativas)

por pelo menos 200 milhões de anos. São comumente cobertos por rochas mais jovens, e constituem o embasamento cristalino das mesmas.

O Cráton São Francisco é, então, parte de um paleocontinente, estável desde 1,8 bilhão de anos, e que, atualmente, compõe parte do interior da Placa Tectônica Sul-Americana. As rochas que o compõem foram formadas no Arqueano e no início do Proterozoico (REIS; ALKMIM, 2015).

A plataforma desse paleocontinente foi palco de uma extensa bacia marinha, a Bacia Sedimentar do Bambuí, já no contexto temporal do fim do Proterozoico e do início do Fanerozoico. Para melhor compreendermos esse tempo, vamos introduzir a segunda e a terceira subdivisão do Tempo Geológico, sendo elas as Eras e os Períodos, desse contexto (Figura 5).

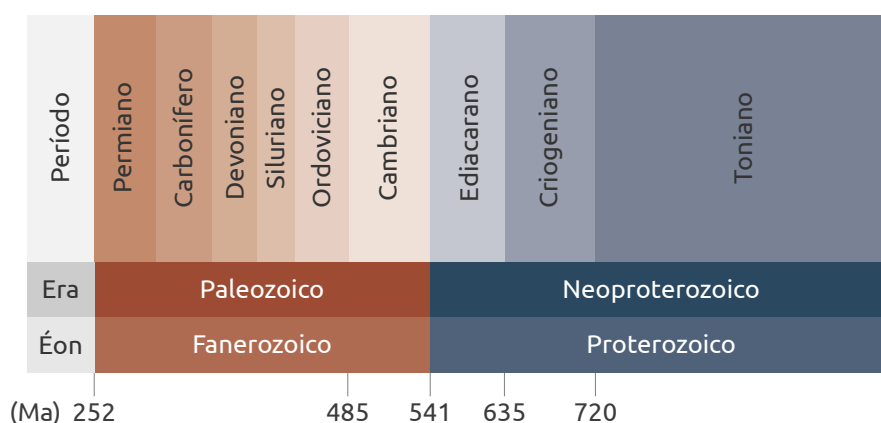


Figura 5 – Zoom no limite entre os éons Proterozoico e Fanerozoico. Note que esse limite coincide com os das eras Neoproterozoica (1,0 a 0,541 Ba) e Paleozoica (541 a 252 Ma), e com os dos períodos Ediacarano (635 a 541 Ma) e Cambriano (541 a 485 Ma). Repare também que o Ediacarano é precedido pelo Período Criogeniano (720 a 635 Ma). Adaptado do site Palaios.

A Bacia do Bambuí remonta à existência de um extenso mar sobre a plataforma do paleocontinente São Francisco, que configurava uma península do Cráton São Francisco-Congo no limite entre as eras Neoproterozoica (Período Ediacarano) e Paleozoica (Período Cambriano) (ALKMIM; REIS, 2020). Esse cenário foi fortemente condicionado pelo contexto tectônico da época.

A Tectônica é a área da Geologia que estuda os processos dinâmicos do movimento das placas tectônicas (divisões da litosfera, camada rochosa e rígida da Terra) sobre a astenosfera (parte do manto superior). Em nível global, essa movimentação pode ocasionar a formação de oceanos e de continentes, relacionados à conformação de áreas soerguidas e de cadeias de montanhas (orógenos) e de regiões rebaixadas (subsidência) na superfície terrestre.

No Neoproterozoico, o paleocontinente São Francisco-Congo experimentava um longo regime de convergência (Orogênese Brasileira-Pan-Africana) com outros paleocontinentes da época – sendo os principais os: Amazônico, São Luís-África Oeste, Paranapanema-Rio de La Plata e Kalahari – o que culminou na reunião do supercontinente Gondwana Ocidental (Figura 6) entre 630 e 520 Ma (ALKMIM; REIS, 2020).

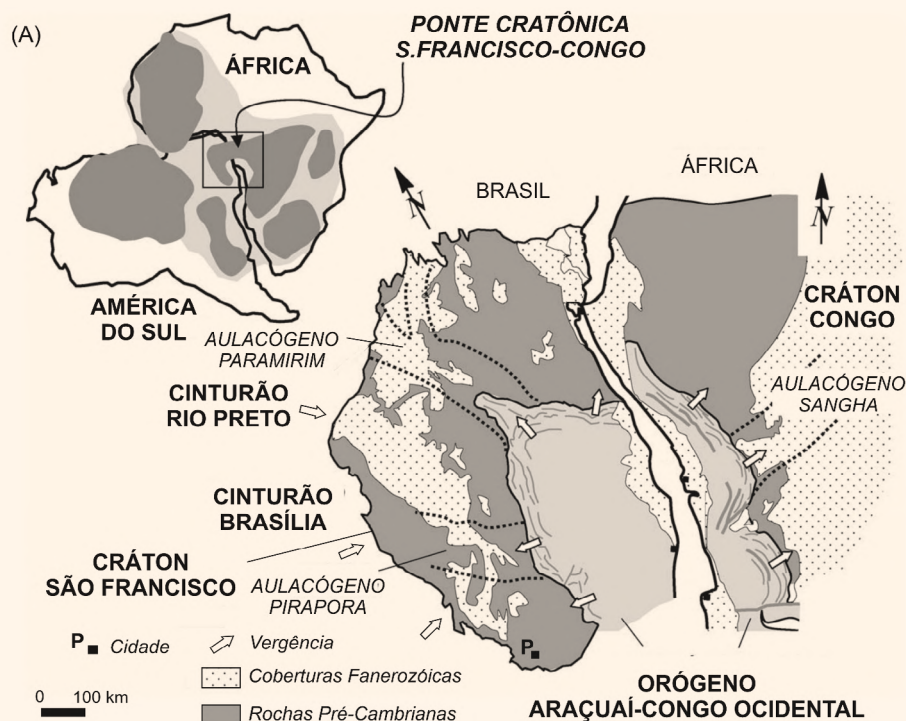


Figura 6 – Disposição esquemática dos crátons (os Amazônico e Paranapanema são observados a oeste e sul do São Francisco) na configuração do supercontinente Gondwana Ocidental, com destaque no Cráton São Francisco. No enfoque é indicada a localização da cidade de Pains (P), ao extremo sudoeste do Cráton. As exposições das rochas do embasamento cristalino e do Grupo Bambuí são indicadas em cinza no grupo Rochas Pré-Cambrianas, sendo as porções pontilhadas correspondentes a rochas mais jovens. As setas indicam as direções dos esforços convergentes em relação ao Cráton São Francisco. Adaptado de Alkmim *et al.*, 2006.

A evolução da Bacia do Bambuí respondeu principalmente à colisão ocasionada pela convergência dos crátons Amazônico e Paranapanema com o São Francisco, que progressivamente soergueu uma cadeia de montanhas (orogênese), denominada Cinturão Brasília (630 – 540 Ma), pela sobreposição, dobramento, falhamento e transporte de rochas em direção à paleoplaca tectônica São Francisco-Congo (ALKMIM; REIS, 2020). Esse processo provocou o espessamento e a sobrecarga da crosta terrestre, que foi compensada pela subsidência das regiões interiores do Cráton São Francisco, configurando uma região de depressão topográfica em relação às áreas circunvizinhas – classificada, em tectônica, como bacia do tipo antepaís (Figura 7) – onde ocorreu a deposição dos sedimentos do Grupo Bambuí (REIS; SUSS, 2016).

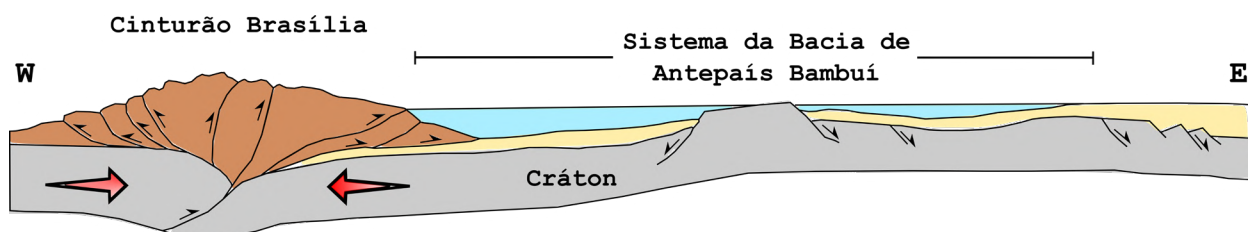


Figura 7 – Bloco esquemático do contexto tectônico da Bacia de Antepaís do Bambuí. As setas em vermelho indicam a direção de deslocamento das placas. Adaptado de DeCelles e Giles (1996) e de Rossi *et al.* (2020).

Ao término do processo de aglutinação do supercontinente Gondwana Ocidental, o Cráton São Francisco – Congo se encontrava contornado por diversos cinturões de montanhas soerguidos durante a Orogênese Brasileira-Pan-Africana (ALMEIDA, 1977 apud REIS *et al.*, 2017), ocasionando a restrição até o fechamento da bacia marinha do Bambuí.

Os atuais limites do Cráton São Francisco, já dentro do contexto da Placa Tectônica Sul-Americana, correspondem aos cinturões: Araçuaí, a leste e sudeste; Brasília, a oeste; Rio Preto, a noroeste; Riacho do Pontal, a norte; e Sergipana, a nordeste (ALKMIM; MARTINS-NETO, 2012). A sul, seus limites são condizentes com a exposição do embasamento cristalino do Cráton, e a nordeste coincide com a costa do Oceano Atlântico (REIS *et al.*, 2017).

O Grupo Bambuí constitui, atualmente, uma das exposições de rochas sedimentares mais expressivas reconhecidas sobre o Cráton São Francisco, ocorrendo, ainda, em camadas de rochas dobradas e falhadas dos cinturões brasileiros Brasília e Araçuaí (REIS *et al.*, 2017).

3.1 O GRUPO BAMBUÍ

A sucessão de rochas sedimentares empilhadas que compõe o Grupo Bambuí (Figura 8) é subdividida em formações, que registram, de uma maneira simplificada, as variações da influência de processos e ambientes geológicos nos padrões de deposição sedimentar.

As formações do Bambuí com maior representatividade e extensão areal nos prolongamentos de sua Bacia (Figura 9) são abaixo apresentadas de maneira sucinta, conforme as descrições de Dardenne (1981) e do Projeto RadamBrasil (1982):

Formação Sete Lagoas: espessa sequência de calcários e dolomitos, com margas e siltitos subordinados, de ambiente marinho raso a litorâneo;

Formação Serra de Santa Helena: sequência predominantemente pelítica, de siltitos, argilitos, ardósias e folhelhos de cores esverdeadas, com intercalações de calcários cinzas e arenitos subordinadas, marcando a deposição em ambientes marinhos calmos sob a influência de ondas;

Formação Lagoa do Jacaré: sequência de calcários pretos a cinzas, com oólitos, intraclastos e pisólitos, intercalados com siltitos e margas, de ambiente marinho raso a litorâneo agitado;

Formação Serra da Saudade: sequência de folhelhos, argilitos, siltitos arcoseanos e ardósias esverdeadas, com raras intercalações de arenitos e calcários escuros, de ambiente marinho profundo e calmo, com eventual influência de tempestades;

Formação Três Marias: sequência de siltitos, arenitos e arcóseos cinza-esverdeados, com lentes de margas e calcários subordinadas, de ambiente marinho raso agitado influenciado por deltas fluviais (foz de rios).

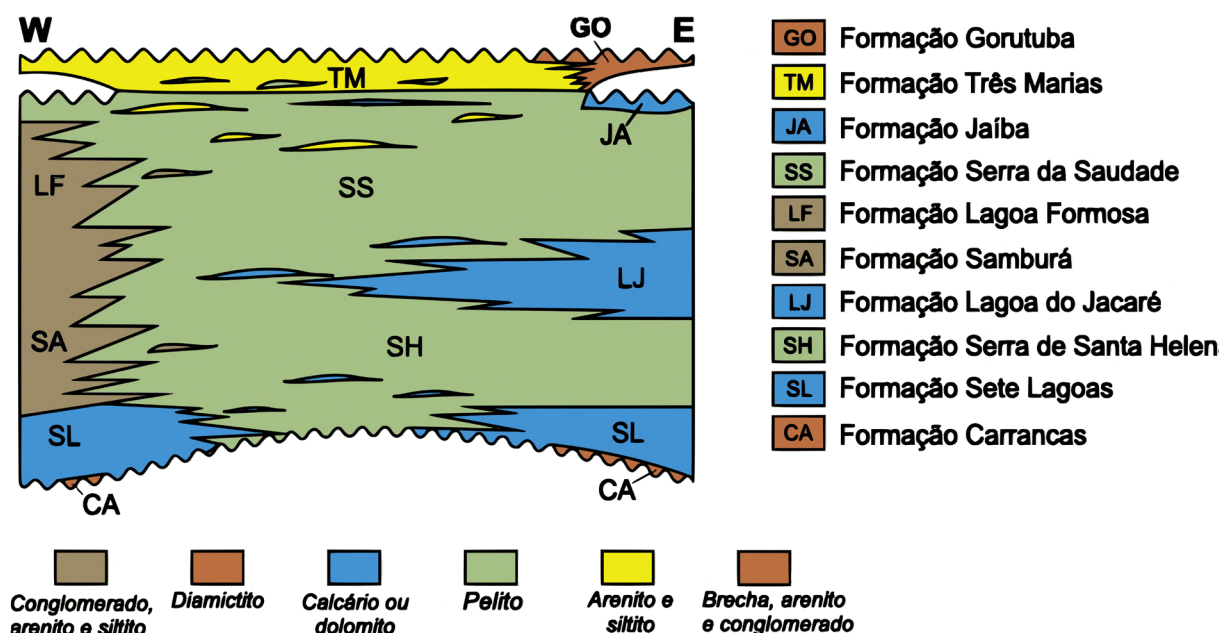


Figura 8 – Carta estratigráfica mostrando a disposição vertical e lateral das formações de rochas do Grupo Bambuí sobre o Cráton São Francisco, em uma seção de oeste (W) para leste (E). CA – Carrancas; SL – Sete Lagoas; SH – Serra de Santa Helena; LJ – Lagoa do Jacaré; SA – Samburá; LF – Lagoa Formosa; SS – Serra da Saudade; JA – Jaíba; TM – Três Marias e GO – Gorutuba. As cores de cada pacote são indicativas de seus tipos de rochas predominantes. Adaptado de Kuchenbecker *et al.* (2016a).

São reconhecidas ainda, em exposições locais e mais restritas, as formações:

Carrancas: pacotes de arenitos, conglomerados, pelitos, siltitos e folhelhos, com dolomitos subordinados, de ambiente fluvial (de rios), recorrentes na região sul da Bacia, que antecedem a sedimentação química do Sete Lagoas (UHLEIN *et al.*, 2016);

Samburá (nome herdado do vale do Rio Samburá, no município de Bambuí): pacotes de arenitos arcoseanos, conglomerados, siltitos e pelitos, depositados em leques aluviais (depósitos de sopé de áreas montanhosas) costeiros, relacionados ao soerguimento da cadeia de montanhas, recorrentes a sudoeste da Bacia, que gradam lateralmente para as sequências das formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena (CASTRO; DARDENNE, 2000; RIBEIRO *et al.*, 2008; UHLEIN *et al.*, 2017);

Lagoa Formosa: pacotes de conglomerados, siltitos e arenitos, com calcários e formações ferríferas bandadas subordinadas, depositados em leques submarinos, ocorrentes no centro-oeste da Bacia, que gradam lateralmente para a sequência da Formação Serra da Saudade (UHLEIN *et al.*, 2017);

Jaíba: pacotes de calcários estromatolíticos, de ambiente litorâneo, expostos na região centro-leste da Bacia, que sucedem a sedimentação siliciclástica da Serra da Saudade (CAXITO *et al.*, 2016; CHIA-VEGATTO *et al.*, 2003);

Gorutuba: pacotes de brechas, conglomerados e arcóseos, de ambiente fluvial e costeiro, expostos na região centro-leste da Bacia, que sucedem a sedimentação da Serra da Saudade e Jaíba (KUCHENBECKER *et al.*, 2016a).

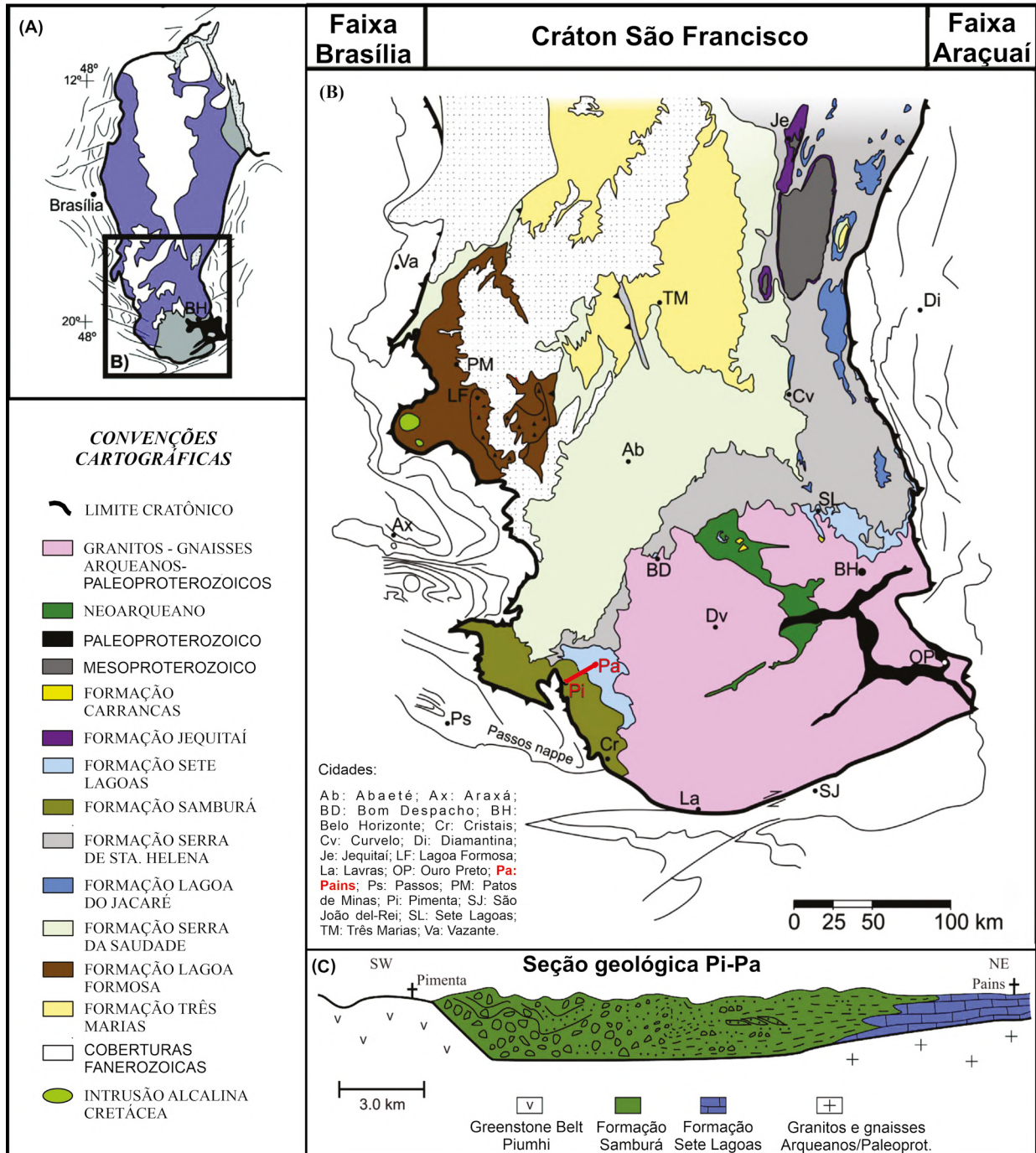


Figura 9 – (A) Disposição atual do Cráton São Francisco, com enfoque na sua porção sul. A distribuição das rochas do Grupo Bambuí é indicada em azul; (B) Mapa litoestratigráfico da porção sul do Cráton do São Francisco. São distinguidas diferentes unidades crono- e litoestratigráficas, com enfoque nas subdivisões do Grupo Bambuí. Ainda, é indicada a localização de algumas cidades; (C) Seção geológica entre as cidades de Pimenta (Pi) e Pains (Pa) (sudoeste-nordeste), destacadas em vermelho no mapa apresentado em (B). Destacam-se nela as formações Samburá (verde musgo), mais deformada em direção a sudoeste, e Sete Lagoas (azul). Figuras adaptadas de Uhlein *et al.* (2017).

A alternância entre a deposição de sedimentos em ambientes calmos de mar raso a profundo com a sedimentação em plataformas marinhas a costeiras, rasas e agitadas, registrada pelo Grupo Bambuí, caracteriza as oscilações eustáticas de seu tempo.

A eustasia é a flutuação global dos níveis dos oceanos e mares em função das mudanças ambientais que causam processos de aquecimento (interglaciais) e resfriamento (glaciais) do clima. Elas podem ter caráter regional ou global. A subida relativa do nível do mar é denominada transgressão marinha, com a submersão de áreas antes expostas. A descida relativa do nível do mar é denominada regressão marinha, com a exposição de áreas antes inundadas.

Ao longo da existência da Bacia Bambuí, além da influência das atividades tectônicas de seu tempo, importantes flutuações eustáticas ocasionaram o estabelecimento de ciclos transgressivo-regressivos regionais (DARDENNE, 1981; RADAMBRASIL, 1982).

Aqui nos interessam as rochas depositadas, principalmente pelo primeiro e segundo ciclo transgressivo-regressivo regional do Bambuí, contempladas pelas rochas das formações Carrancas, Sete Lagoas, Samburá e Serra da Saudade. Abaixo especificaremos detalhes a elas relativos e aos seus respectivos pacotes de rochas.

3.1.1 O contexto climático-ambiental da Bacia Bambuí e o registro da Formação Sete Lagoas

Atualmente, é consensual que a deposição do Grupo Bambuí tenha ocorrido no Período Ediacarano (REIS *et al.*, 2017), podendo ter sua fase final perdurada até o Período Cambriano (PEDROSA-SOARES *et al.*, 2015; UHLEIN *et al.*, 2017). Atrelado à evolução da Bacia Bambuí, o mundo passava por um período de severas mudanças climáticas e ambientais no fim da Era Neoproterozoica, que remontam à transição entre os períodos Criogeniano, Ediacarano e Cambriano.

Pelo registro geológico do Período Criogeniano (*Kryos*, do grego, frio) (720 a 635 Ma), sabe-se que ao menos dois pulsos de glaciação mundiais, reconhecidas inclusive nas, então, regiões tropicais (SHIELDS-ZHOU *et al.*, 2016), ocorreram. Apesar do real panorama desse contexto ainda ser discutido, a hipótese de cenário mais severo conhecida como *Terra Bola de Neve*. O registro imediatamente sobreposto corresponde, contudo, a sucessões carbonáticas típicas de ambientes tropicais, sugerindo a alternância do cenário da glaciação global com eventos de superaquecimento global.

O Período Ediacarano é marcado pela progressiva saída do planeta desse cenário de glaciações generalizadas e pelo aparecimento de fósseis diversificados, desde os eucariontes aos esqueletais (XIAO *et al.*, 2016), condizendo com o fim do Éon Proterozoico. O início do Éon Fanerozoico, no qual vivemos até hoje, é definido pelo Período Cambriano, que corresponde à explosão de vida na Terra e coincide com o aparecimento da maioria dos grupos de animais ainda existentes.

As rochas da Formação Carrancas, que iniciam o registro do Grupo Bambuí, são comumente correlacionadas a depósitos glaciogênicos (REIS; SUSS, 2016; VIEIRA *et al.*, 2007), ou a depósitos interglaciais (UHLEIN *et al.*, 2016), sendo sucedidas pela sequência basal da Formação Sete Lagoas, o Membro Pedro Leopoldo (SCHÖLL, 1976). Nesse Membro, que é basicamente composto por margas e calcários impuros, são reconhecidos, localmente, dolomitos róseos a beges e calcários finos impuros a margas esverdeadas, que se associam a estruturas de leques de cristais de aragonita (Figura 11.A), fosfatos

e apatitas (OKUBO *et al.*, 2018; VIEIRA *et al.*, 2007). As feições e sucessão sedimentar acima descritas são típicas de sequências carbonáticas pós-glaciais.

O Membro Lagoa Santa do Sete Lagoas é tipicamente composto por calcários mais puros, associados a siltitos (SCHÖLL, 1976), e corresponde ao segundo ciclo transgressivo-regressivo do Bambuí. Registra o estabelecimento de condições plataformais marinhas, registrado em sucessões de margas que gradam para rochas francamente carbonáticas de ambientes agitados (Figura 11.B, C). Ao topo dessa sucessão, é comum a recorrência de feições de dissolução, gretas de contração e de *tepees*, ou de uma superfície de descontinuidade (Figura 12.C), que marcam a exposição dos depósitos marinhos dessa plataforma ao ar livre (ALVARENGA *et al.*, 2014; MISI *et al.*, 2011). Predominam, acima desse nível, dolomitos, ricos em matéria orgânica, associados a evaporitos, e com forte presença de estromatólitos (Figura 12.A, B) (DARDENNE, 2000; NOBRE LOPES, 1995; PAULA SANTOS *et al.*, 2017).

Estromatólitos (Figura 10) são estruturas semelhantes a recifes, geradas por colônias de cianobactérias no leito de ambientes aquáticos rasos. Seus registros nas rochas remontam ao início da vida na Terra.



Figura 10 – Esboço da aparência de estromatólitos no registro rochoso. Se formam pelo agrupamento em tapetes calcificados (precipitação ou incrustação) e se acumulam em direção à luz, formando colunas.

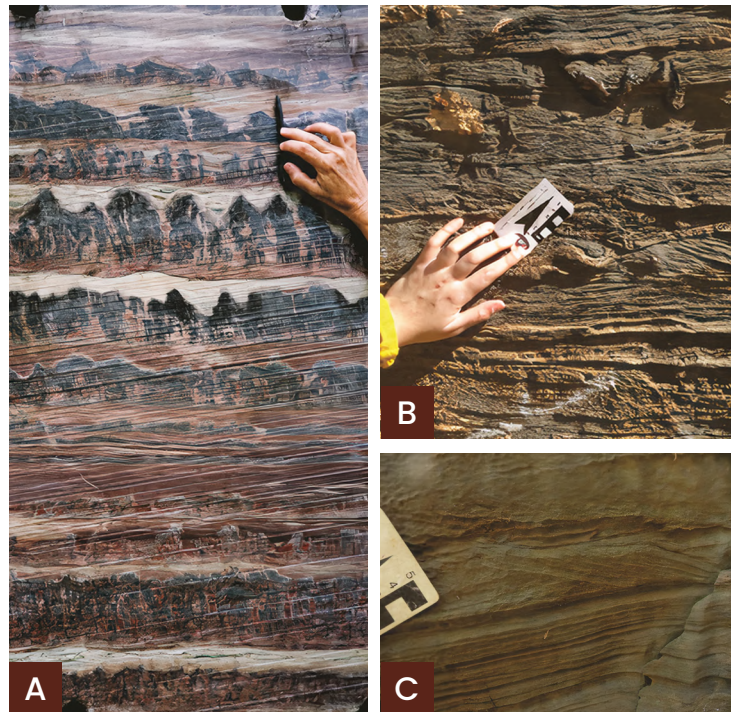


Figura 11 – (A) Leques de cristais de pseudomorfos (imitam a forma) de aragonita (polimorfo da calcita, ou seja, mesma composição química, estrutura cristalina de organização interna diferente), na Pedreira Sambra, em Inhaúma, Minas Gerais; Foto: Lucieth Vieira. (B) Calcários com estratificações onduladas e cruzadas, além de intraclastos, indicando a deposição em ambientes influenciados por ondas, na Pedreira da Divisa, em Pains; (C) Calcários com estratificações plano paralelas e cruzadas, indicando a deposição em ambientes agitados sob influência de tempestades, próximo ao Sumidouro do Sócrates, em Pains.

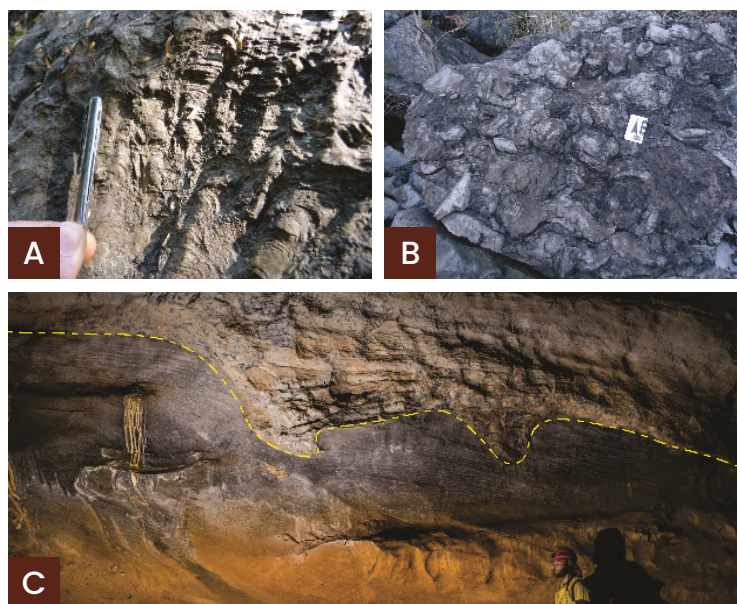


Figura 12 – (A) Calcário com estromatólitos em corte lateral, mostrando a estrutura de suas colunas, na sucessão de base dos calcários da região de Pains; (B) Vista em planta de cabeças de estromatólitos, com formatos arredondados, na sucessão de topo dos calcários da região de Pains; (C) Sucessão de calcários estratificados (na base) sobrepostos por depósitos de exposição dos calcários ao ar livre por meio de descontinuidade, na Gruta do Brega, em Pains. Foto: Gabriel Lourenço.

Essa plataforma é afogada, ocasionando a deposição dos sedimentos finos (pelíticos) de ambiente calmo da Serra de Santa Helena, sob rara influência de ondas e de tempestades (IGLESIAS; UHLEIN, 2009; LIMA *et al.*, 2007).

Lateralmente à sedimentação marinha das formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena eram depositadas as rochas siliciclásticas da Formação Samburá, junto aos sopés das montanhas soerguidas pelo cinturão Brasília (CASTRO; DARDENNE, 2000).

As características da sucessão dessas rochas registram a evolução ambiental de um cenário marinho, sob condições iniciais influenciadas por climas glaciais que transmutaram a quente nessa região da Bacia, com a proliferação das formas de vida da época associadas. Configura, assim, um importante registro geológico que é alvo de estudos pela comunidade geocientífica no intuito de melhor compreender a complexa transição ambiental que ocorreu entre o fim da Era Neoproterozoica e o início do Período Cambriano.

4. A GEOLOGIA DA REGIÃO CÁRSTICA DE PAINS

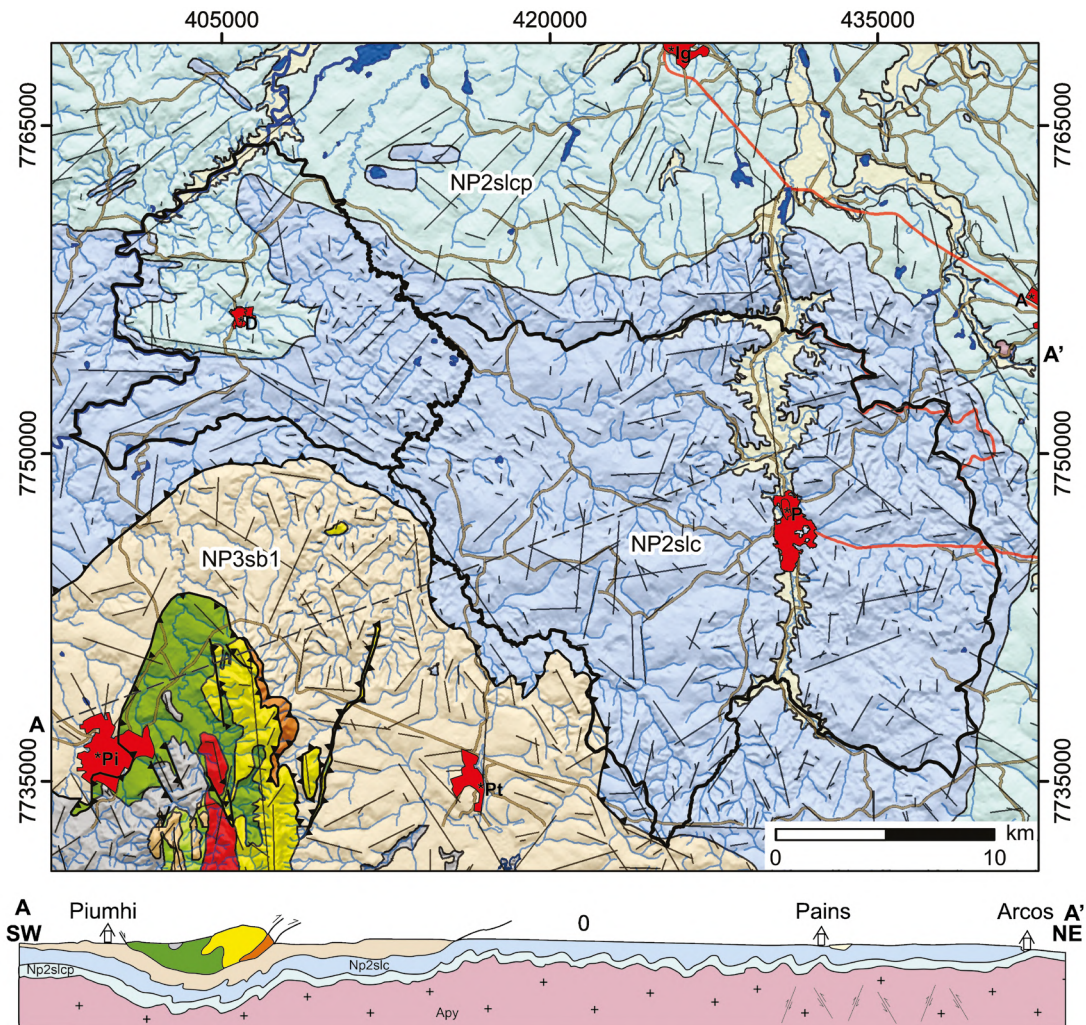
A região cárstica de Pains se localiza no atual extremo sudoeste do Cráton São Francisco, entre a zona de rochas intensamente deformadas do Cinturão Brasília, a oeste e sul, e as exposições do embasamento do Cráton, a leste.

Na região afloram rochas representativas do Grupo Bambuí pertencentes apenas às formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena e Samburá (Figura 13).

Os esforços e as movimentações de rochas consequentes da Orogênese Brasileira (Pan-Africana) resultaram em processos de deformação (alterações na forma e volume das rochas) sobre as rochas da região, que nelas são registradas na forma de uma série de estruturas. Elas são caracterizadas por suas geometrias, tamanhos e orientações. Podemos generalizar essas estruturas em dobras (Figura 14.B, D), em que as camadas de rochas são curvadas e enrugadas, e falhas (Figura 14.A, C), em que as rochas são fraturadas em dois blocos e há deslocamento relativo entre eles.

O grau de deformação dessas rochas, consequente da intensidade e duração das forças que foram impostas, é diretamente associado à proximidade da região do Cinturão Brasília. A maior alteração do arcabouço original das rochas, com a ocorrência de sistemas de falhas e dobramentos, é comum a oeste, nas regiões mais deformadas e próximas ao Cinturão, que grada para dobramentos suaves, a região pouco deformada, a leste (MUZZI-MAGALHÃES, 1989).

Os alinhamentos de feições do relevo observados numa região são chamados de lineamentos e respondem à influência do conjunto de estruturas deformacionais presentes no substrato rochoso.



Legenda

Convenções

- Cidade
- Limite municipal
- Hidrografia
- Lagos e rios
- Estrada pavimentada
- Estrada não pavimentada

Estruturas

- Falha de empurrão
- Lineamentos

Litoestratigrafia

- N4a Depósitos fluviais
- Np3sb1 Formação Samburá
- Np3sh1 Formação Santo Hilário
- Np2seq Sequência Serra da Boa Esperança
- Ppturb Sequência turbidítica
- A3 Granito e ortogneisse
- A3ph Greenstone belt de Piumhi

- 1* { Np2slc Calcários
 Np2slp Calcipelitos laminados

Figura 13 – Mapa geológico da região cárstica de Pains, com a delimitação da hidrografia, das malhas urbanas, estradas e dos limites municipais de Dorsoópolis e Pains. As cores no mapa representam as diferentes unidades estratigráficas da área, enquanto os traços com triângulos e as linhas descontínuas representam os elementos estruturais da geologia local. Arqueano: A3ph – Greenstone belt de Piumhi (verde); A3 – Granito e ortogneisse (vermelho). Proterozoico: Ppturb – Sequência turbidítica (cinza); Np2seq – Sequência Serra da Boa Esperança (amarelo); Np3sh1 – Formação Santo Hilário (marrom); Np3sb1 – Formação Samburá (rosa); N4a – Depósitos fluviais (bege). (1*) Formação Sete Lagoas: Np2slc – Calcários (azul); Np2slp – Calcipelitos Laminados (azul-claro). Traço da Seção A-A' (sudoeste a nordeste), entre Piumhi e Arcos, mostra a disposição geral das rochas na região. Adaptado de Ribeiro *et al.* (2008).

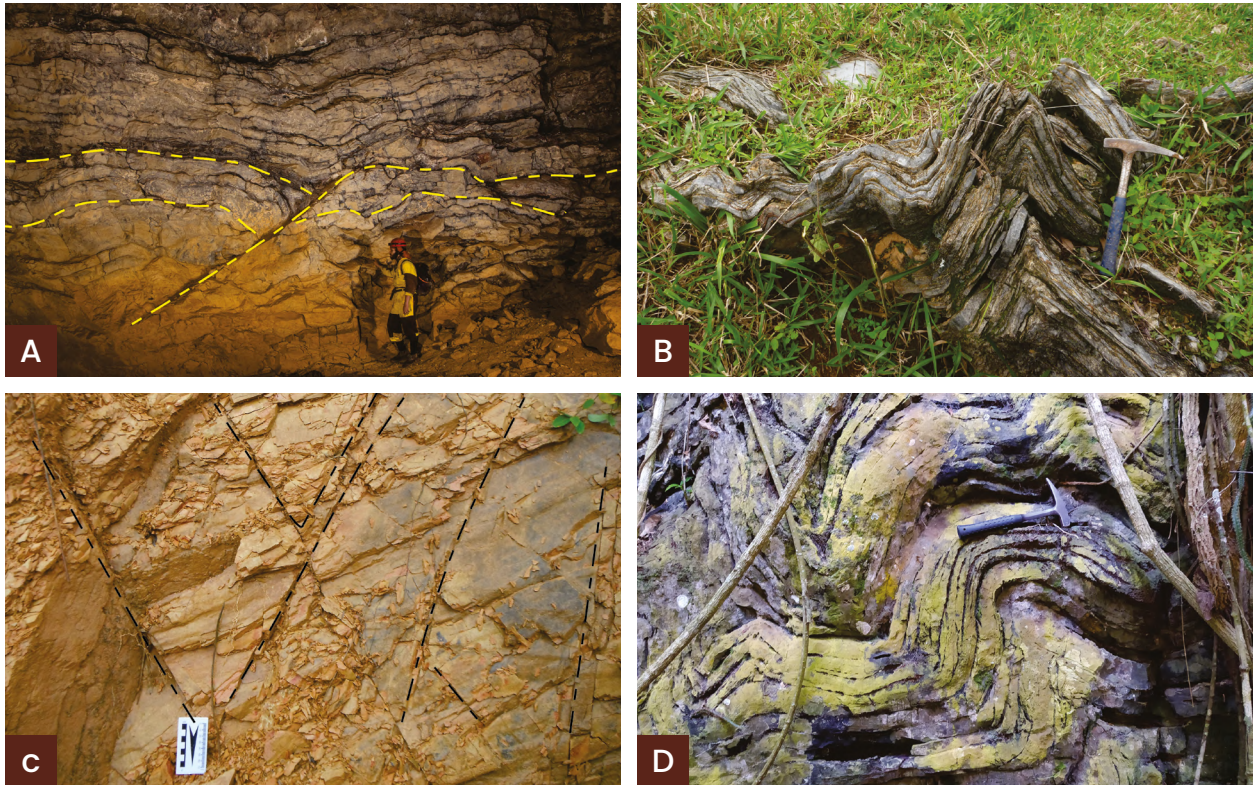


Figura 14 – (A) Delineação de falha, mostrando o deslocamento de estratos de rochas, no interior da Gruta do Zé Brenga, Pains; Foto: Gabriel Lourenço (B) Dobramentos apertados em calcários estratificados; (C) Sistema de fraturas em pelitos e (D) Dobramentos em calcários estratificados. As fotos B, C e D são da região cárstica de Pains e pertencem ao Arquivo do Proape (2012).

Ainda, a ocorrência de atividades neotectônicas afetou a região. Estas correspondem aos processos tectônicos recentes, ocorridos na Era Cenozoica (65 Ma – atual), última do Éon Fanerozoico, e se relacionam fortemente à evolução atual dos relevos.

Na região, elas foram apenas de baixa intensidade, e se relacionam a processos ocorridos dentro do contexto da Placa Sul-Americana (SAADI *et al.*, 1998). São comuns reacomodações locais e regionais fortemente condicionadas pelas estruturas já existentes, que delinearão a configuração de regiões soerguidas e rebaixadas, como:

- os baixos em Arcos e Doresópolis – condicionados pela reativação do lineamento Doresópolis-Pains, de direção aproximada NW – onde são expostas rochas mais jovens;
- e o alto da região de Arcos e Bom Despacho – condicionado pelo soerguimento na direção N-S do Cráton, expondo rochas do embasamento (SAADI *et al.*, 1998).

A geologia estrutural da região herda o complexo acervo de estruturas deformacionais desenvolvido nessas rochas, que inclui uma série de lineamentos de direções N-S, NE-SW, NW-SE, WNW-ESE e ENE-WSW (ALKMIM; MARTINS-NETO, 2001; MARTINS; RODRIGUES, 2016; SAADI *et al.*, 1998).

Em relação à estratigrafia da região, são encontradas rochas do Grupo Bambuí na seguinte sucessão:

- A Formação Carrancas ocorre apenas localmente e em testemunhos de sondagem (KUCHENBECKER *et al.*, 2016b; RIBEIRO *et al.*, 2008; SANTOS, 2012), definida por pelitos esverdeados associados a clastos subarredondados a angulosos de origens diversas;
- A Formação Sete Lagoas (KUCHENBECKER *et al.*, 2016b; MADALOSSO; VERONESE, 1978; MEYER, 2018; MUZZI-MAGALHÃES, 1989; NOBRE-LOPES, 1995; SANTOS, 2012) que:

Consiste em uma sucessão de pelitos e margas, rosados a esverdeados, a calcários finos, brancos a róseos e localmente dolomíticos, interpretados como depósitos de águas calmas a moderadamente profundas. Pseudomorfos cristais de aragonita foram, pontualmente, reconhecidos em testemunhos de sondagem na região. Essas rochas gradam para as intercalações de pelitos e margas, marcando a inundação do ambiente.

Na porção superior da unidade, a contribuição carbonática aumenta com a gradação de carbonatos finos de ambiente marinho distal e moderadamente profundos a médios de águas rasas e agitadas, onde são comuns feições de influência de ondas e tempestades. Associam-se recifes de estromatólitos, que alcançam ambientes litorâneos influenciados por marés, onde aumenta a presença de ooides e intraclastos, além do teor de matéria orgânica (leia-se, presença de vida). Relaciona-se à deposição em ambiente de mar aberto sob climas úmidos e quentes. Ao topo dessa sequência ocorre um evento de exposição subaérea, sendo frequentes feições de dissolução e de brechas, além de níveis de calcretes, de dolomitos com estromatólitos e ooides, e de sílex.

Essa última sucessão é popularmente conhecida na região de Pains como Pedra Lisa, visto que, em relação ao pacote de rochas imediatamente sobreposto, apresenta em superfície uma textura regular (lisa). Geralmente ocorrem na base de paredões e maciços de rocha e possuem colorações cinza-azuladas claras.

Em contato abrupto irregular, ocorrem depósitos relacionados à extensão desse evento de exposição subaérea. Predominam rochas dolomíticas de aspecto sacaroide e colorações róseas a arroxeadas escuras, além de brechas de colapso, pela dissolução e abertura de cavidades, brechas sedimentares e dolomitos estratificados, com cimentos de calcitas grosseira e sílica. A abrangência desse evento, no sentido de possuir caráter regional ou em nível de toda a Bacia Bambuí, ainda não é certa, mas representa o registro de um ambiente paleocárstico (Figura 15).

Paleocarstes são o registro geológico (rocha) que demonstra a existência passada de uma paisagem cárstica sobre as rochas de uma região, que foi posteriormente soterrada por outras coberturas sedimentares.

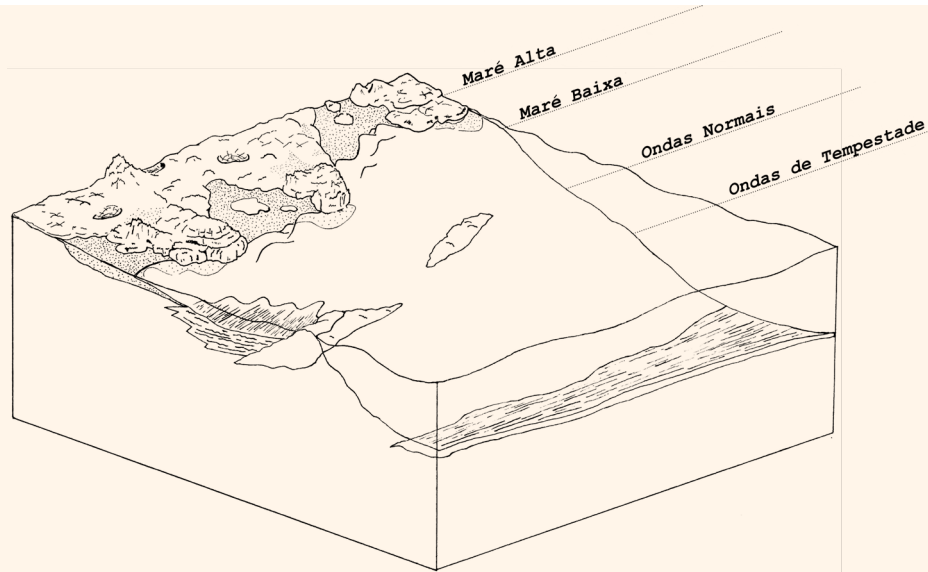


Figura 15 – Bloco esquemático do estabelecimento de um sistema cárstico pelo rebaixamento do nível do mar e exposição de rochas carbonáticas. Tal quadro possibilitou o estabelecimento de processos intempéricos (desagregação e decomposição das rochas na superfície terrestre pela ação da temperatura, ventos, águas, topografia, biosfera, entre outros) e erosivos (fragmentação e transporte de matérias rochosas na superfície terrestre), que culminam na carstificação das rochas.



Figura 16 – Contato entre a pedra lisa e cascuda no município de Pains. Detalhe para o martelo de escala na porção inferior da foto.

Como o pacote de rochas relacionado ao ambiente paleocárstico possui textura comumente irregular (rugosa a angulosa), é conhecido popularmente como Pedra Cascuda (Figura 16). Geralmente ocorrem do meio ao topo de paredões e maciços em pacotes descontínuos e possuem colorações escuras, comumente róseas a arroxeadas.

Acima, em contato regular, assentam dolomitos escuros, ricos em matéria orgânica, associados a uma significativa proliferação de estromatólitos, que formavam recifes em barreira. Na região de Pains, formam um pacote geralmente contínuo de até 1,2 metro de espessura e com textura suavemente irregular. Gradam para dolomitos cinzas de ambientes rasos, agitados a calmos, influenciados por ondas, tempestades e marés, com intraclastos e ooides. Feições, como gretas de contração e cristais de anidrita (sais), são frequentes nessa sucessão, que sugere períodos de exposição subaérea em função de pequenas flutuações do nível do mar, expondo e inundando a plataforma rasa, sob climas quentes a semiáridos, com altas taxas de evaporação. Registra ciclos regressivos sobre a plataforma após uma transgressão de menor amplitude, em ambiente marinho progressivamente mais restrito e com alta bioprodutividade.

Acima, predominam calcários a dolomitos, médios a finos, de planície de maré associada a laguna, que gradam para margas. Associam-se a uma maior ocorrência de oólitos, a estromatólitos de menores dimensões, cristais de evaporitos, gretas de contração e lentes de sílex, que sugerem um ambiente marinho raso com altas taxas de evaporação, sujeito a frequentes exposições subaéreas. Seus pacotes de rochas se exibem comumente plaqueados e dobrados.

- E a Formação Serra de Santa Helena, que ocorre acima das rochas carbonáticas, e encerra o conjunto de rochas do Grupo Bambuí na região. É representada por argilitos e siltitos, comumente amarelados, que marcam o afogamento da bacia (MUZZI-MAGALHÃES, 1989; PROAPE, 2012).

Complementando a sucessão de estratos de rochas sedimentares reconhecidas na região, são observados, com menor escala de ocorrência, depósitos recentes, cuja sedimentação decorreu no período Cenozoico, que sobrepõem em contato abrupto e irregular as rochas do Grupo Bambuí. São basicamente reconhecidos em (RIBEIRO *et al.*, 2008):

- Coluviões semiconsolidados, cuja deposição comumente se relaciona a vertentes e sopés de morros, apesar de poderem ser atualmente encontrados em altitudes variadas, devido à influência das atividades neotectônicas;
- Eluviões semiconsolidados, sendo materiais residuais de solos já lixiviados, que geralmente se relacionam a topos planos de morros;
- Aluviões inconsolidados, cuja deposição é relacionada à evolução dos leitos fluviais (cursos de água) regionais;
- E coluviões e depósitos de tálus inconsolidados, relacionados a movimentações recentes de solos e rochas em encostas.

5. CONCLUSÕES

O esboço geológico acima apresentado, em seus aspectos estratigráficos e estruturais, condiciona a formação das feições geomorfológicas, que se exibem nos padrões de relevo e drenagem (subaérea ou subterrânea), da região.

É digno de menção que a evolução do relevo não responde a somente os tipos litológicos e estruturais que compõem o substrato rochoso da região, mas também a história de flutuações do nível de base (de erosão e deposição) e climáticas regionais recentes, aliadas às suas relações temporais com a ocorrência dos eventos neotectônicos.

Em linhas gerais, apesar desse complexo arcabouço, a condição de exposição de rochas pelíticas ou calcárias condiciona o desenvolvimento de relevos fluviocársticos, ou de relevos tipicamente cársticos (MARTINS; RODRIGUES, 2016).

Em relação às fácies de rochas calcárias, os controles estratigráficos exercidos por elas podem ser resumizados nos seguintes apontamentos (PROAPE, 2012):

- O conjunto de rochas calcárias, regionalmente conhecido como *pedra lisa*, predomina junto à base dos maciços, e as cavidades nele desenvolvidas apresentam, de uma maneira geral, menores dimensões;
- O contato da *pedra lisa* com a *pedra cascuda* é um nível reconhecido pela recorrência de cavernas na região. Como os calcários dolomíticos que compõem os pacotes de rochas da *pedra cascuda* são menos solúveis à influência de águas doces (de rios, lagos e chuvas), é comum que suas exposições coincidam com o topo de maciços calcários. Contudo, a menor homogeneidade de seu conjunto rochoso repercute em alguma incidência de cavernas em seus níveis;
- À sucessão de calcários dolomíticos ricos em estromatólitos é comum a maior ocorrência de cavidades, as quais são tipicamente mais expressivas em dimensões;
- Os calcários e dolomitos de topo são progressivamente mais ricos em sedimentos siliciclásticos, com frequentes nódulos de sílex, ocasionando uma menor solubilidade e, consequentemente, menor ocorrência de cavernas.

Já a direção dos lineamentos estruturais, como caracterizam zonas de fraqueza e maior permeabilidade das rochas, facilita o desenvolvimento de processos de carstificação onde ocorrem (PROAPE, 2012). Logo, seu controle está relacionado ao maior ou menor grau de deformação das rochas e consequente maior concentração de estruturas e deformação nas rochas. As estruturas influenciam o padrão de desenvolvimento das drenagens de rios superficiais e subterrâneos, coincidindo com a direção de alinhamento de dolinas e cavernas (DIAS; VELÁSQUES, 2002; MARTINS; RODRIGUES, 2016). Destaca-se, nesse contexto, os relevos de direção N-S representados pela Serra de Pimenta (Piumhi) – feição residual da cadeia de montanhas originada pela orogenia brasileira – e pelo *Canyon* do Rio São Francisco, localizado na região em que as rochas se encontram mais deformadas. As generalidades desse cenário são melhor discutidas no capítulo sobre o *Relevo Cárstico* (4) deste livro.

Conforme acima exposto, o presente capítulo empenhou-se em contar parte da história da origem das rochas carbonáticas da região, que, junto aos demais aspectos que compõem o arcabouço geológico, assim como os ambientes, fenômenos e processos que atuam até hoje, suportam a geodiversidade regional. Essa geodiversidade influencia a ocorrência das cavernas e rios, dos tipos de biomas, assim como dos recursos minerais e potencialidades de usos de solo que ocorrem na região cárstica de Pains.

REFERÊNCIAS

ALKMIM, F. F.; MARTINS-NETO, M. A. A Bacia Intracratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos. *In*: PINTO, C.; MARTINS-NETO, M. (Ed.) **Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais**. Belo Horizonte: SBG (MG), 2001. p. 9-30.

ALKMIM, F. F.; MARTINS-NETO, M. A. Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco craton, eastern Brazil. **Marine and Petroleum Geology**, n. 33, v. 1, p. 127-139, 2012.

ALKMIM, F. F.; REIS, H. L. S. Brazil and the Guianas. *In*: **Earth Systems and Environmental Sciences**. Elsevier, 2020.

ALMEIDA, F. F. M. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, n. 7, v. 4, p. 349-364, 1977.

ALVARENGA, C. J. S. *et al.* Meso-neoproterozoic isotope stratigraphy on carbonates platforms in the Brasília Belt of Brazil. **Precambrian Research**, n. 251, p. 164-180, 2014.

BRAUN, O. P. G. Contribuição à estratigrafia do Grupo Bambuí. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 12, 1968, Belo Horizonte. **Proceedings [...]**. Belo Horizonte: SBG, 1968. p. 155-166.

BRAUN, O. P. G. Uma reavaliação do conhecimento geológico do Grupo Bambuí. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 7, 1993, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBG, 1993. p. 46-50.

CASTRO, P. T. A.; DARDENNE, M. A. The sedimentology stratigraphy and tectonic context of the São Francisco Supergroup at the southwestern domain of the São Francisco Craton, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, n. 30, v. 3, p. 439-441, 2000.

CAXITO, F. A. *et al.* Multiproxy geochemical and isotope stratigraphy records of a Neoproterozoic Oxygenation Event in the Ediacaran Sete Lagoas cap carbonate, Bambuí Group, Brazil. **Chemical Geology**, n. 481, p. 119-132, 2018.

CAXITO, F. A. *et al.* Marinoan glaciation in east Brazil. **Precambrian Research**, n. 200-203, p. 38-58, 2012.

CAXITO, F. A. *et al.* Estratigrafia isotópica de carbono e oxigênio da Formação Jaíba, Grupo Bambuí Superior, Ediacarano da Bacia do São Francisco. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 48, 2016, Porto Alegre. **Anais [...]**. Rio Grande do Sul: SBG, 2016. p. 979.

CHIAVEGATTO, J. R. S. *et al.* Estratigrafia do Grupo Bambuí nas regiões de Jaíba e Gorutuba, norte de Minas Gerais: uma nova unidade estratigráfica em um contexto de inversão de bacia. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, XII, 2003, Ouro Preto. **Anais [...]**. Minas Gerais: SBG, 2003. p. 24.

DARDENNE, M. A. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978, Recife. **Anais [...]**. Recife: SBG, 1978. p. 597-610.

DARDENNE, M. A. Os grupos Paranoá e Bambuí na Faixa de Dobramentos Brasília. *In*: SIMPÓSIO DO CRÁTON SÃO FRANCISCO E FAIXAS MARGINAIS, 1, 1981, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: SBG, 1981. p. 140-157.

DARDENNE, M. A. The Brasília fold belt. *In*: CORDANI, U. *et al.* (Ed.). **Tectonic evolution of South America**. Rio de Janeiro: 2000. p. 231-263.

DIAS, F. S.; VELÁSQUES, L. N. M. Hidrogeologia da Bacia do Rio São Miguel, municípios de Pains e Arcos – MG. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12, 2002, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: SBG, 2002. p. 1-20.

IGLESIAS, M.; UHLEIN, A. Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozoicas no vale do Rio São Francisco, norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, n. 39, v. 2, p. 256-266, 2009.

KUCHENBECKER, M. *et al.* A Formação Gorutuba: sedimentação litorânea a continental na margem leste da Bacia Bambuí (MG). **Revista do Instituto de Geociências – USP**, n. 16, v. 2, p. 67-81, 2016a.

KUCHENBECKER, M. *et al.* Chemostratigraphy of the lower Bambuí Group, southwestern São Francisco Craton, Brazil: insights on Gondwana paleoenvironments. **Brazilian Journal of Geology**, n. 46 (Suppl. 1), p. 145-162, 2016b.

LIMA, O. N. B.; UHLEIN, A.; BRITTO, W. Estratigrafia do Grupo Bambuí na Serra da Saudade e geologia do depósito fosfático de Cedro do Abaeté, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, n. 37, v. 4, p. 204-215, 2007.

MADALOSSO, A.; VERONESE, V. Considerações sobre a estratigrafia das rochas carbonatadas do Grupo Bambuí na região de Arcos, Pains e Lagoa da Prata (MG). *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978, Recife. **Anais [...]**. Recife: SBG, 1978. p. 635-648.

MARTINS, T. I. S.; RODRIGUES, S. C. Compartimentação geomorfológica da Folha Piumhi, região do Alto São Francisco, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, n. 17, v. 1, p. 145-162, 2016.

MEYER, B. O. **Petrologia e geocronologia das fácies carbonáticas da Formação Sete Lagoas em Pains (MG)**. 2018. 194 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

MISI, A. *et al.* Neoproterozoic successions of the São Francisco Craton, Brazil: the Bambuí, Una, Vazante and Vaza Barris/Miaba groups and their glaciogenic deposits. *In*: ARNAUD, E.; HALVERSON, G.; SHIELDS-ZHOU G. (Ed.) **The Geological Record of Neoproterozoic Glaciations**. Londres: Geological Society, 2011. p. 509-522.

MUZZI-MAGALHÃES, P. **Análise estrutural qualitativa das rochas do Grupo Bambuí na porção sudoeste da Bacia do São Francisco**. 1989. 100p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1989.

NOBRE-LOPES, J. **Faciologia e gênese dos carbonatos do Grupo Bambuí na região de Arcos, Estado de Minas Gerais**. 1995. 166p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

OKUBO, J. *et al.* Phosphogenesis, aragonite fan formation and seafloor environments following the Marinoan Glaciation. **Precambrian Research**, n. 311, p. 24-36, 2018.

PAULA-SANTOS, G. M. *et al.* New evidence of an Ediacaran age for the Bambuí Group in southern São Francisco craton (eastern Brazil) from zircon U-Pb data and isotope chemostratigraphy. **Gondwana Research**, n. 28, p. 702-720, 2015.

PAULA-SANTOS, G. M. *et al.* Tracking connection and restriction of West Gondwana São Francisco Basin through isotope chemostratigraphy. **Gondwana Research**, n. 42, p. 280-305, 2017b.

PEDROSA-SOARES, A. C. *et al.* **Síntese do mapeamento geológico sobre a Bacia Bambuí**. Belo Horizonte: Codemig-Fundep-UFMG, 2015. 18 p.

PROJETO ARCOS PAINS ESPELEOLOGIA – PROAPE. **Área Cárstica de Pains**. Ouro Preto: FEAM, 2012. 549 p.

RADAMBRASIL. Folhas SD 23, Brasília. *In*: Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). **Projeto RadamBrasil**. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: DNPM, 1982. p. 1-660.

REIS, H. L. S.; ALKMIM, F. F. Anatomy of a basin-controlled foreland fold-thrust belt curve: the Três Marias salient, São Francisco basin, Brazil. **Marine and Petroleum Geology**, n. 66, p. 711-731, 2015.

REIS, H. L. S.; SUSS J. Mixed carbonate-siliciclastic sedimentation in forebulge grabens: an example from the Ediacaran Bambuí Group, São Francisco Basin, Brazil. **Sedimentary Geology**, n. 339, p. 83-103, 2016.

REIS, H. L. S. *et al.* Ediacaran forebulge grabens of the southern São Francisco basin, SE Brazil: Craton interior dynamics during west Gondwana assembly. **Precambrian Research**, n. 302, p. 150-170, 2017.

RIBEIRO, A. *et al.* **Nota explicativa da Folha Piumhi (SF.23-V-B-II) 1:100.000**. Minas Gerais: UFRJ/CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 2008. 50p.

RIMANN, E. A Kimberlita no Brasil. **Anais da Escola de Minas**, 15. Ouro Preto: Escola de Minas, 1917. p. 27-32.

SAADI, A.; CARDOSO, G. G.; MORAIS, M. S. Neotectônica e carstificação na província cárstica de Arcos-Pains-Doresópolis/MG. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, 1998, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBG, 1998. p. 84.

SANTOS, T. C. **Quimioestratigrafia das rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas**: Grupo Bambuí – Arcos, MG. 2012. 145 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SCHÖLL, W. Sedimentologia e geoquímica do Grupo Bambuí na parte sudeste da Bacia do São Francisco. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29, 1976, Ouro Preto. **Anais [...]**. Ouro Preto: SBG, 1976. p. 207-231.

SHIELDS-ZHOU, G. A.; PORTER, S.; HALVERSON, G. A new rock-based definition for the Cryogenian Period (circa 720 – 635 Ma). **Episodes**, n. 39, v. 1, p. 3-8, 2016.

TUCKER, M. E. **Sedimentary petrology**. Blackwell Scientific Publications, 1992. 260 p.

UHLEIN, G. J. *et al.* The Carrancas Formation, Bambuí Group: a record of pre-Marinoan sedimentation on the southern São Francisco craton, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, n. 71, p. 1-16, 2016.

UHLEIN, G. J. *et al.* Early to late Ediacaran conglomeratic wedges from a complete foreland basin cycle in the southwest São Francisco Craton, Bambuí Group, Brazil. **Precambrian Research**, n. 299, p. 101-116, 2017.

VIEIRA, L. C. *et al.* Identification of a Sturtian cap carbonate in the neoproterozoic Sete Lagoas carbonate platform, Bambuí Group, Brazil. **Geoscience**, n. 339, p. 240-258, 2007.

WARREN, L. V. *et al.* The puzzle assembled: Ediacaran guide fóssil *Cloudina* reveals and old proto-Gondwana seaway. **Geology**, n. 42, v. 5, p. 391-394, 2014.

XIAO, S. *et al.* Towards an Ediacaran Time Scale: problems, protocols and prospects. **Episodes**, n. 39, v. 4, p. 540-555, 2016.



Cânion do Rio São Francisco na região de Pains. Foto Allan Calux.

CAPÍTULO 2

**ÁGUAS SUPERFICIAIS
E SUBTERRÂNEAS DA
REGIÃO CÁRSTICA DE
PAINS, COM ÊNFASE
NA BACIA DO RIO
SÃO MIGUEL**

THIAGO LUCON
PAULO GALVÃO

ADIVANE TEREZINHA COSTA

1. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO CÁRSTICA DE PAINS

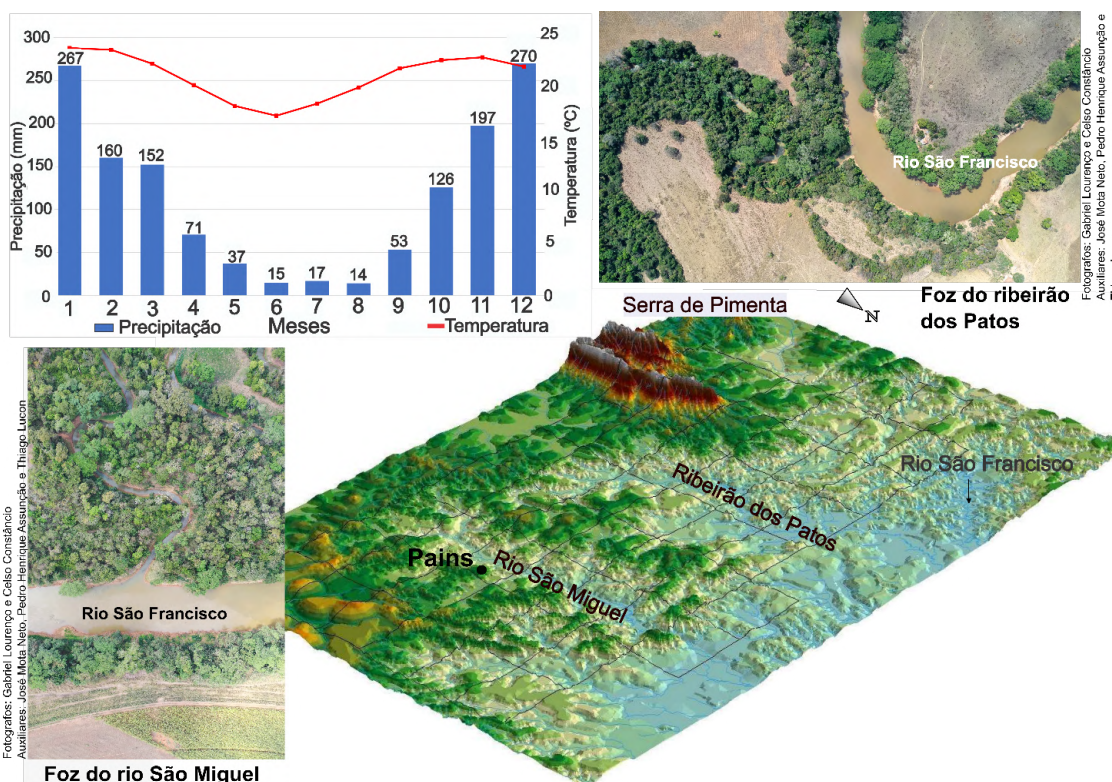
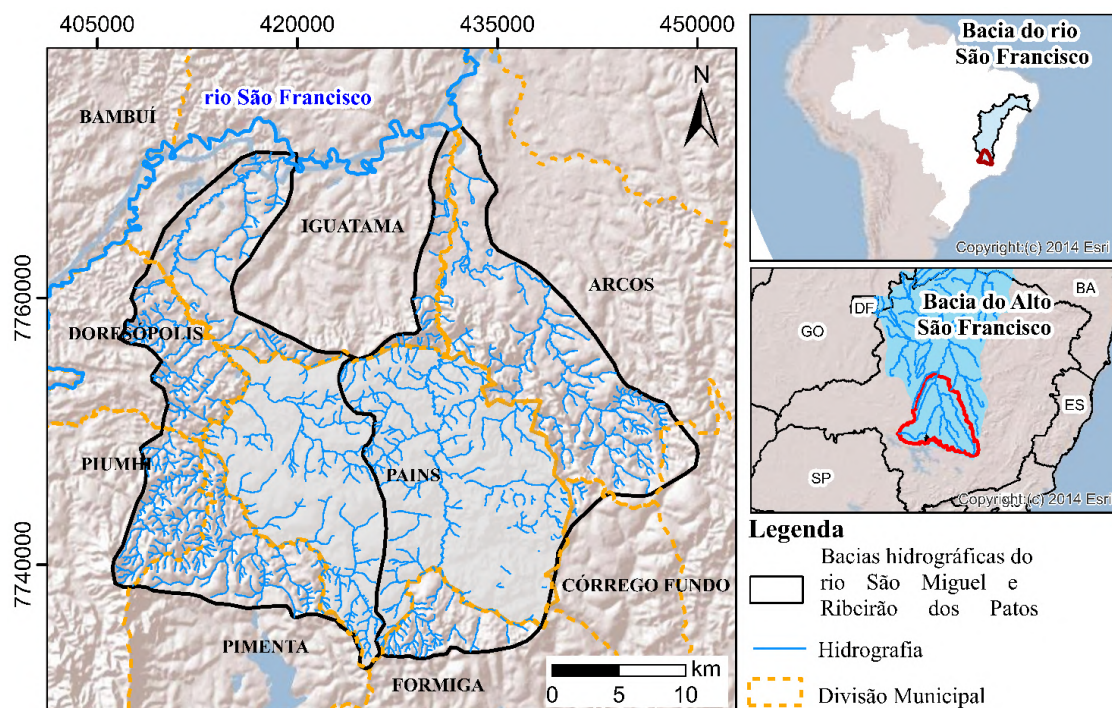
A região cárstica de Pains está localizada no centro-oeste do estado de Minas Gerais, extremo sul do Cráton São Francisco, e possui cerca de 418 km², dos quais 244 km² (58,4%) estão sobre a Bacia do Rio São Miguel e os outros 174 km² (41,6%) estão na Bacia do Ribeirão dos Patos, importantes afluentes do Rio São Francisco.

A Bacia do Rio São Francisco possui 639.217 km² de área de drenagem (7,5% do país) e vazão média de 2.850 m³/s (2% do total do país). O Rio São Francisco nasce na Serra da Canastra (MG), a 1.280 m de altitude, escoando por uma extensão de mais de 2.700 km, sentido sul-norte, passando pelo Distrito Federal e pelos estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia, Pernambuco, Sergipe e Alagoas, chegando ao Oceano Atlântico, abastecendo mais de 505 municípios (9% do total de municípios do país) (CBHSF, 2020).

A Bacia do Rio São Francisco é dividida em 4 sub-bacias: Alto São Francisco (da Serra da Canastra até a cidade de Pirapora, centro-norte de Minas Gerais, com área de 111.804 km²); Médio São Francisco (escoando no sentido sul-norte e atravessando todo o oeste baiano, até a represa de Sobradinho, no município de Remanso, alcançando 339.763 km²); Sub Médio São Francisco (após a represa de Sobradinho, o rio segue para leste, constituindo-se na divisa natural entre os estados da Bahia e de Pernambuco, até o limite com Alagoas, com 155.637 km²); e o Baixo São Francisco (seguindo para leste, o rio forma a segunda divisa natural entre os estados de Alagoas e Sergipe, com área de 32.013 km², onde o Rio São Francisco deságua no Oceano Atlântico).

Os cursos do Ribeirão dos Patos e do Rio São Miguel estão situados na “região cárstica do Alto São Francisco”, onde nascem nas cotas 860 m e 875 m, desaguando nas cotas 632 m e 630 m, respectivamente (MENEGASSE *et al.*, 2000). As maiores altitudes da área estão no extremo sudoeste, na Serra da Pimenta, a 1.200 m. A Bacia Hidrográfica do Rio São Miguel abrange, em sua maior parte, os municípios de Pains e Arcos, seguidos por áreas dos municípios de Iguatama, Formiga e Córrego Fundo. A Bacia do Ribeirão dos Patos abrange os municípios de Iguatama, Doresópolis, Pains, Piumhi e Pimenta, ambas inseridas no centro-oeste de Minas Gerais (Figura 1).

Os principais tributários da margem oeste do Rio São Miguel, de montante a jusante, são: Ribeirão das Moendas e os córregos da Mina, do Mandengo e do Fundão. Na margem leste, os principais tributários são: Córrego da Barra e Rio Candongas, que abrange a sub-bacia do Córrego Santo Antônio, ambos inseridos em boa parte no município de Arcos. Os principais tributários da margem oeste do Ribeirão dos Patos, de montante a jusante, são: Ribeirão Lambari e córregos do Cavalo, do Barreado e do Ouro, este último no município de Pimenta, o Córrego do Felipe, no município de Piumhi, e o Córrego do Barreado, na divisa dos municípios de Piumhi e Doresópolis. Na margem leste, os principais tributários são os córregos da Matinha, da Vaca e do Tamboril.



Os maiores índices de umidade relativa média são registrados nos meses de janeiro e dezembro, atingindo níveis entre 80 e 85%, enquanto os meses mais secos, agosto e setembro, os valores variam entre 60 e 70%. Contudo, a umidade média anual fica entre 75 e 80%. A média anual de horas de insolação é de 1.900 horas, sendo os meses de maior insolação (julho e agosto) com níveis entre 220 e 250 horas e os de menores valores mensais ocorrendo nos meses de dezembro, com níveis entre 120 e 150 horas e janeiro oscilando entre 80 e 100 horas (INMET, 2020).

Os balanços hídricos das bacias do rio São Miguel e do ribeirão dos Patos, a partir das estimativas de precipitação, evapotranspirações potencial e real, e déficit e excedente hídricos (Tabela 1), indicam grandes similaridades, observados em dois períodos distintos: 1) excedente hídrico, de novembro a abril, e 2) déficit hídrico, de maio a setembro, com reposição no mês de outubro (MENEGASSE *et al.*, 2002).

Tabela 1. Balanço hídrico climático (1975-1989) por Thornthwaite-Mather (mm/ano) (MENEGASSE *et al.*, 2002).

Bacia	Precipitação	Evapotranspiração potencial	Evapotranspiração real	Déficit hídrico	Excedente hídrico
Rio São Miguel	1325	937	834	104	491
Ribeirão dos Patos	1363	937	835	102	529

A bacia do rio São Miguel tem vazão média de 7,6 m³/s, com uma contribuição subterrânea de 68,5% do escoamento total e 23% da precipitação. A contribuição subterrânea predomina sobre a superficial durante todo o ano, mais preponderante nos meses secos, entre abril e outubro, chegando a 95%, em julho, e 54%, em dezembro (MENEGASSE *et al.*, 2002). A bacia do ribeirão dos Patos tem vazão média de 8,4 m³/s, com contribuição subterrânea de 69% do escoamento total.

Devido às características supracitadas e pelo alto potencial hídrico subterrâneo, nas sedes dos municípios, distritos, vilas e bairros inseridos nas bacias predominam a utilização de mananciais subterrâneos como fonte de água para o consumo humano. A indústria da mineração do calcário, base econômica da região, é a maior consumidora de água tanto subterrânea quanto superficial. A grande utilização da água subterrânea deve-se ao rápido e precário escoamento superficial típico de terrenos cársticos, em especial nos meses de estiagem, quando dolinas e córregos estão praticamente secos e, em outros casos, comprometidos devido à poluição antrópica de determinados cursos d'água (MENEGASSE *et al.*, 2002).

2. METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA QUALIDADE E CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS DA BACIA DO RIO SÃO MIGUEL

Para facilitar o entendimento hídrico desta região, a seguir, será focada a bacia do rio São Miguel, aproveitando o monitoramento hidrogeoquímico sazonal realizado por Lucon (2018), o qual utilizou 89 pontos de monitoramento (14 pontos para águas meteóricas, 39 para águas subterrâneas e 36 para águas superficiais) e analisou mais de 356 amostras de águas.

Foram analisados *in situ* os seguintes parâmetros físico-químicos de qualidade da água: condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD), resistividade, temperatura, pH, Eh, oxigênio dissolvido (OD), turbidez e as concentrações de nitrato, sulfato, fosfato e cloreto. Para isso, os seguintes equipamentos foram utilizados: multiparâmetro, oxímetro, colorímetro e turbidímetro.

Para as análises da alcalinidade, amostras de água foram coletadas, acondicionadas e determinadas as concentrações de bicarbonato (HCO_3^-), por meio do método titulométrico (GREENBERG *et al.*, 1995). As amostras para os elementos maiores e traços foram coletadas em recipientes de polietileno, filtradas e conservadas com ácido nítrico ultra puro; para os isótopos estáveis de oxigênio e deutério (^{18}O e ^2H), amostras foram coletadas em vidrarias do tipo âmbar, conservadas e, então, quantificadas via espectrômetro. Todas as amostras foram analisadas no Laboratório de Geoquímica, do Departamento de Geologia, da Universidade Federal de Ouro Preto.

Por fim, com o auxílio estatístico, foram propostos valores de NBL [*Natural Background Level*] (BRIDGE, 2006; APAT-ISS, 2006 e ISPRA, 2009) para os principais íons das águas subterrânea e superficial da bacia (Figura 3). Os valores de NBL, que se referem às concentrações naturais das águas, ou seja, isentas de fontes antropogênicas de poluição, e que são representativas daquela região, são definidos como os 90º e 95º percentis derivados da distribuição de probabilidade. Dessa forma, as concentrações acima desses percentis são consideradas anomalias não naturais, podendo ser de origem humana.

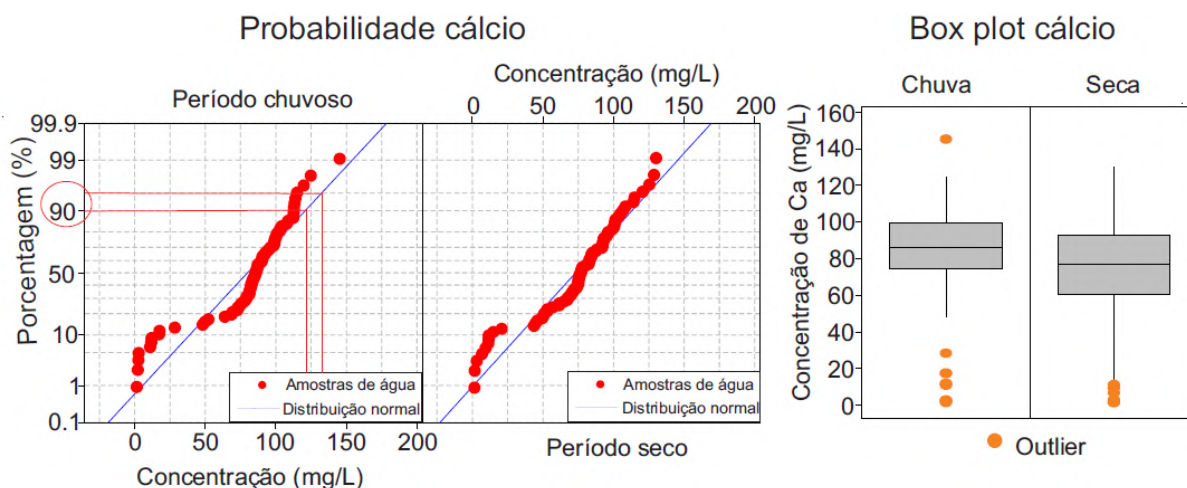


Figura 3. Exemplo para a obtenção dos valores de NLB 90% e 95% e gráficos de concentração tipo Box Plot.

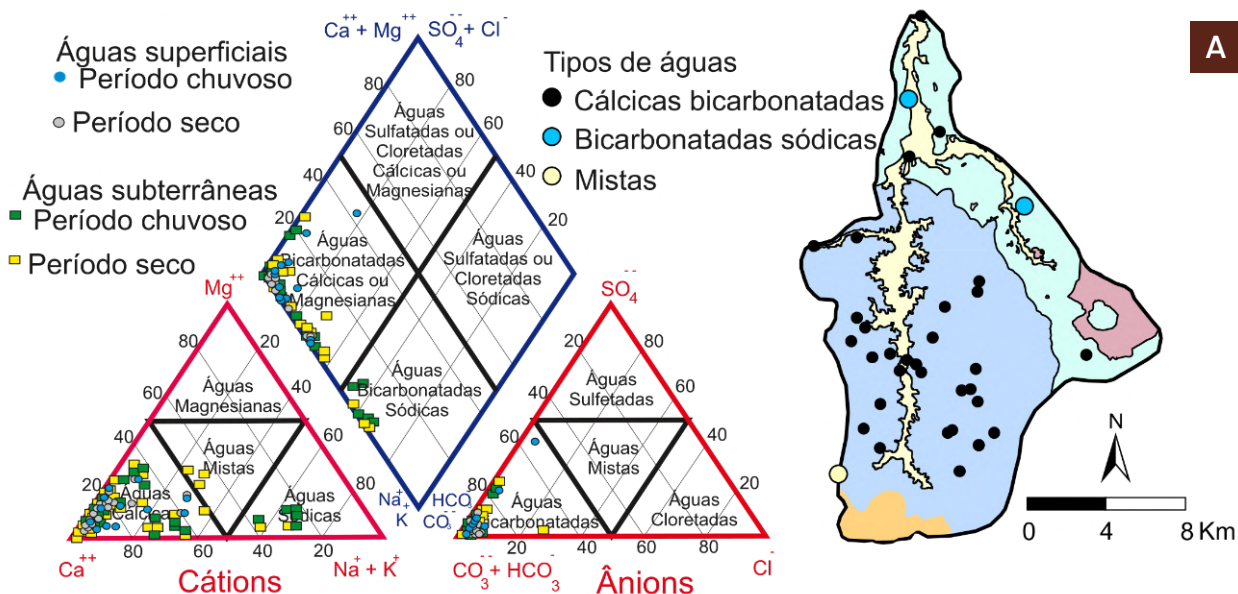
De acordo com o diagrama de *Piper*, as águas (superficiais e subterrâneas) da bacia do rio São Miguel são classificadas como bicarbonatadas cálcicas, repercutindo a composição essencialmente carbonática do arcabouço geológico (Figura 4). É possível observar a influência da sazonalidade na amostragem, onde as maiores concentrações, principalmente dos elementos cálcio, magnésio e bicarbonato (Ca^{2+} , Mg^{2+} e HCO_3^-), são relatadas durante o período chuvoso, estando diretamente relacionadas ao processo de dissolução das rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas.

3. QUÍMICA E QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA DO RIO SÃO MIGUEL

A partir dos mapas geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos, e uso e ocupação (Figura 4), e dos resultados das análises hidroquímicas, verifica-se que a condutividade elétrica (CE) apresenta relação direta com os sólidos totais dissolvidos (STD). Os parâmetros que apresentam valores acima dos limites máximos permitidos, de acordo com a resolução Conama nº 357 de 2005 (Figura 5), foram listados por Lucon *et al.* (2018a) considerando-se a ocorrência em relação ao percentual de amostras analisadas para classe 1: turbidez (11,76%), nitrato (11,76%), alumínio (2,94%), ferro (14,70%), manganês (16,17%) e cádmio (14,70%).

A contribuição geogênica, influenciada naturalmente pela geologia carbonática local, é reconhecida no caráter neutro a alcalino (pH) das águas em condições oxidantes (Eh) e nos altos valores para STD e CE, com variações locais associadas ao embasamento granítico, onde também é possível averiguar uma maior contribuição de ferro, alumínio e turbidez nas águas.

Neste mesmo sentido, destaca-se que a qualidade das águas do rio São Miguel é monitorada pelo IGAM desde 2000 por meio da Estação SF002 localizada à jusante de Pains, na localidade de Calciolândia. Em 2015, a empresa Nemus atualizou o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco e apontou que o rio São Miguel permanece no nível médio de Índice de Qualidade de Água (IQA), cujo cálculo leva em consideração 9 parâmetros (oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, DBO - demanda bioquímica de oxigênio, temperatura, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e resíduo total).



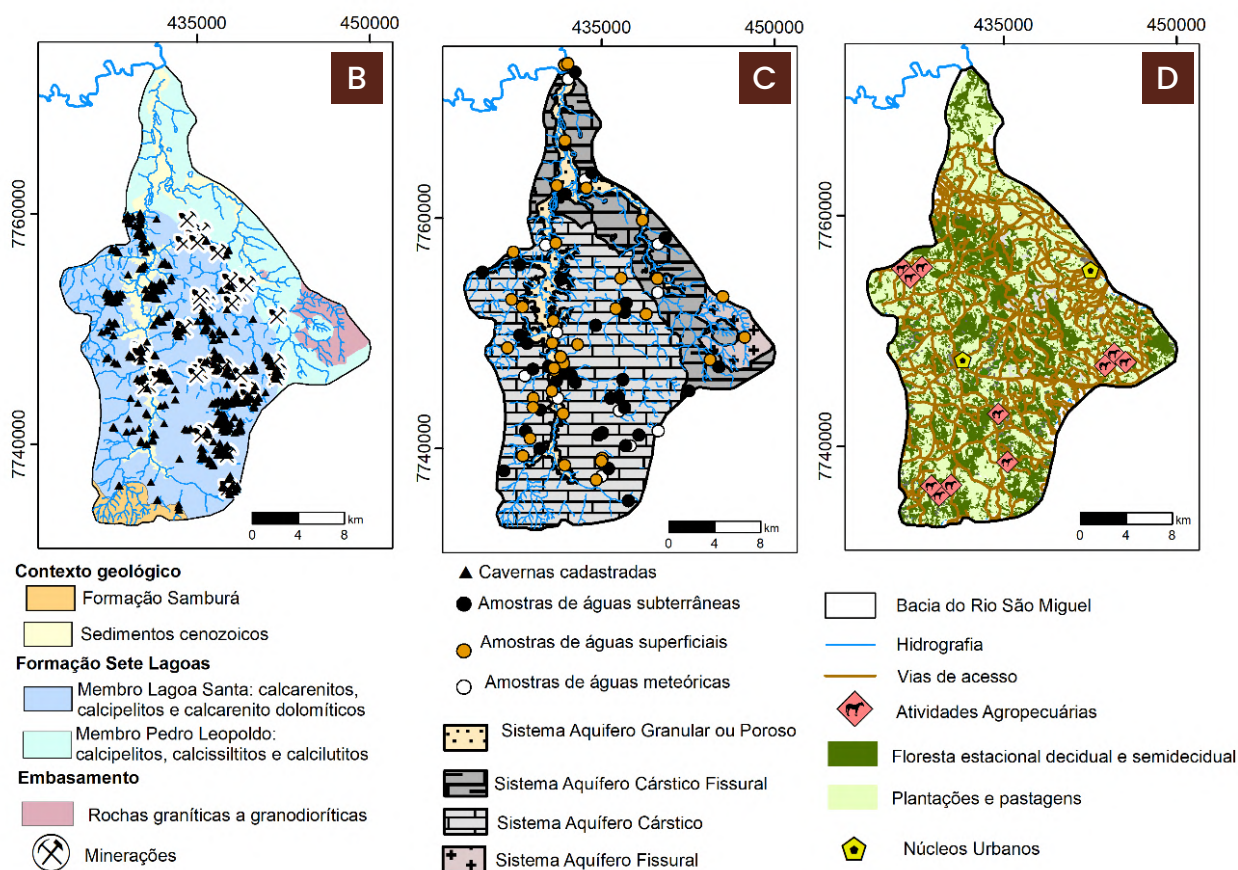


Figura 4. Em A) mapa geológico da bacia hidrográfica do rio São Miguel, adaptado de Martins (2013), com a distribuição dos pontos de monitoramento e diagrama de Piper das águas (superficiais e subterrâneas) da bacia. Em B) cavidades e minerações cadastradas na bacia. Em C) mapa hidrogeológico, adaptado de Mourão *et al.* (2001) e distribuição dos pontos analisados (LUCON, 2018). E em D) uso e ocupação da bacia, adaptado de Pereira *et al.* (2019).

As concentrações acima do limite para o alumínio, ferro e manganês representam fontes difusas relacionadas tanto à geologia da região como aos impactos antrópicos associados a atividades agrícola e minerária, onde a dispersão destes elementos pode estar vinculada aos particulados oriundos do uso de corretivos agrícolas e dos processos de extração mineral. No caso dos elevados valores de alumínio, estes podem também refletir uma dosagem mal administrada em centros de tratamento de água.

Para o elemento cádmio (Cd), foram observadas fontes pontuais de contaminação associadas ao período chuvoso, podendo ser tanto de origem natural como antrópica. Entretanto, salienta-se que a indústria da mineração de calcário na região, com suas inúmeras calcinações instaladas, pode ter influência nas alterações hidroquímicas relatadas.

Os elementos que apresentam valores acima do limite estabelecido causam certa preocupação, ainda mais se tratando de uma região cárstica, onde a hidrodinâmica e a percolação direta da zona vadosa para a zona freática dificultam a depuração natural dessas águas no meio subterrâneo, repassando rapidamente os contaminantes que, primeiramente, estão nas águas superficiais e chegam até às águas subterrâneas. Além disso, a pouca compreensão dos mecanismos hidráulicos subterrâneos no meio cárstico dificulta a remediação de contaminações, pois as redes de condutos, muita das vezes, são complexas e difíceis de serem mapeadas.

Em geral, as águas superficiais na região não são indicadas para o consumo humano direto, visto que alguns elementos (nitrato, alumínio, ferro, cádmio, manganês e turbidez) violam os limites legalmente estabelecidos. Logo, para o consumo, essas águas devem passar por tratamento prévio.

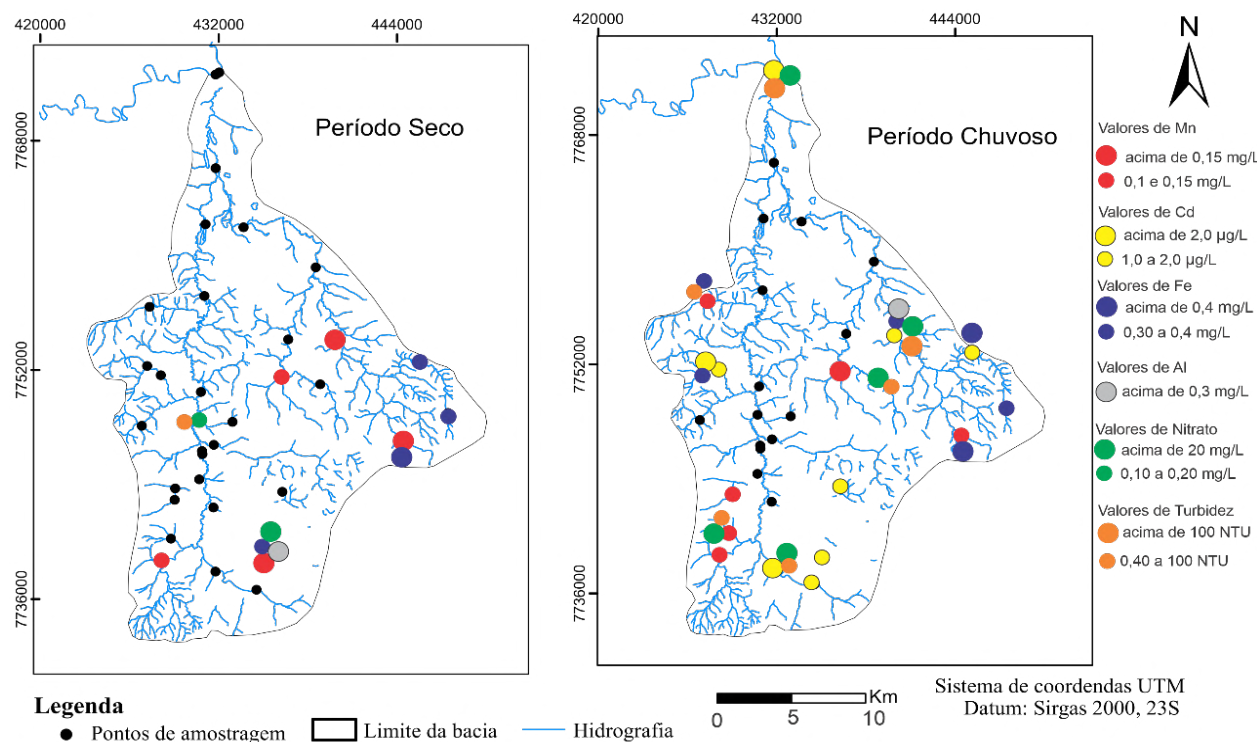


Figura 5. Concentrações de turbidez (laranja) e dos elementos nitrato (verde), alumínio (cinza), ferro (azul), manganês (vermelho) e cádmio (amarelo) para as águas superficiais da bacia do rio São Miguel entre os períodos seco e chuvoso e que ultrapassam o limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357 de 2005 para a classe 1.

4. QUÍMICA E QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA BACIA DO RIO SÃO MIGUEL

As maiores concentrações de cálcio e magnésio (Figura 6) ocorrem na região central da bacia, enquanto o potássio acontece principalmente no embasamento granítico aflorante a leste. As maiores concentrações de sódio estão na região norte da bacia, próxima à foz do rio, refletindo as influências geogênica e antropogênica, esta última devido a atividades relacionadas à mineração ou influenciadas pelo uso de fertilizantes químicos na agricultura, ou mesmo pela descarga de efluentes domésticos.

Dias-Oliveira *et al.* (2017) relatam que as maiores concentrações de cálcio e magnésio nas águas subterrâneas da região são encontradas perto das atividades de mineração, corroborando Fritzsons *et al.* (2009) que, em estudo realizado na região cárstica do Paraná, relataram que as atividades locais de mineração alteram as águas, uma vez que os dolomitos, quando extraídos de pedreiras, liberam carbonato de cálcio e magnésio no ambiente devido ao aumento do processo de dissolução.

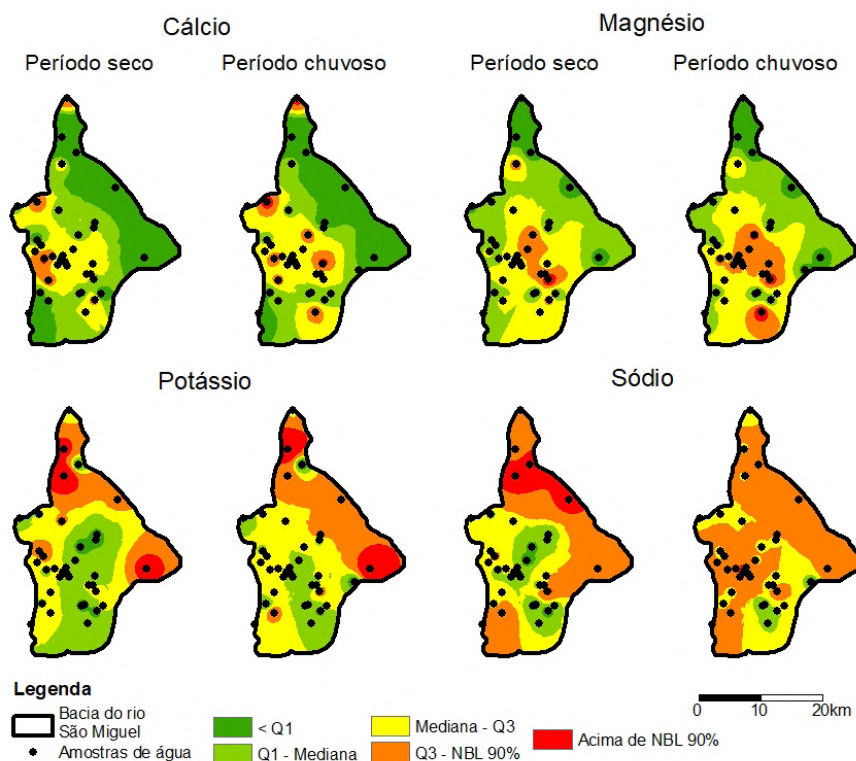


Figura 6. Mapas hidroquímicos com a distribuição sazonal dos elementos cálcio, magnésio, sódio e potássio, com destaque para os locais com os maiores valores, acima do NBL 90% (em vermelho).

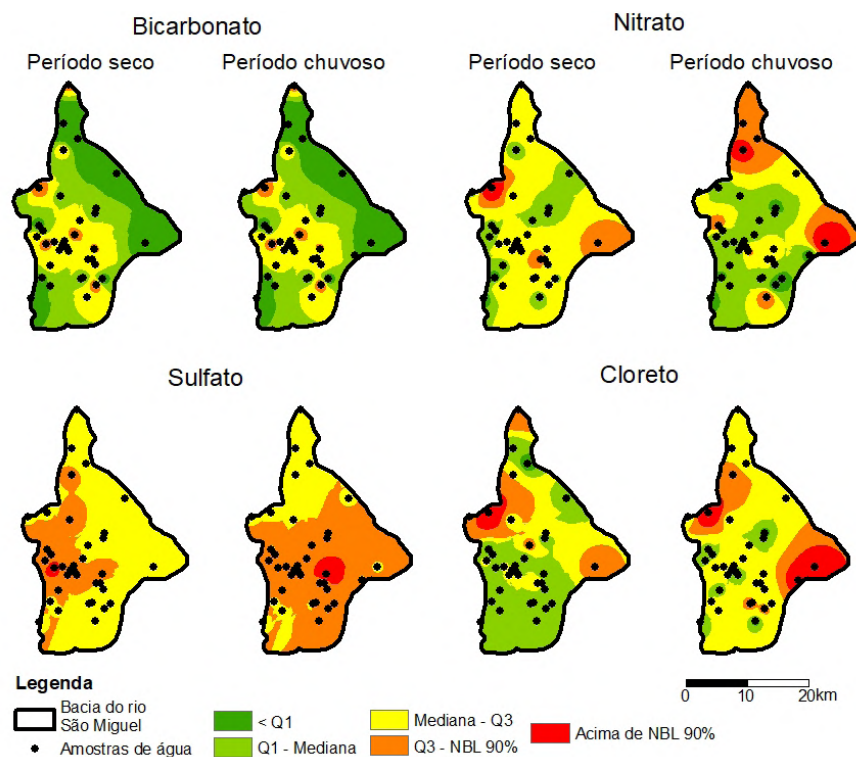


Figura 7. Mapas hidroquímicos com a distribuição sazonal dos elementos bicarbonato, nitrato, sulfato e cloreto com destaque para os locais com os maiores valores, acima do NBL 90% (em vermelho).

Em relação aos ânions (Figura 7) (HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- e PO_4^{3-}), o bicarbonato apresenta concentrações nitidamente mais altas que os demais elementos, com os maiores valores na região centro-oeste da bacia, sobre os calcários mais puros do Membro Lagoa Santa, relacionados à dissolução natural de solos e rochas (DIMITRIJEVIC, 1995), indicando que esses calcários são mais carstificáveis que os do Membro Pedro Leopoldo, mais impuros, ambos esses membros da Formação Sete Lagoas (GALVÃO *et al.*, 2016). Para o sulfato, as altas concentrações ocorrem dispersas na bacia e sugerem influência geogênica devido à interação água-aquífero relacionada à troca direta de ânions entre águas subterrâneas e a fração argila do aquífero, que também pode ser originária de dissoluções de rochas ou mesmo de águas pluviais (SILVA, 1983; FLUES, 2003). Meyer (2018) identificou para a região a ocorrência de carbonatos com pirita (FeS_2) e galena (PbS), que poderiam ser os responsáveis pela liberação de enxofre na água.

As mais elevadas concentrações para o nitrato, fosfato e cloreto ocorrem nas regiões leste e oeste da bacia, estando diretamente conectadas às atividades humanas, originadas de sistemas precários de coleta e tratamento de esgoto, com excesso de matéria orgânica encontrada no ambiente ou mesmo devido ao uso intensivo de fertilizantes à base de nitrogênio, pois essas áreas apresentam alta produtividade agrícola e pecuária.

Na estação chuvosa, o nitrato tem concentrações superiores ao limite de 10 mg/L (N-NO_3^-) estabelecido pelas legislações vigentes: CETESB (2016), Conama nº 396 (2008), Portaria do Ministério da Saúde nº 2914 (BRASIL, 2011), padrões de água potável de USEPA (2017) e Conselho Canadense de Recursos e Ministros do Meio Ambiente - CCREM (1987). Zublena *et al.* (2001) relatam que o nitrato é considerado um agente cancerígeno, e altas concentrações nas águas podem levar a problemas de saúde pública (LALEHZARI *et al.*, 2013), como a metahemoglobinemia, conhecida como “síndrome do bebê azul”, que consiste em baixa oxigenação do sangue e que afeta recém-nascidos.

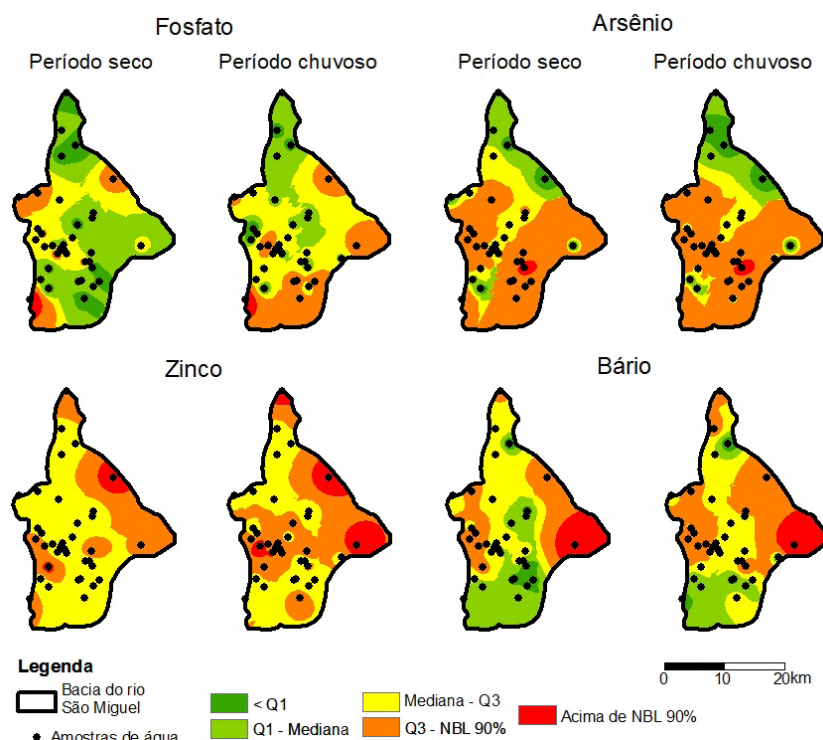


Figura 8. Mapas hidroquímicos com a distribuição sazonal dos elementos fosfato, arsênio, zinco e bário com destaque para os locais com os maiores valores, acima do NBL 90% (em vermelho).

Com relação ao arsênio (As) e zinco (Zn) (Figura 8), os maiores valores ocorrem durante a estação chuvosa, enquanto o bário (Ba) na estação seca. Localizado na porção central da bacia, a Fazenda Amargoso apresenta as maiores concentrações de As durante as estações chuvosa (12,70 µg/L) e seca (10,83 µg/L), apresentando concentrações superiores ao limite de 10 µg/L estabelecido pela CETESB (2016), sendo considerada «área de risco». A alteração dos níveis de As pode estar relacionada aos calcários e dolomitos da Formação Sete Lagoas ou às contribuições humanas derivadas do uso de fertilizantes. De acordo com Tedd *et al.* (2017), valores de NBL 95% de Arsênio (2 µg/L) sugerem a ocorrência de aquíferos não confinados e podem indicar a presença de calcários impuros (3 µg/L). Por outro lado, Villanueva *et al.* (2014) realizaram uma caracterização hidroquímica do aquífero cárstico de Salitre, em Irecê (BA), e observaram que a origem do Arsênio na região está relacionada ao uso inadequado de fertilizantes nas lavouras da região.

As maiores concentrações de Ba e Zn foram observadas a leste da bacia, refletindo possivelmente a influência geogênica do embasamento granítico. Esse resultado corrobora com Tedd *et al.* (2017) que relataram valores de NBL 95% de 114 µg/L para Ba e entre 28 e 44 µg/L para Zn, comuns em rochas metamórficas.

Logo, a partir do monitoramento hidroquímico, foi possível verificar a origem (geogênica ou antropogênica) de cada elemento, permitindo definir as principais fontes de contribuição (Tabela 2), além de elucidar o comportamento hidroquímico desses elementos com base nos valores de NBL 90% e da sazonalidade da região.

Tabela 2. Origem, fonte e influência sazonal para os elementos abordados perante os valores de NBL90%.

Elementos	Principal origem	Principal fonte	Influência sazonal (NBL 90%)
Cálcio	Geogênica com influência antropogênica	Carbonatos do Membro Lagoa Santa / mineração	↑ Período chuvoso
Magnésio	Geogênica com influência antropogênica	Carbonatos do Membro Lagoa Santa / mineração	Praticamente estável, com leve aumento no período seco
Sódio	Geogênica	Embasamento granítico e carbonatos do Membro Pedro Leopoldo	↓ Período chuvoso
Potássio	Geogênica	Embasamento granítico e carbonatos do Membro Pedro Leopoldo	↑ Período chuvoso
Bicarbonato	Geogênica	Carbonatos do Membro Lagoa Santa	↑ Período chuvoso
Fosfato	Antropogênica	Despejo inadequado de resíduos agropecuários e urbanos (esgoto)	↓ Período chuvoso
Sulfato	Geogênica	Pirita e galena intercaladas com os carbonatos	↑ Período chuvoso
Cloreto	Antropogênica	Atividades Agropecuárias	↑ Período chuvoso
Nitrato	Antropogênica	Atividades agropecuárias	↑ Período chuvoso
Arsênio	Geogênica / Antropogênica	Carbonatos / despejos inadequados de defensivos agrícolas	↑ Período chuvoso

Elementos	Principal origem	Principal fonte	Influência sazonal (NBL 90%)
Bário	Geogênica	Embasamento granítico e carbonatos do Membro Pedro Leopoldo	↓ Período chuvoso
Zinco	Geogênica	Embasamento granítico e carbonatos do Membro Pedro Leopoldo	↑ Período chuvoso

5. COMUNICAÇÕES HIDRÁULICAS DA BACIA DO RIO SÃO MIGUEL E ÁREAS DE RECARGA E DESCARGA

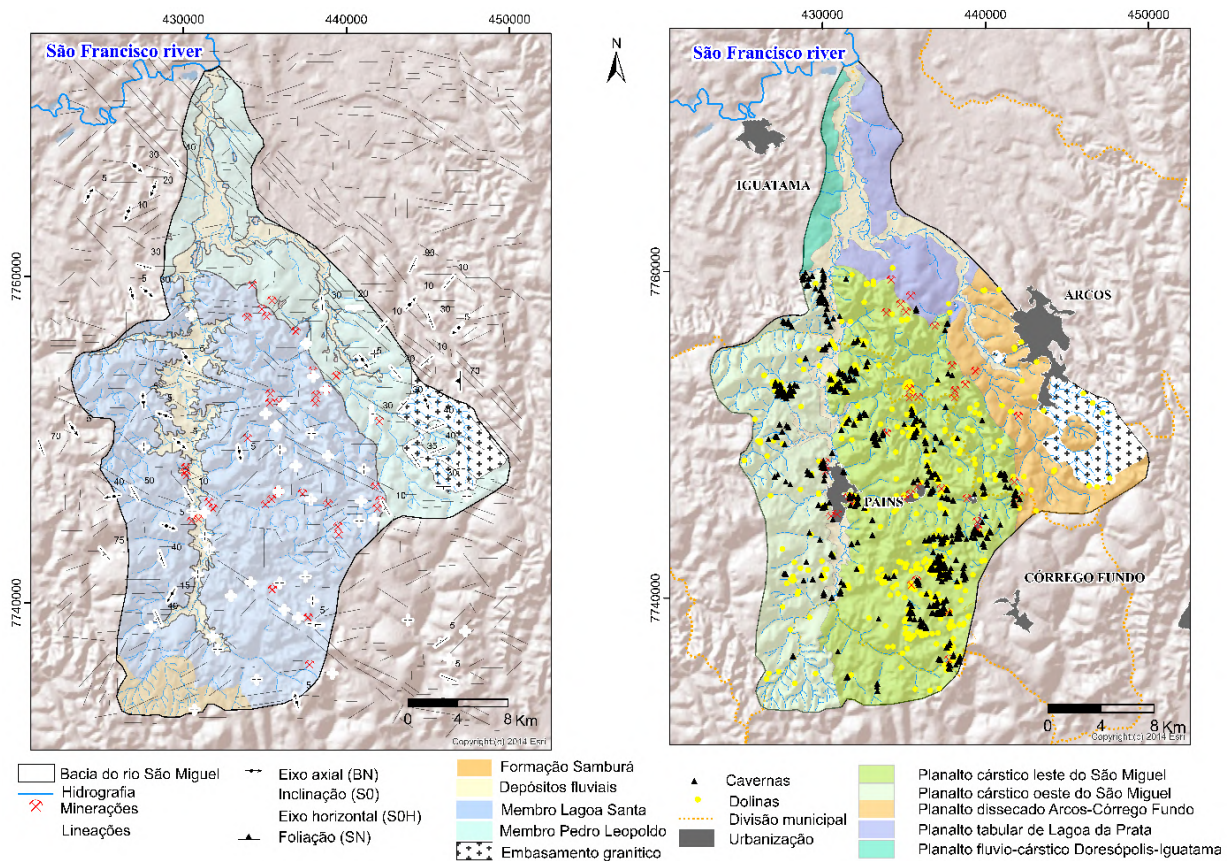
Este tópico busca elucidar as possíveis origens, fluxos subterrâneos e mecanismos de evolução química das águas, bem como as interações das águas meteórica e superficial com a subterrânea e áreas de recarga e descarga com auxílio dos isótopos estáveis de oxigênio e deutério (^{18}O e ^2H), e das concentrações dos íons maiores (Figuras 9, 10 e 11).

Para melhor compreender o sistema cárstico da região, bem com a configuração estrutural, hidrogeológica e suas interações, os resultados geofísicos, químicos e isotópicos foram separados em 3 seções (Figura 11): A-A', aborda a percolação das águas ao longo de 70 m de desnível e a comunicação hidráulica entre as cavidades Narigudo (Figura 9), Loca Feia, Mastodonte (Loca do Angá) e o rio São Miguel; B-B', aborda a comunicação hidráulica da surgência e sumidouro do Sócrates com a gruta do Éden (Figura 9) e a ressurgência das Angolinhas, e a contribuição das águas do distrito da Mina neste sistema; e C-C', aborda a região centro-norte da bacia, contemplando a foz do rio São Miguel (LUCON *et al.*, 2020a).





Figura 9. Rio subterrâneo da caverna do Narigudo (A) e rio subterrâneo da caverna do Éden (B) (fotos: Gabriel Lourenço; auxiliares: José Mota Neto, Pedro Henrique Assunção, Celso Constâncio e Thiago Lucon).



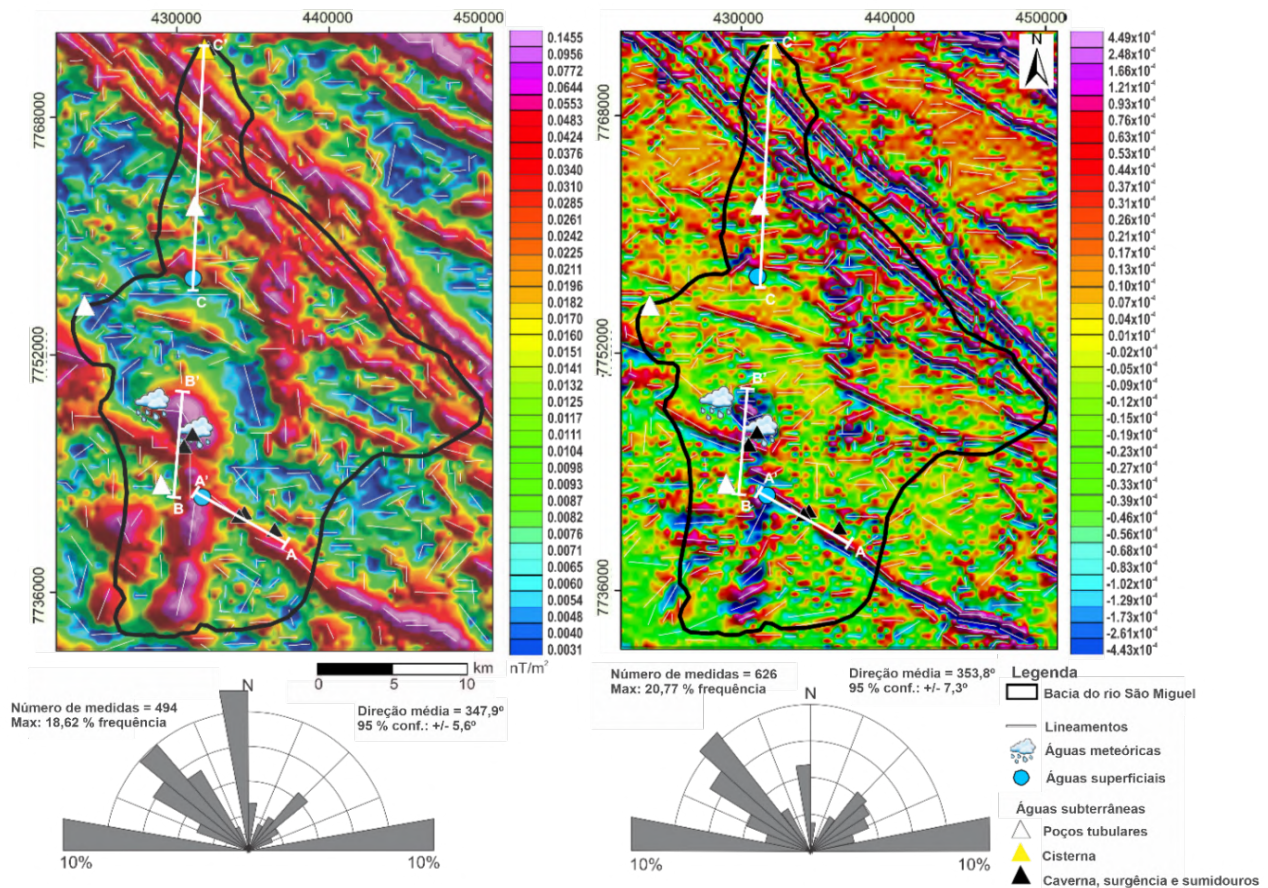


Figura 11. Mapas geofísicos e apresentação dos pontos analisados de montante a jusante da bacia do rio São Miguel.

Os mapas magnetométricos de amplitude de sinal analítico (ASA) e de segunda vertical derivada (Dzr2) (Figura 11) indicam grandes lineamentos de direção NW/SE, obliterados por outros de direção N/S. A mudança do padrão na intensidade da coloração dos mapas geofísicos (cores quentes) indica uma variação de profundidade do embasamento na região, que é mais profundo na região SW e mais raso na região NE. Vale destacar que o desenvolvimento de muitas das cavidades da região está diretamente relacionado por esses lineamentos, às vezes NW/SE, em outros N/S, e até nos lineamentos W/E, comportamento semelhante relatado por Penãranda (2016) para a região cárstica de Sete Lagoas/MG, e de mesmo contexto hidro(geo)lógico.

A seção A-A' apresenta direção preferencial NW/SE, e abrange as cavernas Narigudo, Loca Feia e Mastodonte (Loca do Angá) e o rio São Miguel, corroborando o estudo de Carvalho *et al.* (2015), em que apresentam um mapa da caverna do Narigudo (MG-1953) e relatam que o conduto do rio (≈ 830 m de desenvolvimento) é controlado por fraturas com direção NW/SE. A seção B-B' apresenta direção preferencial N/S, paralela ao rio São Miguel, abrangendo a região do sumidouro do Sócrates, gruta do Éden, distrito da Mina e a ressurgência das Angolinhas. Segundo o Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil (CNC), a gruta do Éden (MG-130) mede 3.350 m em sua porção mapeada. No entanto, de acordo com informações obtidas junto à mineradora Saldanha, que financiou estudos de mergulho em cavernas, existe um rio subterrâneo medindo mais de 1 km que não foi somado à topografia acima, todos seguindo a direção principal N/S. A seção C-C' também apresenta uma direção preferencial N/S, abrangendo a região centro-norte da bacia, seguindo o rio São Miguel até a sua foz, no rio São Francisco.

Em relação ao processo de percolação (70 m de desnível) que ocorre dentro da caverna do Narigudo, no início da seção A-A', as águas que fluem no "ofurô do narigudo" (no interior da cavidade) tem as maiores concentrações de Ca, Mg e HCO_3^- e as assinaturas isotópicas menos negativos de ^{18}O , enquanto os ^{18}O mais negativos foram amostrados no rio São Miguel (em direção ao desnível/gradiente hidráulico). Ainda na seção A-A', a gruta Loca Feia apresentou alterações nos níveis de Ca e HCO_3^- quando comparada com o comportamento dos outros pontos de amostragem do perfil, possivelmente devido à mistura de águas antigas e novas, e processos de evaporação antes da infiltração (CLARK e FRITZ, 1997).

Em relação ao comportamento isotópico, durante o período chuvoso, os valores foram menos negativos do que no período seco, sendo os valores mais negativos de ^{18}O observados na água do rio Narigudo. Durante a estação seca, sem influência da entrada de águas meteóricas, foi observado o empobrecimento de isótopos mais pesados (^{18}O e ^2H), demonstrando processos de evaporação dessas águas durante a infiltração. Além disso, no nível mais profundo da caverna, no rio Narigudo, há uma diminuição nas concentrações catiônicas. Ambos os comportamentos são ligados à influência geogênica. O aumento ocorre devido aos depósitos químicos através dos quais a água flui, enquanto a diminuição é devida a lentes de silexito intercaladas com pelito, relatadas por Carvalho *et al.* (2015).

Na seção B-B', os maiores valores de Ca e HCO_3^- foram observados no poço SAAE - Distrito da Mina. Já a gruta do Éden apresenta as maiores concentrações de Mg, demonstrando à influência geogênica devido ao contato de calcários calcíticos e dolomíticos dos membros Lagoa Santa e Pedro Leopoldo (LUCON *et al.*, 2018). A gruta do Éden também apresentou altas semelhanças hidroquímicas e isotópicas entre a surgência e sumidouro do Sócrates e a ressurgência das Angolinhas (Figura 12), demonstrando uma comunicação hidráulica já relatado por Cadamuro (2007), Freitas (2009) e, recentemente, vem recebendo diversos estudos como os de Ferrari *et al.* (2018) e Assunção (2021). As maiores concentrações de Ca e os valores mais negativos de ^{18}O foram relatados no poço SAAE - Distrito da Mina, indicando águas mais profundas e/ou mais antigas, uma vez que o Ca está diretamente relacionado à dissolução da calcita e os valores de ^{18}O mais negativos indicam uma menor influência das águas meteóricas. Com relação às assinaturas do isótopo ^2H , este apresentou os valores médios mais negativos, indicando que essas águas passaram por evaporação anterior (MINARDI e BONTEMPO, 2000), não refletindo a composição das chuvas atuais.

Por sua vez, a seção C-C' mostrou um aumento gradual nas concentrações de Mg em favor do gradiente hidráulico, refletindo o tempo de permanência das águas devido à sua baixa taxa de dissolução (MUDRY, 1987; PLAGNES, 1997; BATIOT *et al.*, 2003; GALVÃO *et al.*, 2017). No entanto, o Mg diminuiu acentuadamente na foz da bacia, possivelmente devido à influência do grande volume de água do rio São Francisco, atuando como um solvente para esse elemento. Também na foz, foi observado um aumento significativo nas concentrações de Ca. Já os valores mais negativos para ^{18}O e ^2H foram registrados no poço SAAE - Sumidouro.

As águas que infiltram na caverna do Narigudo fluem para as cavernas Loca Feia e Mastodonte (Loca do Angá) na direção NW-SE. Na região central da bacia (seção B-B'), localizada paralela ao rio São Miguel, essas águas fluem na direção preferencial N/S, seguindo as direções regionais do lineamento, também observadas em C-C'. Ainda em B-B', observa-se o contato entre os calcários dos membros Lagoa Santa e Pedro Leopoldo, o qual repercute diretamente nas análises hidroquímicas, além de apresentar alta similaridade entre as águas do sumidouro do Sócrates, gruta do Éden e ressurgência das Angolinhas, demonstrando a comunicação hidráulica que existe nelas. Finalmente, C-C' é a região da foz da bacia (rancho de pescadores).

As altas concentrações de Ca, Mg e HCO_3^- ocorrem predominantemente durante a estação chuvosa e estão diretamente relacionadas à dissolução de rochas carbonáticas. A espeleogênese, o desenvolvimento de con-

duto de dissolução e as rotas de fluxo do aquífero estão diretamente associados às atitudes superficiais predominantes por meio do conjunto dominante de fraturas, preconizado pelo modelo de Worthington (2005).



Figura 12. Ressurgência das angolinhas (A) e Surgência do Sócrates (B). Fotos: Gabriel Lourenço; auxiliares: José Mota Neto, Pedro Henrique Assunção, Celso Constâncio e Thiago Lucon.

As águas meteóricas e subterrâneas apresentam valores médios para as assinaturas de ^{18}O e ^2H semelhantes aos relatados por Galvão *et al.* (2017) para a região cárstica de Sete Lagoas, indicando comportamento hidrológico semelhante, com recarga diretamente influenciada pela chuva local. Durante a estação chuvosa, as assinaturas isotópicas de oxigênio para as águas (superficiais e subterrâneas) da bacia apresentam valores mais negativos de montante a jusante, indicando possível recarga local moderna. Durante a estação seca, essas águas são mais empobrecidas isotopicamente, sugerindo uma assinatura de evaporação local antes da infiltração, ou mesmo uma mistura entre águas subterrânea e superficial evaporadas (CLARK e FRITZ, 1997).

6. INTERAÇÃO DAS ÁGUAS DA BACIA DO RIO SÃO MIGUEL

Visando elucidar como funciona o ciclo hidrológico das águas da região, bem como a interação com contaminantes, utilizou-se o mapeamento sazonal do elemento Cádmio (Cd), desde sua interação com as águas da chuva, passando pelas superficiais, até atingirem o subterrâneo.

O Cd é um poluente atmosférico que pode ser amplificado pela influência humana a partir da queima de materiais que tenham esse elemento na composição. Visto que a região apresenta inúmeras empresas de mineração e usinas de calcinação, estas atividades podem influenciar na disponibilidade desse contaminante na atmosfera, considerando a enorme quantidade de material incinerado em seus fornos (plásticos, resíduos da indústria têxtil, cortes de borracha, papel, papel alumínio, óleos residuais ou pneus) (ŽÁKOVÁ e KOČKOVÁ, 1999; BORGHETTI, 2002; HADDAD, 2007; MORAES, 2007; HINSBY *et al.*, 2008; HADDAD e MAGALHÃES Jr., 2010).

A concentração de Cd na bacia varia sazonalmente de 0,001 a 15,631 $\mu\text{g/L}$, sendo que o mês mais chuvoso (dezembro, 270 mm) também é o que apresenta os maiores valores médios de Cd (água da chuva 2,97 $\mu\text{g/L}$, água superficial 1,36 $\mu\text{g/L}$ e água subterrânea 2,49 $\mu\text{g/L}$) (Figura 13).

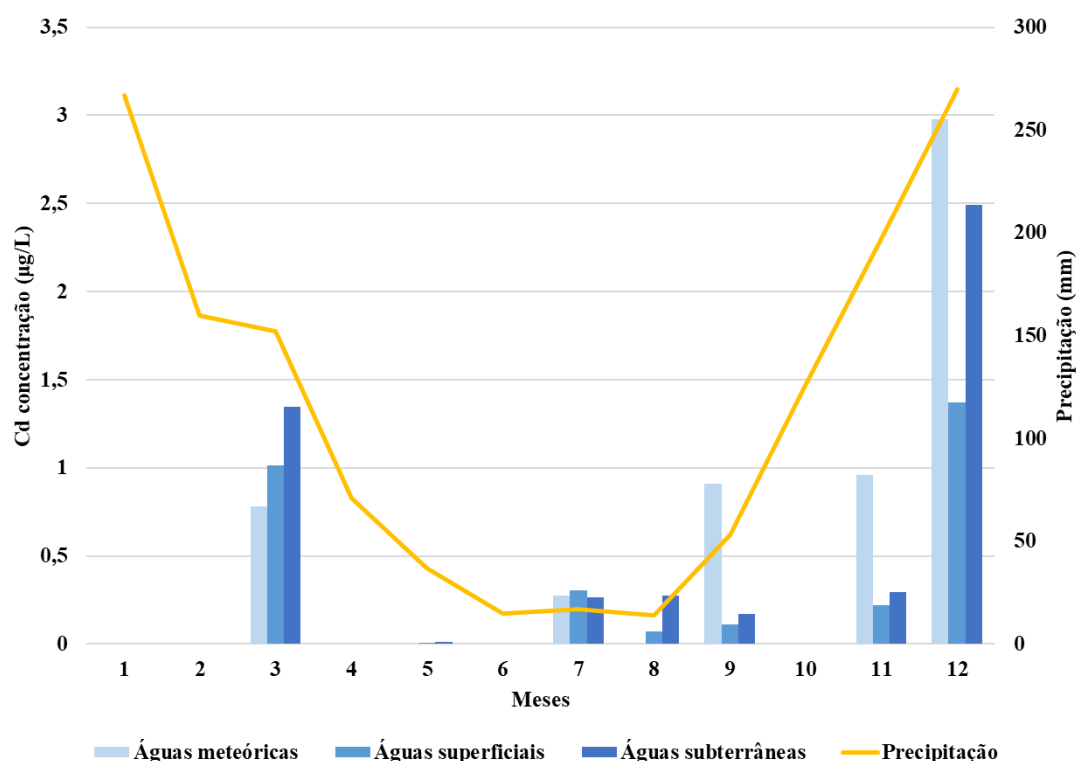


Figura 13. Gráfico de precipitação x concentração de Cd nas águas da chuva, superficiais e subterrâneas da bacia do rio São Miguel.

As maiores concentrações de Cd na água da chuva ocorrem principalmente na região norte da área, na foz do rio, compreendendo regiões topograficamente mais baixas, o que favorece a entrada de ventos e, conseqüentemente, de chuvas. As águas superficiais refletem o comportamento da chuva, apresentando altas concentrações de Cd na foz do rio e na região sul da bacia durante o início da estação chuvosa. Ao final da estação chuvosa (março), a drenagem da porção centro-norte da bacia apresenta alterações, provavelmente devido ao escoamento de Cd que precipita com a chuva. Por sua vez, as águas subterrâneas apresentam comportamento diferente em relação às águas superficiais; no entanto, semelhante às águas do início das chuvas, demonstrando o tempo de percolação e escoamento do Cd no sistema cárstico. É importante notar que a média das concentrações de Cd nas amostras de chuva foi a mais alta durante as estações chuvosas, enquanto a média das águas subterrâneas foi a mais alta durante as estações secas (LUCON *et al.*, 2020b).

Os resultados do monitoramento (Figura 14) mostram que os três tipos de águas analisadas (chuva, superficial e subterrânea) apresentam valores acima dos estabelecidos pela legislação brasileira (até 1 µg/L para águas superficiais e 5 µg/L para águas subterrâneas), sendo 35% das amostras de água da chuva e 19% das águas superficiais com valores acima de 1 µg/L. Essas concentrações superam os valores médios obtidos nos rios Reno (0,1 µg/L) e Danúbio (0,025 µg/L) (ARW, 1988). Para as amostras de águas subterrâneas, aproximadamente 20% têm valores acima de 1 µg/L, superiores ao valor médio encontrado para as 110 estações de amostragem analisadas em todo o mundo (1 µg/L) (FRIBERG *et al.*, 1986; WHO, 2011), enquanto um pouco mais de 1% dessas amostras têm valores acima de 5 µg/L, superando as concentrações relatadas para as regiões cársticas da China (entre 1 e 4 µg/L) (SUN, 2010).

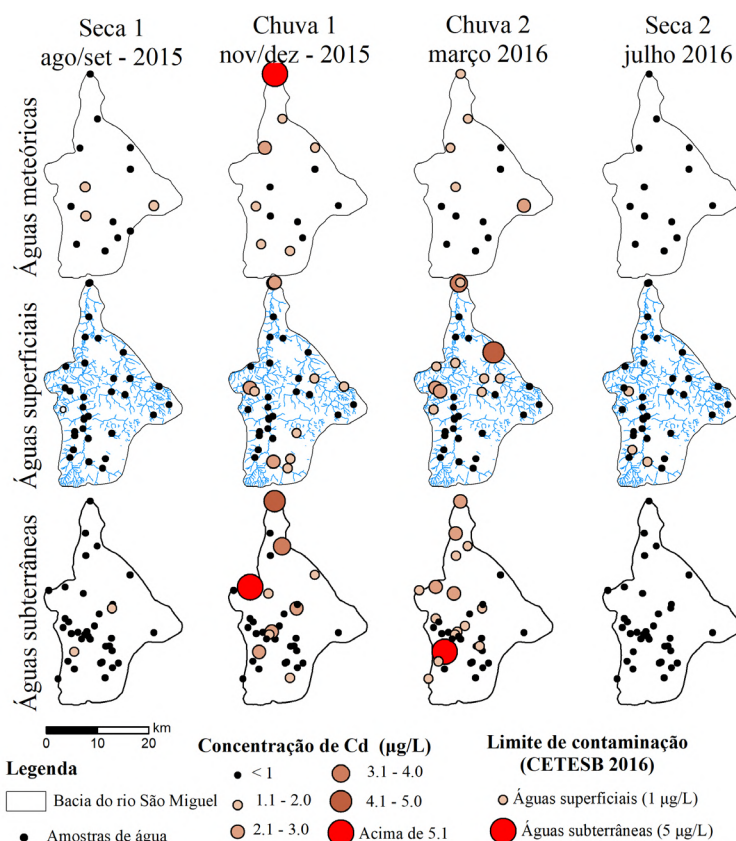


Figura 14. Representação gráfica apresentando as anomalias por estação de amostragem e por tipo de águas amostradas (meteorica, superficial e subterrânea).

Comparado com os valores estabelecidos por agências internacionais (Tabela 3), 3% das amostras estão acima de 3 µg/L (recomendado pela OMS, 2011) e 1% acima de 5 µg/L (valores de referência para EUA, Canadá, China, México, Argentina, Irlanda, Itália, Estônia e Bélgica). As concentrações de Cd também são superiores aos estabelecidos pelo Padrão de Qualidade Ambiental da Irlanda (2009), que sugere valores de aproximadamente 0,08 a 0,25 µg/L.

Para águas superficiais, os valores NBL 90% e 95% (1,50 e 1,77 µg/L) estão acima do proposto pelo Padrão de Qualidade Ambiental do Governo da Irlanda (2009), mas abaixo dos valores reportados para a baía de Samborombón, na Argentina, que apresentaram valores entre <2 µg/l e 6,4 µg/l (SCHENONE *et al.*, 2007). Para amostras de águas subterrâneas, NBL 90% e NBL 95% (2,81 e 3,40 µg/L) foram muito superiores aos valores definidos para a Estônia (MARANDI & KARRO, 2008), Bélgica (COETSIERS *et al.*, 2009), Itália (DE CARO *et al.*, 2017) e Irlanda (TEDD *et al.*, 2017).

Tabela 3. Valores padrão de toxicidade de cádmio (µg/L) adotados por agências nacionais e internacionais e valores de NBL definidos em outros estudos.

Agências nacionais	CONAMA nº 357 (2008); COPAMICERH-MG nº 1 (2008)		Classes 1 e 2*	1
			Classes 3 e 4**	10
	CONAMA nº 396 (2008)		Consumo humano	5
			Consumo animal	50
	MS nº 2974 (2011)		Limite máximo	5
	CETESB (2014)		Limite máximo	5
Agências internacionais	WHO (2011)		Consumo humano	3
	Canada	COREM (1987)	Prevenção da vida aquática	0,2 - 1,8
			Consumo animal	20
	USA	US EPA (2017)	Consumo humano	5
	China	Ministério de proteção ambiental da China (China MEP) handbook (China MEP 2013)	Consumo humano	5
	México	Norma mexicana para águas potáveis	Consumo humano	5
	Argentina	Subsecretário de recursos hídricos da nação argentina (SRH 2006)	Níveis guia para a proteção da biota aquática (GLPAB)	5
		Schenone <i>et al.</i> (2007)	NBL 90% (maré alta)	<2
			NBL 90% (maré baixa)	6,4
	Irlanda (EU)	Governo da Irlanda (2009)	Padrão de qualidade ambiental	0,08 - 0,25
		Tedd <i>et al.</i> (2017)	NBL 95% (Tedd <i>et al.</i> 2017)	0,20
	Itália (EU)	Limites de regulamentação italiana	Consumo humano	5
		De Caro <i>et al.</i> (2017)	NBL 90%	0,2
	Estônia (EU)	Decreto do ministro dos assuntos sociais (Regulamento 2001; Regulamento 2003)	Consumo humano	5
		Marandi e Karro (2008)	NBL 90%	0,5
	Bélgica (EU)	Padrões de saneamento das águas	Consumo humano	5
		Coetsiers <i>et al.</i> (2009)	NBL 90%	0,24 a 1

A partir do monitoramento, observou-se a influência da sazonalidade na contaminação por Cd nas águas da Bacia do Rio São Miguel. As maiores concentrações ocorrem principalmente durante a chuva (novembro a abril) e quase desaparecendo durante a seca (maio a setembro). É importante destacar que, para a água da chuva, não há valores de referência para o Cd, porém, se comparados aos valores máximos permitidos para as águas superficiais, eles estão bem acima do Conama nº 357 (2005) e Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde (2011).

O maior valor de Cd nas águas da bacia foi relatado para amostras de águas subterrâneas, especialmente de poços tubulares mais profundos (15,63 µg/L). Esse valor foi próximo ao encontrado por Marín *et al.* (2000) no aquífero cárstico de Yucatán, México (17,6 µg/L). Segundo Monterroso (2005), à medida que as águas descem em profundidade, a concentração de Cd aumenta, comportamento esse semelhante ao que ocorre na área de estudo. O autor destaca que em zonas próximas às descargas de efluentes industriais, a alta concentração desse elemento não está relacionada a processos diagenéticos, mas à influência antrópica.

No caso da Bacia Hidrográfica do Rio São Miguel, as altas concentrações de Cd nas amostras de águas subterrâneas poderiam ser interpretadas como consequências de uma anomalia geogênica devido à composição química dos calcários da Formação Sete Lagoas. No entanto, análises geoquímicas de 15 amostras conduzidas por Pires (2017) mostram que os valores médios de Cd dessas rochas foram de 0,674 mg/kg (ppm), indicando que o Cd nas águas subterrâneas não apresenta influência geogênica, mas tem origem na infiltração direta de chuva e águas superficiais. Complementando, as concentrações de cádmio em 20 amostras de solo reportadas por Borghetti (2002) na área indicam que 17 amostras estão em conformidade com a legislação brasileira – Classe de Valor de Prevenção: >1,3 mg/kg (CETESB, 2016), cujas amostras restantes apresentam altos valores (24 mg/kg - 34 mg/kg) em áreas caracterizadas por latossolos, o que também pode ser interpretado como contaminação por infiltração de chuva e águas superficiais.

Logo, os resultados corroboram Haddad (2007) e Villanueva *et al.* (2014), demonstrando a alta vulnerabilidade das regiões cársticas à contaminação por Cd. A hidrodinâmica dessas águas e a percolação direta da zona vadosa para a zona freática dificultam a depuração natural dessas águas no ambiente subterrâneo, transmitindo rapidamente contaminantes da água da chuva para as águas subterrâneas. Uma vez na água, o Cd pode ser adsorvido no material particulado em suspensão e/ou passar por complexação com o material orgânico existente, onde pode ser transportado e depois entrar na cadeia alimentar de organismos aquáticos (bioacumulação) e persistir no ambiente, contaminando peixes e, consequentemente, humanos que os consomem (HADDAD; MAGALHÃES JÚNIOR, 2010; MORAN *et al.*, 1996; XUE; SIGG, 1998).

A Figura 15 resume o comportamento e distribuição do Cd na Bacia do Rio São Miguel. Quando o Cd aparece como poluente atmosférico, posteriormente, interage com a chuva, fazendo com que esse elemento entre no ciclo hidrológico via precipitação, atingindo a superfície da bacia. Parte do volume precipitado é, então, transportada via escoamento superficial para os cursos de água, onde ocorre um enriquecimento em Cd, que aparece como poluente nas águas superficiais, refletindo muito as anomalias observadas na água da chuva.

Isso fica mais evidente no final da estação chuvosa, quando as drenagens na porção centro-norte da bacia apresentam alterações devido ao escoamento superficial combinado com a descarga dos aquíferos rasos. Nas águas subterrâneas, as alterações de Cd têm comportamento diferente devido ao tempo de percolação até atingir o aquífero cárstico. Parte da água da chuva precipitada se infiltra nos solos, fraturas e falhas, alimentando o carste. Considerando que o tempo de percolação nos sistemas cársticos é bastante rápido

e dinâmico, os dados sugerem que as alterações observadas no final da estação chuvosa (março) em amostras de águas subterrâneas são semelhantes às amostras de águas pluviais e superficiais do início da estação chuvosa (novembro e dezembro), fechando o ciclo durante o período seco (julho, agosto e setembro) e reiniciando o ciclo durante a estação chuvosa.

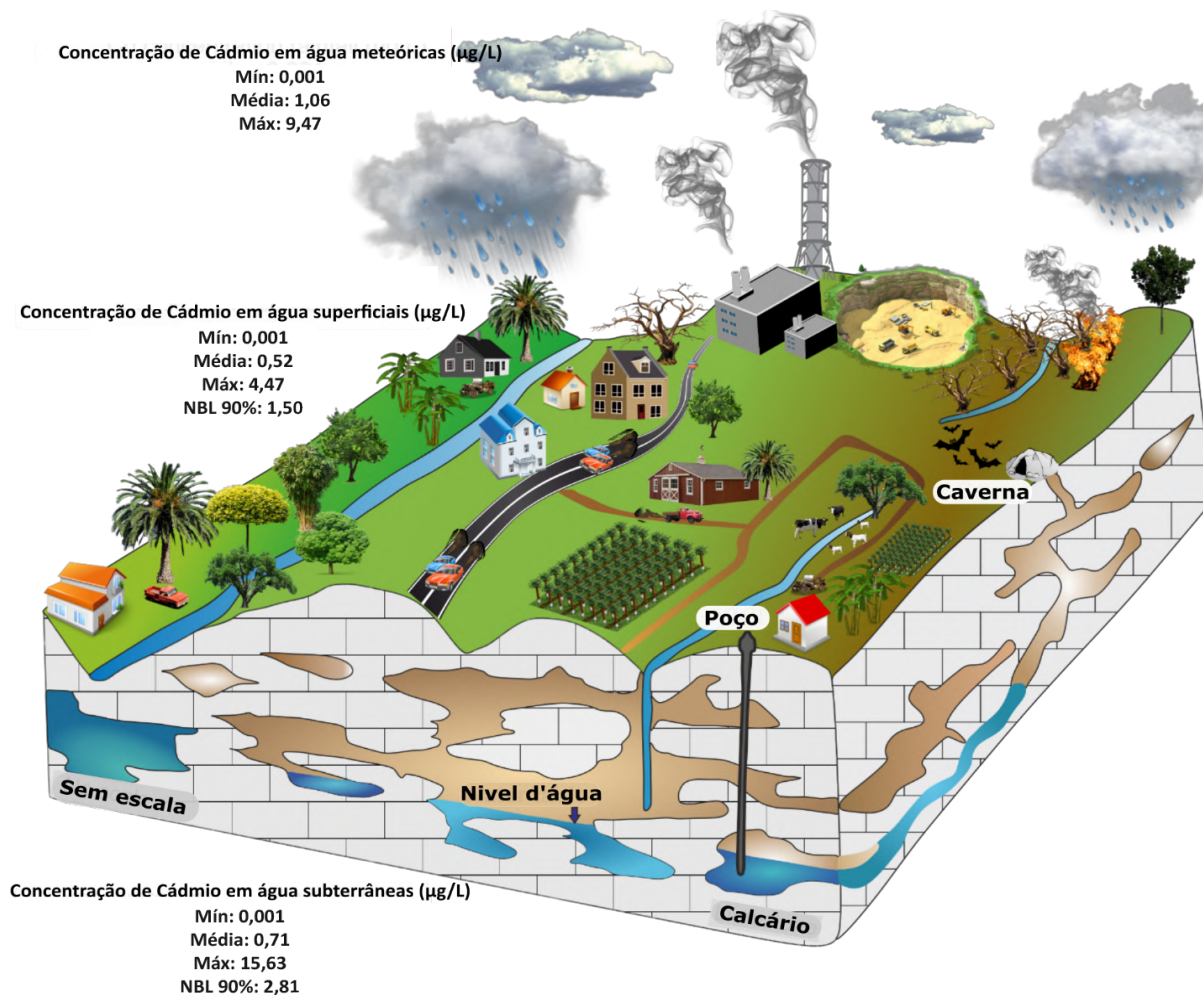


Figura 15 – Modelo conceitual representativo do ciclo do Cd com as anomalias por estação de amostragem.

7. CONCLUSÕES

O mapeamento hidroquímico se mostrou uma importante ferramenta para o conhecimento da região, proporcionando informações facilmente interpretáveis, contribuindo para a gestão ambiental da bacia, preservando os recursos naturais e garantindo a melhoria da qualidade de vida da população local.

Em geral, as águas superficiais da Bacia do Rio São Miguel não são indicadas para consumo humano direto, visto que alguns elementos (nitrato, alumínio, ferro, cádmio, manganês e turbidez) ultrapassam os limites legalmente estabelecidos. Logo, para o consumo, essas águas devem passar por tratamento prévio.

Os elementos que apresentam valores acima do limite legalmente estabelecido para as águas superficiais são preocupantes, ainda mais se tratando de uma região cárstica, onde a hidrodinâmica e

a percolação direta da zona vadosa para a zona freática dificultam a depuração natural dessas águas no meio subterrâneo, repassando rapidamente os contaminantes até as águas subterrâneas. Além disso, a precária compreensão dos mecanismos hidráulicos subterrâneos dificulta a remediação de contaminações nesse meio cárstico.

Para as águas subterrâneas, a utilização do NBL, em consórcio com os mapas hidroquímicos, mostrou ser uma ferramenta indispensável para ajudar a delimitar as áreas com maiores influências antropogênicas e geogênicas elucidando a origem, comportamento e a influência sazonal para os principais íons das águas. Quando aplicadas para análise de diferentes tipos de águas (meteóricas, superficiais e subterrâneas), ajudou a verificar a origem e o padrão de distribuição, mapeando o comportamento do elemento Cd em todo o ciclo hidrológico da região, verificando que o elemento está diretamente relacionado com a precipitação, contaminando posteriormente as águas superficiais e subterrâneas.

A partir da análise estrutural, geofísica e hidroquímica (elementos maiores e isótopos de ^{18}O e ^2H) verificou-se as direções preferenciais as quais condicionavam o adensamento da formação das cavidades e redes de fluxos subterrâneos. Com base nessa integração de dados, foi possível analisar todo o comportamento das águas associadas ao aquífero cárstico, identificando que os processos de carstificação se acentuam durante o período chuvoso, principalmente nos calcários do Membro Lagoa Santa, da Formação Sete Lagoas.

O comportamento conservativo do Mg^{2+} , em conjunto com as assinaturas isotópicas, ajudou a entender o tempo de residência das águas da bacia, elevando suas concentrações em direção ao gradiente hidráulico, ajudando a investigar cerca de 10 km de comunicações hidráulicas (Narigudo-São Miguel/Sócrates-Angolinhas), além de identificar que a água subterrânea da bacia é derivada da recarga direta de precipitação local, durante o período chuvoso, bem como as áreas com recarga moderna, como a região da caverna do Narigudo e poço do SAAE Sumidouro, importante fonte de abastecimento público, bem como a área de descarga, na foz da bacia.

REFERÊNCIAS

APAT-ISS. **Operational protocol for the determination of background values of metals and metalloids in the soils of contaminated sites**. 2006.

ARGENTINA. Subsecretaria de Recursos Hídricos da Argentina (SRH). **Levels of Water Quality Guide**, 2006. Disponível em: http://hidricos.obraspublicas.gov.ar/calidad_del_agua_actividades.htm. Acesso em: set. 2018.

ARW Jahresbericht. **45th annual report**. Düsseldorf, Arbeitsgemeinschaft Rhein-Wasserwerke e.V. 1988.

ASSUNÇÃO, Pedro Henrique da Silva. **Associação de traçadores corantes e método de favorabilidade de rota cárstica para caracterizar direções de condutos e variabilidade sazonal dos parâmetros do fluxo e transporte em sistemas cársticos na bacia do São Miguel**, Brasil. 2021. 101 f. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

BATIOT, C.; EMBLANCH, C.; BLAVOUX, B. Carbonete organique total et magnésium: deux traceurs complémentaires du temps de séjour dans l'aquifère karstique. **Académie des Sciences, éditions scientifiques**. Elsevier, p. 205-214. 2003.

BORGHETTI, C. A. **Influência da Indústria Calcinadora na Distribuição e na Concentração de Metais Pesados na Região de Córrego Fundo – Pains (MG)**. 2002. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 71 p. 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914 (2011). Dispõe sobre os procedimentos de controle e monitoramento da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Ministério da Saúde. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 39, Dez. 2011.

BRIDGE. **Background cRiteria for the Identification of Groundwater thresholds**. Research for Policy Support. 2006. CONAMA. **Resolução nº 357 (2005)**. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: ago. 2020.

CADAMURO, L. M. **Relatório de Avaliação Qualitativa de Interferências Físicas (Exploração de Água para Consumo Humano, Mineração, Irrigação) na Região da Área da Bacia do São Francisco**. IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis, Diretoria de Ecossistemas – Direc, Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas – Cecav, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – Pnud, 2007, 45 p. 2007.

CARVALHO, M. G. *et al.* Caracterização espeleológica do abismo do Narigudo. Pains – MG. *In*: RASTEIRO, M. A.; SALLUN FILHO, W. (org.). CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA 33. Eldorado. **Anais [...]** Campinas: SBE. 2015. p. 291-298, 2015.

CLARK, I.; FRITZ, P. **Environmental isotopes in hydrogeology**. CRC Press, New York. 1997.

COETSIERS, M. *et al.* Natural background levels and threshold values for groundwater in fluvial Pleistocene and Tertiary marine aquifers in Flanders, Belgium. **Environmental Geology**, v. 57, n. 5, p. 1155-1168, 2009.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. Disponível em: www.cbhsaofrancisco.org.br/bacia. Acesso em: ago. 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Valores orientadores para solo e água subterrânea no estado de São Paulo**. 2016. Disponível em: <http://sgw.com.br/cetesb-atualiza-lista-de-valores-orientadores-para-solo-e-aguas-subterraneas.html>. Acesso em: set. 2020.

CONAMA. **Resolução nº 396 (2008)**. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2008_396.pdf. Acesso em: ago. 2020.

CONSELHO CANADENSE DE MINISTROS DE RECURSOS E MEIO AMBIENTE. **Canadian Water Quality Guidelines**. Appendix XV: Protocols for Deriving Water Quality Guidelines for the Protection of Agricultural Water Uses (Oct. 1993), Ottawa: Task Force on Water Quality Guidelines. 1987.

COPAM / CERH-MG. Conselho Estadual de Política Ambiental / Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais. **Deliberação normativa conjunta Nº 01**. Dispõe sobre a classificação dos corpos

de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 2008.

DE CARO, M.; CROSTA, G. B.; FRATTINI, P. Hydrogeochemical characterization and Natural Background Levels in urbanized areas: Milan Metropolitan area (Northern Italy). **Journal of hydrology**, n. 547, p. 455-473, 2017.

DIAS-OLIVEIRA, L. *et al.* Mapeamento hidroquímico para cálcio e magnésio nas águas superficiais e subterrâneas da Bacia do Rio São Miguel, MG. XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA. **Anais [...]**. Búzios-RJ, 2017.

DIMITRIJEVIC, M. **Geology of Yugoslavia**. Belgrade: Geoinstitute, 1995.

FERRARI, J. A. *et al.* **Identificação e caracterização hidrológica da área de influência da gruta do Éden – Pains – MG**. São Paulo. 36 p. 2018.

FLUES, M.; HAMA, P.; FORNARO, A. Avaliação do nível da vulnerabilidade do solo devido à presença de termelétrica a carvão (Figueira, PR-Brasil). **Química Nova**, v. 26, n. 4, p. 479-483, 2003.

FREITAS, P. M. C. **Estudo de intercomunicação hidráulica superficial-subterrânea no carste da área periurbana de Pains/MG, utilizando-se traçador Rodamina WT**. 2009.

FRIBERG, L.; NORDBERG, G. F.; VOUK, V. B. **Handbook of the toxicology of metals**, v. 2. Amsterdam, Elsevier, p. 130-184, 1986.

FRITZSONS, E. *et al.* A influência das atividades mineradoras na alteração do pH e da alcalinidade em águas fluviais: o exemplo do Rio Capivari, região do carste paranaense. **Eng. Sanit. Ambient**, v. 14, n. 3, p. 381-390, 2009.

GALVÃO, P. *et al.* Geologic conceptual model of the municipality of Sete Lagoas (MG, Brazil) and the surroundings. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 88, n. 1, p. 35-53, 2016.

GALVÃO, P. *et al.* Recharge sources and hydrochemical evolution of an urban karst aquifer, Sete Lagoas, MG, Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 76, n. 4, p. 159. 2017.

GREENBERG, A. E.; CLESCERI, L. S.; EATON, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. In: Ed. American Public Health Association, 18, Washington, D.C. 1995.

HADDAD, E. A. **Influência antrópica na qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Rio São Miguel, carste do alto São Francisco, Minas Gerais**. 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 156p. 2007.

HADDAD, E. A.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Influência antrópica na qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Rio São Miguel, carste do alto São Francisco, Minas Gerais. **Geosul**, v. 25, n. 49, p. 79-102, 2010.

HINSBY, K.; CONDESSO DE MELO, M. T.; DAHL, M. European case studies supporting the derivation of natural background levels and groundwater threshold values for the protection of dependent ecosystems and human health. **Sci. Total Environ.**, n. 401, p. 1-20. 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normas Climatológicas**. Ministério da Agricultura, Brasília. Disponível em: <http://w.w.w.inmet.org.br/normais-climatologicas>. Acesso em: ago. 2020.

IRLANDA. **Statutory Instrument nº 272 of 2009**. European Communities Environmental Objectives (Surface Waters) Regulations. The Stationery Office, Dublin, Ireland, 2009.

IRLANDA. **Statutory Instrument nº 122 of 2014**. European Union (Drinking Water) Regulations. The Stationery Office, Dublin, Ireland, 2014.

ISPRA. **Protocol for the definition of basic values for inorganic substances in groundwater**. 2009. Disponível em: http://www.apat.gov.it/site/_files/Fondo_metalli_acque_sotterranee.pdf. Acesso em: set. 2020.

LALEHZARI, R.; TABATABAEI, S. H.; KHOLGHI, M. Simulation of nitrate transport and wastewater seepage in groundwater flow system. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 10, n. 6, p. 1367-1376, 2013.

LUCON, T. N. *et al.* Utilização do mapeamento hidroquímico para avaliação da qualidade das águas superficiais da Bacia do Rio São Miguel, Minas Gerais. **Geonomos**, v. 26, n. 1, p. 31-42, 2018a.

LUCON, T. N. *et al.* Natural background levels and seasonal influence on groundwater chemistry of the Upper São Francisco karst region, MG, Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 48, n. 4, p. 867-879, 2018b.

LUCON, T. N. **Comportamento hidrogeoquímico da região cárstica do Alto São Francisco (MG):** implicações associadas à sazonalidade e ciclo de contaminantes, áreas de recarga, descarga e comunicações hidráulicas. 2018c. Tese (Doutorado) – Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018c.

LUCON, T. N. *et al.* Cadmium behavior in a karst environment hydrological cycle. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-15, 2020a.

LUCON, T. N. *et al.* Recharge sources and hydraulic communication of karst aquifer, São Miguel watershed, MG, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 100, p. 102591, 2020b.

MARANDI, A.; KARRO, E. Natural background levels and threshold values of monitored parameters in the Cambrian-Vendian groundwater body, Estonia. **Environmental geology**, v. 54, n. 6, p. 1217-1225. 2008.

MARÍN, L. E. *et al.* Hydrogeology of a contaminated sole-source karst aquifer, Mérida, Yucatán, Mexico. **Geofísica internacional**, v. 49, n. 4, p. 359-365, 2000.

MARTINS, T. I. S. **Mapeamento Geomorfológico da Folha Piumhi, Minas Gerais**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, 2013. Disponível em: http://www.bdtu.ufu.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=4856. Acesso em: fev. 2018.

MENEGASSE, L. N.; GONÇALVES, J. M.; FANTINEL, L. M. Disponibilidades hídricas na Província Cárstica de Arcos-Pains-Doresópolis, Alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 16, n. 1, p. 1-19, 2002.

MENEGASSE, L. N.; GONÇALVES, J. M.; FANTINEL, L. M. Avaliação das disponibilidades hídricas da província cárstica de Arcos-Pains-Doresópolis, Alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, 18p. 2000.

MEYER, B. O. **Petrologia e Geocronologia das fácies carbonáticas da Formação Sete Lagoas em Pains (MG)**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 257p. 2018.

MINARDI, P. S. P.; BOMTEMPO, V. L. Traçadores e Técnicas isotópicas em Hidrologia Subterrânea: a experiência do CDTN/CNEN, Brasil. **Águas Subterrâneas**, 17p. 2000.

MONTERROSO, P. A. C. **Distribution and behavior of cadmium, lead, copper and zinc in the sediments and water column of the Aveiro River**. 2005. Dissertation of Chemistry department 219p. Aveiro University, Portugal, 2005.

MORAES, A. F. **Abordagem da Vulnerabilidade Química e Risco de Contaminação dos Solos por metais Pesados em área dos Municípios de Pains, Arcos e Córrego Fundo – MG, baseada nos Constituintes dos Solos Retentores dos Metais Pesados**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

MORAN, S. B.; YEATS, P. A.; BALLS, P. W. On the role of colloids in trace metal solid-solution partitioning in continental shelf waters: a comparison of model results and field data. **Continental Shelf Research**, v. 16, p. 397-408, 1996.

MOURÃO, M. A. A.; CRUZ, W. B.; GONÇALVES, R. L. F. Caracterização Hidrogeológica da Porção Mineira da Bacia Hidrográfica do São Francisco. In: PINTO, C. P.; MARTINS-NETO, M. A. (ed.). **Bacia do São Francisco Geologia e Recursos Naturais**. Belo Horizonte, SBG/MG, p. 327-350, 2001.

MUDRY, J. Apport du traçage physico-chimique naturel à la connaissance hydrocinématique des aquifères carbonates. **Mémoire**, n. 4. Univ. Besançon, 1987.

PEÑARANDA SALGADO, J. R. **Condicionamento estrutural e litológico da porosidade cárstica da formação Sete Lagoas, Município de Sete Lagoas (MG)**. 2016. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2016.

PEREIRA, D. L. *et al.* Adapting the EPIK method to Brazilian Hydro (geo) logical context of the São Miguel watershed to assess karstic aquifer vulnerability to contamination. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 90, p. 191-203, 2019.

PIRES, L. O. **Químioestratigrafia da Gruta do Éden, Pains (MG)**. Monografia apresentada no Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 161p, 2017.

PLAGNES, V. **Le transport de matière dans les aquifères karstiques**. In: 6TH CONF. ON LIMESTONE HYDROLOGY AND FISSURED MEDIA. La Chaux de Fond, Suisse 14-18/08/97, p. 179-183, 1997.

SCHENONE, N.; VOLPEDO, A. V.; CIRELLI, A. F. Trace metal contents in water and sediments in Samborombón Bay wetland, Argentina. **Wetlands ecology and management**, v. 15, n. 4, p. 303-310, 2007.

SILVA, R. B. G. D. **Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do aquífero Botucatu no Estado de São Paulo**. 1983. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 156p. 1983.

SUN, H. F. *et al.* Environmental contamination and health hazard of lead and cadmium around Chatian mercury mining deposit in western Hunan Province, China. **Trans. Nonferr. Metal Soc. China**, v. 20, p. 308-314, 2010.

TEDD, K. *et al.* Assessing and developing Natural Background Levels for chemical parameters in Irish groundwater (N. 183). **EPA Research Report**. 2017.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Water quality standards handbook**. USA: Government Institute, 2017.

VILLANUEVA, T. C. B. *et al.* Hydrochemical and hydrogeological characterization of the karst aquifer Salitre in the region of Irecê, Bahia. **Brazilian Journal of Water Resources**, v. 19, n. 4, p. 83-96, 2014.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality**, 4. ed. 2011. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/. Acesso em: set.2020.

WORTHINGTON, S. H. R. Hydraulic and geological factors influencing conduit flow depths. **Cave Karst Sci.**, v. 31, n. 3, p. 123-134, 2005.

XUE, H.; SIGG, L. Cadmium speciation and complexation by natural organic ligands in fresh water. **Analytica Chemical Acta**, v. 363, p. 249-259, 1998.

ŽÁKOVÁ, Z.; KOČKOVÁ, E. Biomonitoring and assessment of heavy metal contamination of streams and reservoirs in the Dyje/Thaya river basin, Czech Republic. **Water Science and Technology**, v. 39, n. 12, p. 225-232, 1999.

ZUBLENA, J. P.; COOK, M. G.; ST CLAIR, M. B. (ed.). **Pollutants in groundwater: health effects**. Soil facts (North Carolina Extension Service Publication No. AG-439-14) 2001. Acesso em: set. 2020.





CAPÍTULO 3

A VEGETAÇÃO DA REGIÃO CÂRSTICA DE PAINS

PABLO HENDRIGO ALVES DE MELO
MARCO OTÁVIO DIAS PIVARI

1. INTRODUÇÃO

A vegetação constitui a síntese da paisagem, o elemento natural mais frágil e dependente dos demais (AB'SABER, 2005), sendo resultado da ação de fatores ambientais sobre o conjunto interagente de espécies que coexistem em um espaço contínuo. Reflete o clima, a natureza do solo, a disponibilidade de água e nutrientes, bem como fatores antrópicos e bióticos. Por sua vez, a vegetação modifica alguns dos fatores ambientais, evoluindo paralelamente ao meio ambiente ao longo do tempo, apresentando mudanças rápidas nos estágios iniciais de desenvolvimento e mais lentas à medida que atinge um estado estável (MATTEUCCI; COLMA, 1982).

Catalogar a composição de espécies de uma região, mediante levantamento florístico; estimar a frequência e distribuição das espécies, o volume de madeira, a dinâmica de crescimento de uma floresta, utilizando metodologias para estudos de fitossociologia; conhecer a época de floração e frutificação, queda e rebrota de folhas, por meio de estudo de fenologia; determinar as condições ambientais necessárias para a germinação de sementes, por meio do estudo da fisiologia vegetal; ou ainda, estudar as frequências gênicas, genotípicas e fenotípicas nas populações de plantas e as forças capazes de alterá-las ao longo das gerações, mediante a genética de populações, é de fundamental importância para subsidiar pesquisas em diversas outras áreas correlatas, bem como para o conhecimento dos recursos naturais de uma região, uma vez que a vegetação é parte fundamental da paisagem e da cadeia trófica (MATTEUCCI; COLMA, 1982).

Rochas carbonáticas ocorrem em todos os domínios fitogeográficos do Brasil, e, em função da concentração de cavernas e afloramentos rochosos, foram delimitadas 14 regiões cársticas carbonáticas. O Grupo Bambuí, com área aproximada de 146.000 km², possui quase a metade do total de rochas carbonáticas no Brasil. Destaca-se pela qualidade, quantidade, espessura e conteúdo fossilífero dos depósitos sedimentares das cavernas; engloba não só uma grande quantidade de cavernas, como também as maiores encontradas em território brasileiro. O Grupo Bambuí abrange parte dos estados da Bahia, Goiás, Minas Gerais e Tocantins (AULER; RUBBIOLI; BRANDI, 2001; JANSEN; CAVALCANTI; LAMBLÉM, 2012; SALLUN FILHO; KARMANN, 2012).

A vegetação relacionada a afloramentos de rochas carbonáticas foi descrita em áreas de Minas Gerais ainda no século XIX (ESCHWEGE, 1883; SPIX; MARTIUS, 1828; WARMING, 1892), mas somente a partir do final da década de 1990, a composição e a estrutura da vegetação começaram a ser investigadas em território mineiro (APGAUA *et al.*, 2014; GONZAGA *et al.*, 2013; LOMBARDI; SALINO; TEMONI, 2005; MEGURO *et al.*, 2007; MELO, 2008; MELO *et al.*, 2013; MENINO *et al.*, 2015; PEDERSOLI; MARTINS, 1972; PEDRALLI, 1997; SANTOS *et al.*, 2007).

A região cárstica de Pains, assim como a de Lagoa Santa e a do Vale do Peruáçu, constitui importante região cárstica no Grupo Bambuí, no estado de Minas Gerais, com sítios espeleológicos (cavernas), paleontológicos (fósseis), arqueológicos (vestígios de modos de vida das diferentes sociedades humanas), botânico (espécies de plantas) e faunístico (espécies de animais) de grande relevância científica. Também é grande o potencial turístico/histórico da região cárstica de Pains, que apresenta as maiores concentrações de cavernas e de vias de escaladas em calcário no Brasil, além de fazendas e caminhos centenários, e culinária mineira tradicional, baseada em carne de porco e produtos de milho.

No início do século XIX, o alemão Barão von Eschwege, pai da geologia brasileira, registrou o estado natural da vegetação sobre as pedreiras e descreveu a exploração de salitre, matéria-prima utilizada na fabricação de pólvora, no município de Formiga, porção hoje correspondente ao município de Arcos, no local conhe-

cido atualmente como gruta da Cazanga, e, no passado, como Loca Grande. O naturalista descreveu com detalhes a referida caverna, a vegetação, os afloramentos rochosos e a operação na fábrica de salitre.

Em 1816, visitei as grutas calcárias da região de Formiga, na comarca do Rio das Mortes. Da estrada principal que, pelo campo, atravessando o Rio São Francisco, vai de Formiga a Bambuí, à esquerda da fazenda do alferes João Francisco, o caminho vai ter em uma mata espessa, que acompanha o Ribeirão da Mata e a Serra do Salitre. Essa serra de calcário, pouco alta, acompanha, a partir de Piumhi, a margem direita do Rio São Francisco, aproximadamente por 50 quilômetros em direção norte-sul. Após caminharmos cerca de 3 km dentro da mata, foi um espetáculo maravilhoso avistar uma longa fila de paredes rochosas exóticas, coroadas de cumes admiráveis. Uma vegetação deslumbrante, composta de grandes árvores, curtos arbustos e inúmeros cipós, crescia em rochedos justapostos e nas paredes de rochas fendilhadas. Aqui e ali se notam a profundidade das grutas, de onde são extraídas as terras salitrosas. Havia ainda, nos conglomerados das grutas, ossadas fósseis de animais, como o veado, também, espalhados pelo solo, ossos e crânios humanos, de infelizes assassinados ou talvez de selvagens que morreram de morte natural. As entradas das cavernas eram vistas em meio a uma vegetação luxuriosa, de onde ouviam os gritos de milhares de Psittacidae (família dos periquitos, maracanãs, papagaios), que haviam feito seus ninhos nas fendas dos rochedos. Essa agitação contrastava com a calma da preguiça-de-três-dedos (Bradypus Tridactylus Linnaeus, 1758), como que petrificada, procurava o seu alimento. Na base das pedreiras, serpenteavam as águas escuras, quase pardas, do Ribeirão do Salitre, que, ao longo dos rochedos, dirigem-se para o Ribeirão da Mata (atualmente Rio Candongas), que deságua no Rio São Miguel, que se lança no São Francisco. Às margens do Ribeirão do Salitre, laranjeiras carregadas de frutos dourados contrastam com as casinhas brancas da fábrica de salitre Boa Vista. Tudo isso constituía um espetáculo maravilhoso entre a cultura e a natureza selvagem. O lado oeste apresenta-se como uma encosta íngreme e longa, fendida em colunas e pirâmides, formando um pitoresco quadro de milhares de picos em forma de pirâmides, que, à semelhança de tubos de órgãos, se levantam uns sobre os outros. Padre Inácio Pamplona, dono de toda a circunvizinhança, cedeu a exploração das grutas ao alferes Capitão José Rodrigues, que há sete anos estabeleceu uma fábrica com instalações adequadas. Nas operações da fábrica, escravos, alguns alugados, extraíam as terras da caverna e transportavam em carrinhos de mão, depois de carros de boi até a fábrica, onde os pedaços duros de terra eram quebrados com o uso de macetes e então levadas as caixas de lavagem cavadas em grossos troncos. As águas de lavagem eram fervidas em caldeiras e depois juntadas a uma mistura alcalina, preparada com cinzas de madeiras mais rijas, como aroeira (Myracrodruon urundeuva M. Allemão) e novamente fervidas e então filtradas num vaso de madeira, onde o salitre cristalizava. Como esse processo ocorre antes da cristalização do cloreto de sódio, aproveitavam-se os restos de água-mãe para preparar um sal de cozinha impuro, utilizado na alimentação do gado. (ESCHWEGE, 1883, p. 191-194 com pequenas adaptações dos autores).

Em 1818, o médico naturalista Johann Emanuel Pohl, nascido na Bohemia, era componente da expedição científica organizada para acompanhar a comitiva da Arquiduquesa da Áustria, Maria Leopoldina, que casou-se com d. Pedro I, à época, príncipe português. Na estrada de Formiga a Bambuí, Pohl não visitou as grutas calcárias, porém, sua descrição da vegetação ciliar do Rio São Francisco em Porto Real, hoje município de Iguatama, é impressionante, tanto pela exuberância da floresta pretérita quanto pela sua drástica redução atualmente.

Em 31 de outubro, de 1818, alcançamos Formiga. Na parede da venda onde nos hospedamos, pendia a pele preparada de uma serpente de nove metros de comprimento por cinquenta centímetros de largura, chamada de sucuri, coberta de escamas de meia polegada, e escudos negros. Pouco mais de 26 quilômetros depois de Formiga, fomos bem e hospedamos na fazenda João Francisco, onde fomos fartamente abastecidos e alimentados. Pelos tristes campos que atravessamos, viam-se, de ambos os lados, matas de altos troncos, que se estendem por mais de vinte seis quilômetros, até o Rio São Miguel. A falta de boa água potável foi extraordinária nos dois últimos dias. Sobre uma ponte de madeira, atravessamos esse rio, no cair da noite, nos hospedamos no paiol de Dona Bernarda, que ficava apenas meia hora da Guarda do Rio São Francisco. Esse rio nasce na Serra Canastra e vai se avolumando até se tornar, pouco a pouco, um dos maiores rios do Brasil. Tão perto de suas cabeceiras, já tem com alguma profundidade e 130 metros de largura, depois volta-se para o oeste e banha uma localidade com seis choupanas. O capitão da Guarda deu-me inúmeras provas de delicadeza. Atravessamos o rio em uma balsa composta de três canoas com um corrimão, atada a um cabo feito de folhas de palmeiras (que ficava, onde atualmente é o final da rua seis, nas proximidades das ruínas do antigo matadouro, informação fornecida pelo senhor Olinto José de Oliveira Neto). Na outra margem, penetramos em um corte de mata (provavelmente até as proximidades da atual fábrica da White Martins), cujas grossas árvores, de formas para mim desconhecidas, eram entrelaçadas por cipós da grossura de um braço, frequentemente contorcidos, muitas vezes esburacados, que desciam de 40-45 metros de altura, até tocarem o solo, e constituíam uma malha impenetrável aos raios solares, que, como cordoalha de navio, se moviam ao mais leve impulso. Essa imagem marcou poderosamente meu espírito e, com temeroso respeito, atravessei essa abóboda de selva. Quando acabamos de atravessá-la, avançamos uma planície interrompida aqui e ali por colunas relvasas. (POHL, 1976, p. 92 e 93 com pequenas adaptações dos autores).

Na primeira metade do século XX, Barbosa (1961) e Mello-Barreto (1942) destacaram a região cárstica de Pains, também conhecida como “Mata de Pains”, pela presença de matas pujantes relacionadas aos terrenos calcários. No início deste século, estudos intensivos de levantamento florístico ocorreram na região (GONZAGA *et al.*, 2013; MELO, 2008; MELO *et al.*, 2013). Notadamente, na porção leste da região cárstica de Pains, perfazendo áreas da nascente à foz do Rio São Miguel, foi catalogada a maior riqueza de espécies de angiospermas (plantas com flores) registrada sobre afloramentos calcários no Brasil (MELO *et al.*, 2013). A flora encontrada na região cárstica de Pains apresenta influências, em ordem de importância, dos domínios fitogeográficos da Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga. Foram registradas 456 espécies de angiospermas, distribuídas em 299 gêneros e 77 famílias. Há uma expressiva contribuição de espécies herbáceas na composição florística da região, com 161 espécies, seguidas dos hábitos arbustivo e arbóreo (111 espécies cada) e trepadeiras (73 espécies). Erva é um vegetal pouco desenvolvido, de pequena consistência, em virtude da pouca ou nenhuma lenhificação; arbusto (incluindo subarbustos) é um vegetal de tamanho inferior a cinco metros, lenhoso inferiormente e tenro e ou suculento superiormente, sem um tronco predominante, pois se ramifica quase sempre a partir da base; árvore é um vegetal de grande porte, com altura superior a cinco metros, despido de ramos na parte inferior e cuja parte ramificada constitui a copa; trepadeira é uma planta que escala os corpos vizinhos, seja por meio da haste a que se enrolam (como o feijão), seja por meio de órgãos especiais de fixação (gavinhas), podendo atingir muitos metros de comprimento (VIDAL, M. R. R.; VIDAL, W. N., 2000).

Na região cárstica de Pains, as famílias com maior número de espécies foram: Fabaceae (37), Orchidaceae (28), Asteraceae (25), Poaceae e Malvaceae (24), Euphorbiaceae (23), Piperaceae (19), Apocynaceae, Bromeliaceae e Rubiaceae (14 cada), Solanaceae (13), Bignoniaceae (11) e Meliaceae (10). O levantamento

florístico catalogou espécies de plantas com flores de variados hábitos, nas distintas fitofisionomias relacionadas ao relevo cárstico, bem como seus diferentes micro-habitats, durante três anos, por meio de expedições mensais para coleta de material botânico fértil (amostras de ramas com folhas, flores e/ou frutos). As amostras foram herborizadas, processo de desidratar e costurar os ramos em folhas de papel-cartão de tamanho padrão, e compor etiqueta com informações sobre o espécime coletado, ambiente, data, local de coleta e coletor, constituindo as exsicatas. Posteriormente, as exsicatas foram depositadas no Herbário do Departamento de Botânica do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais (BHCB), onde foram identificadas com o auxílio da literatura e botânicos especialistas.

A porção noroeste da região cárstica de Pains, correspondente à calha do Rio São Francisco e à Bacia do Ribeirão dos Patos, mais próximo da Serra de Piumhi e da Serra da Canastra, e com alta concentração de lagoas cársticas, sumidouros e ressurgências, onde se localiza a Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN Luís Beethoven Piló (ver Capítulo 10), apresenta composição florística ainda pouco documentada em coleções científicas. Contudo, mesmo com pesquisas intensivas na Bacia do Rio São Miguel, uma espécie de gesneriácea, da mesma família botânica das violetas, *Sinningia conspicua* (Seem.) G. Nicholson (Figura 1, esquerda), relacionada às Florestas Ombrófilas, do domínio da Mata Atlântica do sul do país, foi registrada, até o momento, somente em afloramentos calcários às margens do Rio São Francisco, município de Doreópolis, sugerindo que podem haver peculiaridades regionais na composição de espécies da flora. Neste capítulo, iremos apresentar um breve panorama sobre a exuberante vegetação na região cárstica de Pains, que se destaca na paisagem do cerrado mineiro, nas cabeceiras do Rio São Francisco.



Figura 1 – *Sinningia conspicua* (Seem.) G. Nicholson (Gesneriaceae), erva, saxícola sobre afloramentos calcários às margens do Rio São Francisco, município de Doreópolis (à esquerda); *Cattleya bicolor* Lindl. (Orchidaceae), orquídea, típica das pedreiras calcárias da região (à direita). Fotos: Pablo Hendrigo.

2. A VEGETAÇÃO NA REGIÃO CÁRSTICA DE PAINS

A região cárstica de Pains está localizada no domínio do Cerrado, correspondendo aos limites mais interiores da Mata Atlântica (IBGE, 2004). Segundo o sistema de classificação de Köppen, o clima regional é do tipo Cwa, ou seja, um clima subtropical com inverno seco e ameno, e verão úmido e quente (ALVARES *et al.*, 2013). Apresenta duas estações bem marcadas, uma seca, que se estende de maio a agosto, e outra chuvosa, de setembro a abril (NIMER, 1989). O clima da região é mais ameno que em áreas de Cerrado no

Brasil Central, aproximando-se do clima das áreas ao sul desse domínio. A temperatura média anual é de cerca de 20°C, com média mínima no mês mais frio de 12°C e média máxima no mês mais quente de 30°C, sendo a precipitação média anual de cerca de 1.500 mm (NIMER, 1989).

O Cerrado, no seu sentido amplo, compreende diversas formações vegetais. Campos limpos, campos sujos, carrascos, campo cerrado, cerrado senso estrito, cerradão, campos rupestres, buritizeiros, florestas estacionais, mata ciliar e mata de galeria são denominações diferentes de ambientes distintos dentro do domínio do Cerrado, limitado pela sazonalidade climática e a não incidência de geadas frequentes. A literatura é rica em teorias que tentam explicar a origem das formações savânicas e campestres do Cerrado. De maneira geral (RIBEIRO; WALTER, 1998), sintetizaram três grupos de teorias: 1 - teorias climáticas, pelas quais a vegetação seria o resultado do clima, especialmente em função da falta de água no período seco; 2 - teorias bióticas, nas quais a vegetação seria o resultado de ação do homem, principalmente pelo uso frequente do fogo; ou ainda resultante da atividade de outros agentes da biota como as formigas; e 3 - teorias pedológicas, em que a vegetação seria dependente de características do solo e das rochas, como saturação por alumínio, deficiências minerais, diferenças de profundidade dos solos e drenagem. Ao longo do tempo geológico, as chuvas lixiviaram os solos no Cerrado, deixando-os pobres em nutrientes essenciais, e com alta disponibilidade de alumínio. Na região cárstica de Pains, o Cerrado, no seu senso estrito, ocorre relacionado aos solos com baixa fertilidade e altos teores de alumínio.

Sobre o mesmo clima regional, fatores de exceção local, de ordem litológica (rochas), hidrológica (água), topográfica (relevo) e paleobotânica (histórico de vegetais fósseis) permitem a existência de “ilhas” de vegetação em diferentes domínios fitogeográficos (AB’SÁBER, 2005). A ocorrência de rochas carbonáticas delimita um tipo particular de relevo, o carste, o qual, pela geomorfologia e hidrologia específica, difere das paisagens dominantes, singularmente no domínio do Cerrado (MELO *et al.*, 2013).



Figura 2 – Cobertura vegetal relacionada aos maciços calcários na região cárstica de Pains. Mosaico fitofisionômico composto por Formação Aberta do Carste, no topo dos afloramentos de calcário, cercada por formações florestais (floresta estacional decidual e floresta estacional semidecidual), pastagem artificial e mata ciliar conectando os fragmentos e lagoas. Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN Luís Beethoven Piló. Foto: Allan Calux.

Na região cárstica de Pains, a cobertura vegetal relacionada ao relevo cárstico se distingue do Cerrado senso estrito e cerradão, que ocorrem na circunvizinhança regional, tanto pela composição de espécies, quanto pelo aspecto fisionômico. A paisagem cárstica, composta por mosaico fitofisionômico, é caracterizada pela cobertura vegetal formada por um conjunto de diferentes tipos de vegetação, apresentando formações florestais, formação aberta e vegetação aquática (IBGE, 2012; MELO *et al.*, 2013; WARMING, 1892), (Figura 2).

De modo geral, em regiões cársticas sob clima sazonal bem definido, como na região cárstica de Pains, observam-se, sobre os maciços calcários, formações florestais decíduas e/ou semidecíduas, relacionadas aos locais do relevo com presença do epicarste, ou seja, locais onde haja solo recobrimdo a rocha ou preenchendo seus interstícios. São elas: a floresta estacional semidecidual, em feições negativas, na base dos paredões rochosos, ou em poljés sob bolsões de solo profundo, e floresta estacional decidual, sob formas positivas, em locais com solo raso, ou com solo preenchendo os interstícios da rocha (MELO *et al.*, 2013). Os solos originados em ambientes com afloramentos de calcário são geralmente férteis, com estado nutricional alto a moderado, devido às propriedades básicas da rocha, diferente dos solos sob os quais ocorre o Cerrado senso estrito, em geral pobres em nutrientes e com altos teores de alumínio (OLIVEIRA FILHO; RATTER, 1995; PRADO; GIBBS, 1993). A formação aberta do carste ocorre sob formas positivas, nas partes onde nenhum solo cobre ou preenche interstícios da rocha calcária (MELO *et al.*, 2013). A vegetação aquática refere-se a espécies hidrófitas estabelecidas ao longo de corpos de água com correnteza e em ambientes aquáticos sem correnteza, como, por exemplo, dolinas alagadas sazonal ou permanentemente (PIVARI *et al.*, 2011).

Dependendo das condições, a vegetação pode ocupar os três compartimentos do carste. No meio subterrâneo (endocarste), crescem raízes de árvores que buscam por água no interior de cavernas. No solo, sobre as rochas (epicarste), estão enterradas raízes, ou os órgãos de resistência, como tubérculos e bulbos, da maioria das plantas que habitam os afloramentos de calcário. Há ainda, aquelas plantas rupícolas que crescem diretamente sobre afloramentos rochosos, colonizando a superfície exposta do carste (exocarste) em seu ambiente mais extremo. Também há as plantas epífitas, hábito de muitas espécies de orquídeas, bromélias e peperômias, não sendo plantas parasitas, crescem sobre outras plantas, as quais servem apenas como suporte para acesso à luz no dossel da floresta.

Espécies com flores de grande beleza, como a orquídea *Cattleya bicolor* Lindl. (Orchidaceae) (Figura 1, direita) e a gesneriácea *Sinningia warmingii* (Hiern) Chautems (Gesneriaceae) (Figura 3, direita), enfeitam as partes mais iluminadas do carste, se fixando em pequenas fendas da rocha, onde acumula matéria orgânica. No outro extremo, nas partes sombreadas, crescem piperáceas, como *Peperomia gardneriana* Miq. (Piperaceae), (Figura 3, à esquerda), que, com suas minúsculas flores, desprovidas de sépalas e pétalas, vegetam somente durante a estação chuvosa, pois na estação seca, após a floração, a folhagem morre e os tubérculos ficam entrados no solo, ou entre fendas nas rochas, para suportar o longo período de seca, para rebrotar com o retorno das chuvas, representando um típico exemplo de planta geófita que habita o carste. A vegetação sobre o carste traduz a intensidade e o ritmo sazonal do clima na região cárstica de Pains. No domínio do Cerrado, a sazonalidade climática é marcada pela perda total ou parcial de folhas da vegetação na estação seca (RATTER; RIBEIRO; BRIDGEWATER, 1997), e produção de novas folhas e aceleração dos processos metabólicos na estação chuvosa. Essa alternância é comandada pela disponibilidade hídrica.



Figura 3 – *Peperomia gardneriana* Miq. (Piperaceae), erva, geófita, vegeta somente durante a estação chuvosa; na estação seca, após a floração, a folhagem morre e o tubérculo pode suportar longos períodos de seca (esquerda); *Sinningia warmingii* (Hiern) Chautems (Gesneriaceae) (direita). Fotos: Pablo Hendrigo.

Um exemplo fascinante de adaptação de uma planta geófita ao relevo e ao clima na região cárstica de Pains é o da pequena *Chautemsia calcicola* A.O.Araújo & V.C.Souza (Gesneriaceae), (Figura 4, esquerda), com menos de 10 centímetros de altura, e com distribuição restrita à Bacia do Rio São Miguel, é uma planta endêmica, ou seja, que existe apenas nesta porção territorial do planeta Terra. Foi descoberta em 2003 e em 2005 foi necessário descrever um novo gênero botânico, dentro da família das gesneriáceas, a mesma das violetas, para classificar a nova espécie (ARAÚJO; SOUZA; PERRET, 2010). A pequenina *C. calcicola* possui hábitos extremamente especializados, cresce na base dos paredões de rocha calcária, associada aos locais com gotejamento de água e consequente acúmulo de calcita (o mesmo mineral que forma as estalactites no interior das cavernas), (Figura 4, direita). Possui flores tubulares brancas, amarela na parte interna inferior, com menos de dois centímetros de comprimento, provavelmente polinizadas por abelhas. Seu fruto é uma cápsula que se abre lateralmente e, à medida que amadurece, a abertura gira para cima. Esse tipo de fruto, em gesneriáceas, está provavelmente associado a um mecanismo de dispersão de respingos de chuva: quando as sementes são expostas, elas são levadas pelas gotas de água para longe da planta-mãe. Tendo em vista a ocorrência da nova espécie em rochas gotejantes, esse tipo de estratégia de dispersão parece bastante apropriado. Essa planta só está visível na natureza nos meses chuvosos. O pico da floração foi observado em janeiro e os exemplares frutíferos foram encontrados em fevereiro e março, coincidindo com a estação chuvosa. Durante a estação seca, de maio a setembro, as plantas ficam dormentes e reduzidas a rizomas escamosos escondidos nas fendas das rochas.

Ambientes xéricos (secos) e úmidos coexistem na paisagem cárstica em função da circulação/retenção de água que, por sua vez, está condicionada à sazonalidade climática (período de seca e chuvas), ao arranjo das formas locais do relevo e à presença do epicarste. No domínio das formas exocársticas prevalecem as feições negativas, como poljés, uvalas e dolinas, em contraposição às formas positivas, como torres e maciços residuais muitas vezes marcados por lapiás (PILÓ, 2000).

As formas negativas são locais de captação de água na superfície e rápido abastecimento do lençol freático, por isso, são relativamente mais úmidas. Sob o clima sazonal, feições negativas sustentam trechos de floresta estacional semidecidual, que também podem ocorrer na base dos paredões rochosos ou em grandes poljés, sob bolsões de solo profundo. As feições positivas constituem locais dissecados pelo rápido escoamento da água, como nos campos de lapiás. Onde nenhum solo cobre ou preenche interstícios da rocha, ocorre uma fitofisionomia aberta, saxícola-rupícola, conhecida como formação aberta do carste. Em locais com solo, mesmo que somente entre os interstícios da rocha, ocorre a floresta estacional decidual.

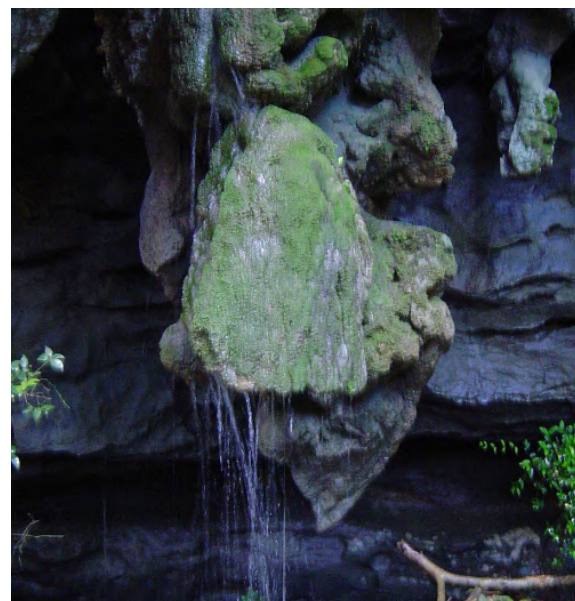


Figura 4 – *Chautemsia calcicola* A.O.Araujo & V.C.Souza (Gesneriaceae), erva, geófita, endêmica da região cárstica de Pains (esquerda); local com gotejamento de água na base dos paredões de rocha calcária (direita). Fotos: Pablo Hendrigo.

2.1 FORMAÇÃO ABERTA DO CARSTE

A formação aberta do carste (Figura 5) é uma fisionomia vegetal fortemente determinada por características climáticas e geomorfológicas. Ocorre sobre o carste descoberto, com extensos campos de lapiés, lajes e cascalho, em partes onde nenhum solo cobre ou preenche interstícios de rocha (MELO *et al.*, 2013). Essa vegetação aberta, saxícola-rupícola, é restrita aos afloramentos de rocha carbonática sob clima sazonal. A formação aberta do carste difere dos campos rupestres, no sentido amplo (SILVEIRA *et al.*, 2016), uma vez que os últimos representam um mosaico de vegetação arbustiva-gramínea de montanha, propensa ao fogo, que ocorre sobre afloramentos rochosos de quartzito, arenito ou ferro, juntamente com pastagens arenosas, pedregosas e inundadas.

Na região cárstica de Pains, o famoso cacto mandacaru, *Cereus jamacaru* subsp. *calcirupicola* (F.Ritter) N.P.Taylor & Zappi, e ervas raras e pouco conhecidas, como *Gardnerina angustata* (Gardner) R.M.King & H.Rob. (Figura 6, esquerda), da mesma família botânica da margarida e do girassol (Asteraceae), e *Encholirium luxur* L.B.Sm. & R.W.Read, da família do abacaxi (Bromeliaceae), são típicos de locais com alta luminosidade sobre os afloramentos calcários, porém, algumas populações dessas espécies são encontradas no sub-bosque de floresta decídua exuberante, o mandacaru e o *Encholirium*, sempre sobre rochas. *G. angustata* é uma erva terófito, ou seja, com o ciclo de vida anual, que sobrevive à longa estação seca sob a forma de sementes enterradas em microbolsões de solo. Já *Encholirium*, é uma erva perene, e devido ao crescimento clonal, resultante da propagação vegetativa, pode expandir suas touceiras “caminhando” sobre a rocha exposta.

Entre os arbustos, há aqueles da mesma família botânica do tomate, juá e fruta-de-lobo (Solanaceae), *Solanum oocarpum* Sendtn. e da trepadeira, *Solandra grandiflora* Sw. (Figura 6, direita). Da mesma família, *Dyssochroa viridiflora* (Sims) Miers. apresenta hábito hemiepifítico, flores de cor verde, pêndulas, com antese (abertura das flores) noturna e polinizadas pela espécie de morcego *Anoura caudifer* (É. Geoffroy, 1818) (Phyllostomidae). Para que as flores *D. viridiflora* se desenvolvam em frutos, é necessário que ocorra a polinização cruzada, quando o morcego leva o pólen das anteras da flor para fecundar o estigma da

flor de outra planta. Os frutos maduros são consumidos por duas outras espécies de morcegos, *Carollia perspicillata* (Linnaeus, 1758) (Phyllostomidae) e *Sturnira lilium* (É. Geoffroy, 1810) (Phyllostomidae), ambas atuando como dispersores de sementes (VERÇOZA *et al.*, 2012)



Figura 5 – Formação aberta do carste com populações de *Encholirium luxur* L.B.Sm. & R.W.Read, (Bromeliaceae). RPPN Luís Beethoven Piló. Foto: Ataliba Coelho.

Árvores rupícolas, como embiruçu (*Pseudobombax* sp., Malvaceae), gameleira (*Ficus obtusifolia* (Miq.) Miq, Moraceae) e paineira (*Ceiba pubiflora* (A. St.-Hil.) K. Schum., Malvaceae), dependem da presença de fraturas médias e grandes ou de espaços entre grandes rochas soltas, que fornecem acesso ao epicarte ou cavernas onde a água está disponível por mais tempo.



Figura 6 – *Gardnerina angustata* (Gardner) R.M.King & H.Rob. (Asteraceae), erva anual, restrita aos afloramentos de calcário no domínio do Cerrado (esquerda); *Hemistylus brasiliensis* Wedd. Ex Warm. (Urticaceae), arbusto decíduo, restrito aos afloramentos de calcário no domínio do Cerrado (centro); *Solandra grandiflora* Sw. (Solanaceae) (direita). Fotos: Pablo Hendrigo.

2.2 FORMAÇÕES FLORESTAIS

Florestas são áreas com predominância de espécies arbóreas, onde há formação de dossel, contínuo ou descontínuo (RIBEIRO; WALTER, 1998). No domínio do Cerrado, pode-se considerar a existência de florestas associadas aos cursos de água, geralmente em solos mais úmidos, e florestas associadas a solos mais ricos, muitas vezes, em locais com solos originários de rochas carbonáticas (OLIVEIRA FILHO; RATTER, 1995; PRADO; GIBBS, 1993). Na região cárstica de Pains, os relatos dos naturalistas ESCHWEGE (1833) e POHL (1976) testemunham expressiva vegetação florestal original, que ocupava toda a Bacia Hidrográfica do Rio São Miguel e provavelmente se estendia sobre a Bacia do Ribeirão dos Patos, conectando com uma exuberante mata ciliar que margeava o Rio São Francisco.

2.2.1 A floresta estacional semidecidual



Figura 7 – Maciço calcário coberto por mosaico fitofisionômico composto por floresta estacional semidecidual, no topo do afloramento, sob bolsão de solo profundo, e floresta estacional decidual, nas encostas do afloramento. No primeiro plano, várzea ocupada por pastagem artificial no período seco, em agosto (acima), e inundada no final do período chuvoso, em março (abaixo), e mata ciliar do Rio São Miguel, Fazenda Faroeste, entre Arcos e Iguatama. Fotos: Pablo Hendrigo.

A floresta estacional semidecidual (Figura 7) é um tipo de mata que, na estação seca, a percentagem das árvores que perdem as folhas (caducifólias), no conjunto florestal, situa-se entre 20% e 50% (IBGE, 2012). Espécies arbóreas, como açoita-cavalo (*Luehea paniculata* Mart., Malvaceae), catiguá-vermelho (*Trichilia claussenii* C.DC., Meliaceae), bálsamo (*Myroxylon peruiferum* L.f., Fabaceae) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L., Fabaceae), são comuns nessas matas. No sub-bosque, embaixo das árvores, encontram-se diversas espécies de ervas, como carapiá (*Dorstenia caatingae* R.M.Castro, *Dorstenia cayapia* Vell. e *Dorstenia vitifolia* Gardner, Moraceae), begônia (*Begonia reniformis* Dryand., Begoniaceae), antúrios (*Anthurium* spp., Araceae), costela-de-adão (*Philodendron bipinnatifidum* Schott, Araceae) e opuntia (*Brasilopuntia brasiliensis* (Willd.) A.Berger, Cactaceae). Entre os arbustos, ocorrem muitas espécies dos gêneros *Piper* (Piperaceae) e *Psychotria*. Trechos de floresta estacional semidecidual ocorrem, atualmente, na base dos paredões rochosos da região cárstica de Pains, provavelmente, há poucos séculos, se estendiam sobre poljês e locais hoje ocupados por atividades agrícolas e de silvicultura.

2.2.2. A Floresta Estacional Decidual



Figura 8 – Floresta Estacional Decidual no período seco (agosto). A dominância de aroeira *Myracrodruon urundeuva* M. Allemão (Anacardiaceae) e angico *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (Fabaceae). Morro do Marruá, estrada Pains-Arcos. Foto: Pablo Hendrigo.

Na floresta estacional decidual (Figura 8), também conhecida como “mata seca”, mais de 50% das árvores ficam despidas de folhagem na estação seca (IBGE, 2012). Eventualmente, dependendo da severidade da estação seca e da quantidade de água armazenada no solo, quase todas as árvores dessa floresta podem perder suas folhas. Na região cárstica de Pains, esse tipo florestal ocorre em locais com solo raso, ou com solo preenchendo os interstícios da rocha. São exemplos de espécies de árvores em floresta estacional decidual, cedro (*Cedrela fissilis* Vell, Meliaceae) e cedro-vermelho ou de cheiro (*Cedrela odorata* L, Meliaceae), mutamba (*Guazuma ulmifolia* Lam., Malvaceae), catiguá (*Trichilia catiguá* A.Juss., Meliaceae), moreira (*Maclura tinctoria* (L.) D.Don ex Steud., Moraceae), pau-de-formiga (*Triplaris gardneriana* Wedd., Polygonaceae), guatambus e perobas (*Aspidosperma parvifolium*

A.DC., *Aspidosperma cylindrocarpon* Müll.Arg. e *Aspidosperma polyneuron* Müll.Arg., Apocynaceae) e violeta (*Machaerium scleroxylon* Tul., Fabaceae). A frequência e composição de ervas variam conforme a disponibilidade e variedade de microambientes (WARMING, 1892). Entre os arbustos, destaca-se a pitanga-das-pedreiras (*Eugenia lagoensis* Kiaersk), da mesma família botânica da goiaba (Myrtaceae) e do mesmo gênero da pitanga (*Eugenia uniflora* L.), conhecida pelos antigos moradores da região por atrair pacas, (*Agouti paca* Linnaeus, 1766) para o alto das pedreiras, na época seca, para comer os frutos. Há ainda a desagradável urtiga (*Urtica baccifera* (L.) Gaudich. ex Wedd., Urticaceae) e seu primo raro e não urticante, *Hemistylus* (*Hemistylus brasiliensis* Wedd. Ex Warm., Urticaceae), (Figura 6, centro), ambos ocorrem na formação aberta do carste.

A dominância de determinadas espécies arbóreas, como aroeira (*Myracrodruon urundeuva* M. Allemão, Anacardiaceae) e angico (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, Fabaceae), em trechos da floresta estacional decidual, pode revelar o histórico de uso do solo, bem como características do relevo e intensas interações ecológicas entre as espécies vegetais (Figura 8). Aroeira e angico são espécies pioneiras, apresentam capacidade de germinar em condições de maior incidência de luz do tipo vermelho, predominante em áreas abertas após o corte da vegetação original. Além disso, as folhas dessas árvores possuem propriedades alelopáticas, que impedem a germinação e/ou desenvolvimento de outras plantas na serrapilheira. Assim, dominam a regeneração natural na região cárstica de Pains: a aroeira, em preferencialmente locais de solo profundo, e os angicos, em locais com afloramento rochoso.

2.2.3. A Mata Ciliar

As matas ciliares (Figura 7) são formações florestais que acompanham os cursos de água, lagos e represas, temporários ou perenes. O nome “mata ciliar” faz alusão à proteção de rios e lagos, como são os cílios para nossos olhos. Na região cárstica de Pains, acompanham o Rio São Francisco, que compreende o nível de base regional, o Rio São Miguel e o Ribeirão dos Patos, e seus afluentes, como o Córrego do Barreado. Essa fisionomia é perenifólia, não apresentando queda das folhas evidente durante a estação seca. Espécies arbóreas, como Ingá (*Inga marginata* Willd., Fabaceae) e sangra d’água (*Croton urucurana* Baill., Euphorbiaceae) são frequentes. É comum haver grande número de espécies epífitas em quantidade superior à que ocorre nas demais formações florestais do Cerrado. O sub-bosque é composto por arbustos perenifólios, as trepadeiras são abundantes nas bordas das matas ciliares (REZENDE, 1998).

Na região cárstica de Pains, as matas ciliares desempenham um papel importante no ambiente, pois funcionam como um filtro, uma barreira física, regulando os processos de troca entre os sistemas terrestre e aquático, desenvolvendo condições de infiltração. A presença de mata ciliar reduz significativamente a possibilidade de contaminação dos cursos de água por sedimentos, resíduos de adubos, defensivos agrícolas, conduzidos pelo escoamento superficial da água no terreno. Matas ciliares são reservatórios genéticos de espécies florestais no Cerrado e funcionam como corredores entre unidades de conservação (REZENDE, 1998), uma vez que os cursos de água são de fundamental importância para a manutenção da fauna de mamíferos no domínio do Cerrado, no qual a maioria das espécies é dependente de ambiente florestal.

2.3 VEGETAÇÃO AQUÁTICA

A RPPN Luís Beethoven Piló está localizada em uma região com um conjunto de lagoas cársticas denominado Lagoa dos Martins, além do importante curso de água local, o córrego do Barreado. Tal paisagem desenvolve-se na Depressão Cárstica do Ribeirão dos Patos (MARTINS, 2013), sobre as rochas carbonáticas, e apresenta o exocarste caracterizado por dolinas, uvalas, sumidouros, ressurgências, lapiás, além de um expressivo fluxo hídrico subterrâneo perene.

A fitofisionomia designada como vegetação aquática (Figura 9), considerando-se a região cárstica onde está localizada a Bacia do Córrego do Barreado, refere-se àquela inserida em ambientes aquáticos lênticos (sem correnteza), desenvolvidos, sobretudo, em dolinas ou surgências, as quais podem ser alagadas sazonal ou permanentemente. Além desse componente, as espécies vegetais aquáticas estabelecidas ao longo de corpos-d'água lóticos (com correnteza) contribuem para a composição florística da vegetação aquática regional. Devido a peculiaridades intrínsecas ao carste, tais ambientes apresentam variações quanto à permanência do alagamento, dada pela geomorfologia local, capacidade de retenção de água pelo solo, contato com o lençol freático, além de especificidades, tais como a presença de sumidouros. Tais características refletem nos padrões de ocupação da vegetação aquática, formas biológicas, composição de espécies e sucessão dessa vegetação.



Figura 9 – Lagoa com diferentes representantes de plantas aquáticas, incluindo flutuantes livres, como *Salvinia auriculata* Aubl. (Salviniaceae); emergentes, como *Polygonum acuminatum* Kunth (Polygonaceae); e *Typha domingensis* Pers. (Typhaceae), formando um semicírculo na lagoa. Proximidades da Vila Costina. Foto: Allan Calux.

Nesse contexto cárstico, as espécies de plantas aquáticas se distribuem, principalmente, em locais correspondentes a regiões litorâneas bem desenvolvidas, isto é, regiões alagadas com até cerca de três metros de profundidade, assim como é observado para ambientes aquáticos variados ao redor do mundo (THOMAZ; BINI, 2003). Tais plantas aquáticas se referem a diferentes grupos botânicos, incluindo algas (de água

doce), briófitas, samambaias e licófitas, além de angiospermas (plantas com flores), sendo este o grupo mais variado e abundante.

As plantas aquáticas se estabelecem de diferentes formas em relação aos ambientes aquáticos, o que é possibilitado pela amplitude de adaptações morfofisiológicas que apresentam (SCREMIN-DIAS *et al.*, 1999; SCULTHORPE, 1985). De acordo com a classificação de formas biológicas para plantas aquáticas (IRGANG *et al.*, 1984; PEDRALLI, 1990; PIVARI *et al.*, 2011), observa-se nas dolinas e surgências, que são os principais ambientes de ocorrência de plantas aquáticas na região cárstica em questão, a predominância de espécies anfíbias e emergentes, além de outras formas, incluindo submersas e flutuantes, bem como embalsadas, as quais se fixam sobre um histossolo flutuante, de origem orgânica, consequência do processo avançado de sucessão das plantas aquáticas em ambientes aquáticos permanentes ou alagados por longos períodos (PIVARI *et al.*, 2008).

Nos ambientes aquáticos sem correnteza da região cárstica de Pains já foram observadas diferentes espécies de plantas aquáticas, a exemplo de: *Ricciocarpus natans* (L.) Corda (Ricciaceae), uma briófito flutuante livre; *Salvinia auriculata* Aubl. (Salviniaceae) (orelha-de-onça), uma pteridófito, também flutuante livre; *Typha domingensis* Pers. (Typhaceae) (taboa), uma angiosperma que se estabelece geralmente em grandes populações na região marginal de lagoas na transição entre o ambiente aquático e terrestre ou sobre o solo orgânico de ilhas flutuantes; *Polygonum* spp. (Polygonaceae) (ervas-de-bicho), espécies de angiospermas, as quais ocorrem geralmente até meio metro de profundidade, com raízes e base da planta submersas, estabelecidas no substrato do fundo da lagoa enquanto as folhas e inflorescências são emersas; diferentes espécies das lentilhas-d'água (Araceae - Lemnoideae), flutuantes livres, incluindo *Lemna minuta* Kunth e *Wolffiella oblonga* (Phil.) Hegelm., consideradas representantes da linhagem das menores plantas com flores do mundo; entre várias outras espécies de ciperáceas e gramíneas, ocupando áreas temporariamente alagadas.

De acordo com a literatura (POTT, A.; POTT, V. J., 2003; TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M., 2008), pode-se entender por sucessão de plantas aquáticas as alterações em um dado local, durante determinado intervalo de tempo, observadas na composição de espécies e na estrutura dessa comunidade. Em regiões com variações hidrológicas muito grandes ocorrem mudanças na comunidade de macrófitas aquáticas em razão das modificações no nível da água e da passagem de condições secas ou úmidas para condições de inundação.

Assim, os ambientes aquáticos sazonais no cenário da região do Córrego do Barreado apresentam variações temporais entre fases seca e de alagamento, o que determina a substituição natural das espécies de plantas aquáticas ao longo do ciclo anual, sobretudo, havendo alternância entre espécies tipicamente aquáticas, tolerantes a alagamento e aquelas de ocorrência também em ambientes secos.

Por sua vez, nos ambientes permanentemente alagados, conforme alguns exemplos observados na região, ocorrem espécies de plantas aquáticas flutuantes, a exemplo de *Salvinia* spp. (Salviniaceae), fato que pode criar condições favoráveis à sucessão de plantas aquáticas, processo natural que ocasionalmente culmina no desenvolvimento de ilhas flutuantes (PIVARI *et al.*, 2008; PIVARI *et al.*, 2011). Tais ilhas de vegetação aquática são consideradas potenciais causadoras de assoreamento e eutrofização de corpos-d'água, entretanto, apesar de natural, a ocorrência desse tipo de vegetação pode estar relacionada a processos antrópicos, caso estes favoreçam a proliferação de macrófitas aquáticas, sendo registradas ilhas flutuantes em alguns ambientes aquáticos na região.

3. A MANUTENÇÃO DE UMA ÁREA DE IMPORTÂNCIA BIOLÓGICA EXTREMA PARA A CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE EM MINAS GERAIS

A vegetação é parte fundamental da paisagem na região cárstica de Pains e dá suporte à biota extremamente especializada, em uma área de importância biológica extrema para a conservação da biodiversidade em Minas Gerais (DRUMMOND *et al.*, 2005). Como exemplo, há um besouro troglóbio, chamado *Coarazuphium pains* Alvares & Ferreira, 2002 (ALVARES; FERREIRA, 2002), cuja comunidade depende da matéria orgânica importada do ambiente externo à caverna por inundações, demonstrando a importância da conservação da vegetação natural para a manutenção da biota no carste. A região cárstica de Pains abriga a única espécie de anfíbio brasileiro conhecida por estar restrita a um hábitat cárstico, *Ischnocnema karst* Canedo, Targino, Leite & Haddad, 2012 (CANEDO *et al.*, 2012). Entre as aves, foram registradas 293 espécies na região, o que corresponde a 35% da avifauna já registrada para o Cerrado, e 23 aves típicas da Mata Atlântica, várias dessas espécies atlânticas encontram na região o seu limite mais interiorano (LOPES *et al.*, 2017).

À exceção das pedreiras, a vegetação nativa de feições cársticas, como dolinas e poljés, encontra-se altamente descaracterizada, em grande parte substituída por pastagens, plantações e silvicultura. A vegetação natural que recobre os afloramentos calcários (Figura 10) se deve em parte às dificuldades de exploração e impossibilidade de cultivo impostas pelas condições do solo desses afloramentos (MELO *et al.*, 2013), entretanto, mesmo sobre os afloramentos rochosos, ocorre corte seletivo de árvores de madeiras nobres, as quais são cortadas e serradas no local e, posteriormente, tábuas e pranchões são retirados manualmente dos afloramentos. As planícies de inundação do Rio São Francisco e suas áreas úmidas associadas encontram-se também altamente impactadas e descaracterizadas pela atividade antrópica, resultado da implantação de grandes drenos que alteraram profundamente a dinâmica hídrica local, permitindo a implantação de pastagens e campos de cultivo em áreas outrora alagadas sazonalmente (LOPES *et al.*, 2017). Por fim, as atividades de mineração de calcário e dolomita, que representam a remoção de maciços residuais ao longo de décadas de extração.

Mesmo abrigando a maior riqueza de plantas já documentada em afloramentos de calcário no Brasil, a composição de espécie da flora na região cárstica de Pains pode ser ainda maior, uma vez que o levantamento de Melo *et al.* (2013) registrou plantas com flores e existem dezenas de espécies de samambaias relacionadas aos afloramentos de calcário na região.

A Bacia do Ribeirão dos Patos apresenta alto potencial para novas ocorrências de espécies de plantas para a região cárstica de Pains devido à proximidade geográfica com regiões serranas e pela alta concentração de lagoas cársticas, sumidouros e ressurgências. Avançar com o levantamento da composição de espécies de plantas, abrangendo angiospermas, samambaias e licófitas, briófitas e fungos, e estimar a frequência e distribuição regional dessas espécies é fundamental para subsidiar o detalhamento da cobertura vegetal na região cárstica de Pains, bem como para o planejamento da exploração e conservação dos recursos naturais.

Nesse contexto, é necessário progredir com as pesquisas de levantamento florístico, com coleta de material fértil e levantamento fitossociológico em toda a região cárstica de Pains, para coleta de dados estatísticos, especialmente de comunidades de espécies herbáceas no carste. Como exemplo, avaliar se, no carste, um hectare de floresta estacional decidual, em local com rocha exposta, poderia suportar maior

riqueza e diversidade de espécies herbáceas, comparado a outro hectare de floresta decídua, porém, sobre solo raso e sem rochas expostas. De modo igual, é necessário selecionar espécies vegetais nativas com potencial para regeneração de áreas degradadas; determinar o período de floração e frutificação da flora para otimizar a coleta de sementes, destinadas à produção de mudas por viveiros florestais regionais para revegetação de áreas degradadas, e, idealmente, à constituição de banco de germoplasma regional, por exemplo, em cooperação com o Centro Nacional de Recurso Genético.

A Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN Luís Beethoven Piló constitui um importante marco para a conservação da natureza na região cárstica de Pains, sobretudo na Bacia do Ribeirão dos Patos, assegurando a manutenção dessa área ambientalmente significativa no contexto regional. Representa uma iniciativa responsável e necessária para conciliar a bicentenária tradição da atividade de mineração com a conservação do carste no centro-oeste mineiro.



Figura 10 – Floresta Estacional Decidual no período chuvoso (dezembro); Fazenda Faroeste, entre Arcos e Iguatama. Foto: Pablo Hendrigo.

4. CONCLUSÕES

A vegetação na região cárstica de Pains abriga a maior riqueza de plantas com flores registrada em afloramentos de calcário no Brasil. Contudo, a riqueza total de espécies de plantas vasculares é, certamente, maior, uma vez que samambaias e licófitas não foram catalogadas, indicando a necessidade de levantamentos florísticos complementares. A cobertura vegetal se diferencia da matriz regional, sobretudo do Cerrado no seu senso estrito, tanto pela composição de espécies quanto pelo aspecto fisionômico. A paisagem em ambientes com afloramentos de calcário na região cárstica de Pains é composta por mosaico de diferentes tipos de vegetação, sob solos férteis e clima sazonal, apresentando formações florestais (floresta estacional decidual, floresta estacional semidecidual e mata ciliar), formação aberta e vegetação aquática. Muitas espécies, como angico e aroeira, são conhecidas há séculos pelos moradores da região por apresentarem algum tipo de uso. Outras, como *Chautemsia calcicola*, *Gardnerina angustata* e *Hemistylus brasiliensis*, eram, até aqui, pouco conhecidas, até mesmo por botânicos experientes, demonstrando a importância da produção de pesquisas científicas para a geração do conhecimento e de livros como este, de divulgação científica, para levar a informação ao grande público e viabilizar a conservação da biodiversidade na região cárstica de Pains.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. **Os Domínios de natureza no Brasil:** potencialidades paisagísticas. [S.l.: s.n.], 2005. p. 160. Disponível em: <https://www.atelie.com.br/livro/dominios-natureza-brasil-potencialidades-paisagisticas/>. Acesso em: 13/03/2021.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013. Disponível em: http://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref. Acesso em: 01/03/2021.
- ALVARES, É.; FERREIRA, R. L. *Coarazuphium pains*, a new species of troglobitic beetle from Brazil (Coleoptera: Carabidae: Zuphiini). **Lundiana**, v. 3, n. 1, p. 41-43, 2002. Disponível em: <http://www.icb.ufmg.br/lundiana/Contents/full/vol312002/5.pdf>. Acesso em: 20/03/2021.
- APGAUA, D. M. G. *et al.* Tree community structure in a seasonally dry tropical forest remnant, Brazil. **Cer-ne**, v. 20, n. 2, p. 173-182, jun. 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-77602014000200001&lng=en&tlng=en. Acesso em: 13/03/2021.
- ARAÚJO, A. O. DE; SOUZA, V. C.; PERRET, M. *Chautemsia calcicola*: a new genus and species of Gloxinieae (Gesneriaceae) from Minas Gerais, Brazil. **Taxon**, v. 59, n. 1, p. 203-208, 2010.
- AULER, A. S.; RUBBIOLI, E.; BRANDI, R. **As grandes cavernas do Brasil**. Belo Horizonte: Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, 2001.
- BARBOSA, G. V. Notícias sobre o Karst na Mata de Pains. **Boletim Mineiro de Geografia**, v. 2, p. 3-21, 1961.
- CANEDO, C. *et al.* A New Species of *Ischnocnema* (Anura) from the São Francisco Basin Karst Region, Brazil. **Herpetologica**, v. 68, n. 3, p. 393-400, set. 2012. Disponível em: <http://www.bioone.org/doi/abs/10.1655/HERPETOLOGICA-D-11-00065.1>. Acesso em: 10/03/2021.

ESCHWEGE, W. L. VON. **Pluto brasiliensis**. Berlin: Reimer, 1883.

GONZAGA, A. P. D. *et al.* Similaridade florística entre estratos da vegetação em quatro Florestas Estacionais Deciduais na Bacia do Rio São Francisco. **Rodriguesia**, v. 64, n. 1, p. 11-19, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE- Diretoria de Geociências, 2012. v. 39. Disponível em: https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/vegetacao/manual_vegetacao.shtm. Acesso em: 13/03/2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de biomas do Brasil**: primeira aproximação. Brasília: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: [s.n.], 2004.

IRGANG, B. E.; PEDRALLI, G.; WAECHTER, J. I. Macrófitos aquáticos da Estação Ecológica do Taim, Rio Grande do Sul, Brasil. **Roessleria**, v. 6, p. 395-404, 1984.

JANSEN, D. C.; CAVALCANTI, L. F.; LAMBLÉM, H. S. Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas no Brasil na escala 1:2.500.000. **Revista Brasileira de Espeleologia**, v. 2, n. 1, p. 42-57, 2012. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/revistaelectronica/index.php/RBEsp/article/view/255/pdf_15. Acesso em: 10/03/2021.

LOMBARDI, J. A.; SALINO, A.; TEMONI, L. G. Diversidade florística de plantas vasculares no município de Januária, Minas Gerais, Brasil. **Lundiana**, v. 6, n. 1, p. 3-20, ago. 2005.

LOPES, L. E. *et al.* Aves de três municípios do Alto Rio São Francisco, Minas Gerais, Brasil. **Atualidades Ornitológicas**, v. 196, n. 2001, p. 49-62, 2017.

MARTINS, T. I. S. **Mapeamento Geomorfológico da Folha Piumhi, Minas Gerais**. 2013. 157 f. Universidade Federal de Uberlândia, 2013.

MATTEUCCI, S. D.; COLMA, A. El comportamiento de las poblaciones en las comunidades. **Metodología para el estudio de la vegetación**. Washington: The General Secretarial of The Organization of American States, 1982. p. 159.

MEGURO, M. *et al.* Composição florística e estrutura das florestas estacionais decíduas sobre calcário a oeste da Cadeia do Espinhaço, Minas Gerais, Brasil. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo**, v. 25, n. 2, p. 147-171, 2007.

MELLO-BARRETO, H. L. Regiões fitogeográficas de Minas Gerais. **Boletim Geográfico**, Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, v. 14, p. 14-28, 1942.

MELO, P. H. A. DE *et al.* Composição florística de angiospermas no carste do Alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguesia**, v. 64, n. 1, p. 29-36, 2013.

MELO, P. H. A. DE. **Flora vascular relacionada aos afloramentos de rocha carbonática no interior do Brasil**. 2008. 79 f. Universidade Federal de Lavras, 2008.

MENINO, G. C. DE O. *et al.* Florística e estrutura de florestas tropicais sazonalmente secas. **CERNE**, v. 21, n. 2, p. 277-291, jun. 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-77602015000200277&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 01/03/2021.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais–Derna, 1989. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca=-catalogo?id281099=&view=detalhes>. Acesso em: 13/03/2021.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; RATTER, J. A. A study of the origin of central Brazilian forests by the analysis of plant species distribution patterns. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 52, n. 2, p. 141-194, 26 jul. 1995. Disponível em: https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0960428600000949/type/journal_article. Acesso em: 10/03/2021.

PEDERSOLI, J. L.; MARTINS, J. L. A vegetação dos afloramentos de calcário. **Oréades**, v. 5, n. 5, p. 27-29., 1972.

PEDRALLI, G. Florestas secas sobre afloramentos de calcário em Minas Gerais: florística e fisionomia. **Bios**, v. 5, p. 81-88, 1997.

PEDRALLI, G. Macrófitos aquáticos: técnicas e métodos de estudos. **Estudos de Biologia**, v. 26, p. 5-24, 1990.

PILÓ, L. B. Geomorfologia cárstica (Revisão de Literatura). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 1, n. 1, 19 dez. 2000. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/73>. Acesso em: 13/03/2021.

PIVARI, M. O. D. *et al.* Macrófitas Aquáticas da Lagoa Silvana, Vale do Rio Doce, Minas Gerais, BRASIL. **Iheringia - Série Botânica**, v. 63, n. 2, p. 321-327, 2008.

PIVARI, M. O. D. *et al.* Macrófitas aquáticas do sistema lacustre do Vale do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, v. 62, n. 4, p. 759-770, dez. 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-78602011000400759&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 10/03/2021.

POHOL, J. E. **Viagem no interior do Brasil**. Belo Horizonte: Ed. Itatiaia, 1976. (Série Reconquista do Brasil).

POTT, V. J.; POTT, A. Dinâmica da vegetação aquática do Pantanal. *In*: THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. (Org.). **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: Editora da Universidade Estadual de Maringá, 2003. p. 145-162.

PRADO, D. E.; GIBBS, P. E. Patterns of Species Distributions in the Dry Seasonal Forests of South America. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 80, n. 4, p. 902, 1993. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2399937?origin=crossref>. Acesso em: 13/03/2021.

RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**, v. 80, p. 223-230, 1997.

REZENDE, A. V. A importância das matas de galeria: manutenção e recuperação. *In*: RIBEIRO, J. F. (Org.). **Cerrado**: matas de galeria. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998. p. 164.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. DE (Org.). **Cerrado**: ambiente e flora. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998. p. 89-166. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/554094>. Acesso em: 13/03/2021. Acesso em: 10/03/2021.

SALLUN FILHO, W.; KARMANN, I. Províncias cársticas e cavernas no Brasil. **Geologia do Brasil**, n. 1989, p. 629-641, 2012.

SANTOS, R. M. DOS *et al.* Riqueza e similaridade florística de oito remanescentes florestais no norte de Minas Gerais, Brasil. **Revista Árvore**, v. 31, n. 1, p. 135-144, fev. 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622007000100015&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 13/03/2021.

SCREMIN-DIAS, E. *et al.* **Nos jardins submersos da Bodoquena**: guia para identificação de plantas aquáticas de Bonito e região. Campo Grande: Editora UFMS, 1999.

SCULTHORPE, C. D. **The biology of aquatic vascular plants**. London: Edward Arnold, 1967.

SILVEIRA, F. A. O. *et al.* Ecology and evolution of plant diversity in the endangered campo rupestre: a neglected conservation priority. **Plant and Soil**, v. 403, n. 1-2, p. 129-152, 18 jun. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-015-2637-8>. Acesso em: 10/03/2021.

SPIX, J. B.; MARTIUS, C. F. P. VON. **Reise in Brasilien**. München: Gedruckt bei L.J. Lentner, 1828.

THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: Eduem, 2003.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VERÇOZA, F. C. *et al.* Polinização e dispersão de sementes de *Dysochroma viridilora* (Sims) Miers (Solana-ceae) por morcegos no Parque Nacional da Tijuca, um remanescente de Floresta Atlântica no Sudeste do Brasil Nacional da Tijuca, a remaining Atlantic Forest in Southeas. **Natureza on-line**, v. 10, p. 7-11, 2012.

VIDAL, W. N.; VIDAL, M. R. R. **Botânica**: organografia. Viçosa: Editora UFV, 2000.

WARMING, E. **Lagoa Santa, et Bidrag til den biologiske Plantegeografi**. Copenhagen: Dreyer, 1892.



Pedra do Cálice. Foto: Allan Calux.



CAPÍTULO 4

O RELEVO DA REGIÃO CÁRSTICA DE PAINS

ATALIBA COELHO
ALLAN CALUX

1. APRESENTAÇÃO

A região cárstica de Pains, um importante exemplar de relevo esculpido sobre rochas carbonáticas, está localizada no sudoeste do estado de Minas Gerais. Além do município de Pains, abrange parte dos territórios de Bambuí e Iguatama a norte, Arcos e Córrego Fundo a leste, Formiga a sul, Pimenta, Piumhi e Doresópolis a oeste (Figura 1).

Do ponto de vista físico, o relevo da região cárstica de Pains é representado por um conjunto de formas geradas principalmente pela dissolução da rocha calcária que resultou em uma paisagem peculiar e de grande beleza cênica. Destacam-se extensos maciços rochosos em cujas superfícies se estendem campos de lapiás; dolinas de variadas formas e dimensões; lagos associados a depressões doliniformes; além de sistemas fluviocársticos onde drenagens são parcialmente capturadas por condutos subterrâneos, muitos deles, acessíveis ao homem.

Essa paisagem é notória não apenas por sua beleza cênica, mas também por sua importância científica relacionada: i) à ocupação humana pré-colonial, evidenciada pelo grande número de vestígios arqueológicos em abrigos, cavernas e sítios a céu aberto; ii) à megafauna pleistocênica, cujos restos estão depositados nos sedimentos das cavernas e; iii) à própria dinâmica evolutiva do carste, que envolve processos de dissolução e erosão, transporte e deposição de sedimentos clásticos e precipitação química, que ocorrem tanto na superfície do relevo (exocarste), como na interface entre a rocha e o solo (epicarste) e nos sistemas subterrâneos (endocarste). Nesse aspecto, a compreensão dos processos de formação e evolução dessa paisagem é vital para uma gestão mais eficiente de seus recursos naturais, em especial aqueles relacionados à mineração e à produção cimenteira, de cal e corretivos agrícolas, de grande importância econômica para a região.

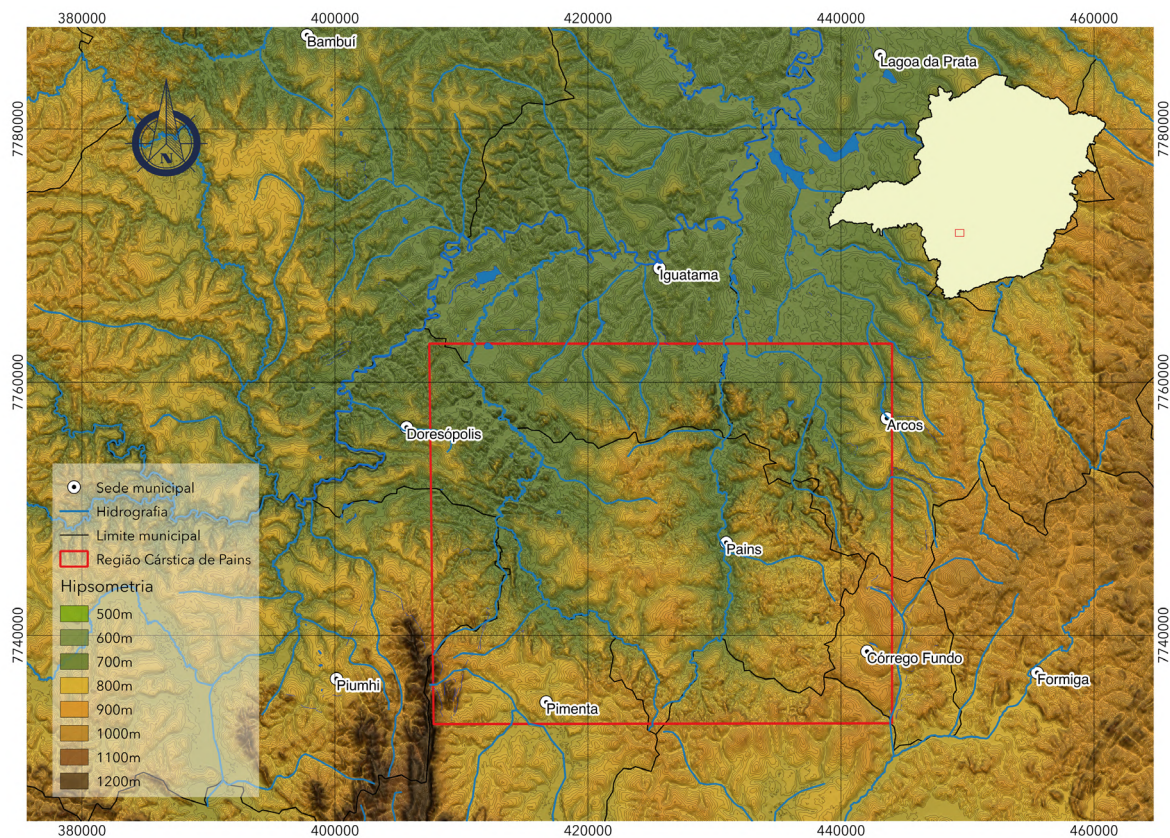


Figura 1 – Mapa hipsométrico com a localização da região cárstica de Pains, no sudoeste de Minas Gerais.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

O carste de Pains está localizado na extremidade sul do cráton do São Francisco que, de acordo com Almeida (1978), se constitui de um núcleo crustal estabilizado no final do ciclo Transamazônico, entre 2,1 e 1,8 bilhão de anos, limitado pelas faixas de dobramento brasileiras (450 a 680 Ma): Brasília a sul e a oeste; Rio Preto a noroeste; Riacho do Pontal e Sergipana a norte e Araçuaí a sudeste. No contexto geotectônico, a área encontra-se na Bacia Sedimentar do São Francisco (MARTINS NETO; PINTO, 2001), composta por quatro unidades principais: Supergrupo Espinhaço, de idade paleo a mesoproterozoica; Supergrupo São Francisco, Neoproterozoico (Figura 2); Grupo Santa Fé, de idade paleozoica e, de idade cretácea, os Grupos Mata da Corda, Areado e Urucuia.

Na região cárstica de Pains são registradas rochas de três contextos litológicos distintos: as do Complexo Granito-gnáissico, as do Grupo Bambuí e sedimentos cenozoicos. O Complexo Granito-gnáissico é composto por rochas graníticas a granodioríticas de idade arqueana e aflora na porção leste da área constituindo, ali, o embasamento da sequência metassedimentar do Grupo Bambuí. O Grupo Bambuí, por sua vez, representa uma fase de transgressão marinha sobre o cráton do São Francisco que possibilitou a deposição dos sedimentos provenientes das áreas soerguidas do entorno.

O relevo cárstico se desenvolve em rochas carbonáticas do Grupo Bambuí (Figuras 2 e 3), sequência sedimentar marinha do Supergrupo São Francisco, que também é composto pelo Grupo Macaúbas, de origem glacio-continental. O Grupo Bambuí é composto por rochas de origem sedimentar química e terrígena, que se intercalam nas formações (COSTA; BRANCO, 1961; MARTINS NETO; ALKMIM, 2001):

- I. Formação Três Marias (pelitos e arenitos);
- II. Formação Serra da Saudade (pelitos);
- III. Formação Lagoa do Jacaré (calcarenitos e pelitos);
- IV. Formação Serra de Santa Helena (pelitos);
- V. Formação Samburá (conglomerados e pelitos);
- VI. Formação Sete Lagoas (margas, calcilitos, calcarenitos e biolitos).

Segundo Alkimim (1996) e Dardenne (1978), esforços tectônicos, com vergência para leste, que atuaram na Faixa Brasília durante o Proterozoico Superior, geraram o cavalgamento do Grupo Canastra sobre as rochas do Grupo Bambuí na porção oeste da área, o que resultou em rochas mais dobradas nesse setor, enquanto que na porção leste, mais para o interior do cráton, as rochas encontram-se menos deformadas.

As Coberturas Sedimentares Cenozoicas são representadas por conglomerados semilitificados, maciços ou com estratificação horizontal; camadas tabulares mal litificadas de wackes; depósitos fluviais cascalhosos, arenosos e lamosos; além de colúvio argiloarenoso (RIBEIRO *et al.*, 2007). Falhas de pequeno rejeito são registradas nos depósitos semilitificados, o que indica atividade geotectônica na região. Segundo Saadi (1991), esses eventos, ocorridos no Cenozoico, são responsáveis pelo Graben de Arcos onde se instalou a calha do Rio Candongas.

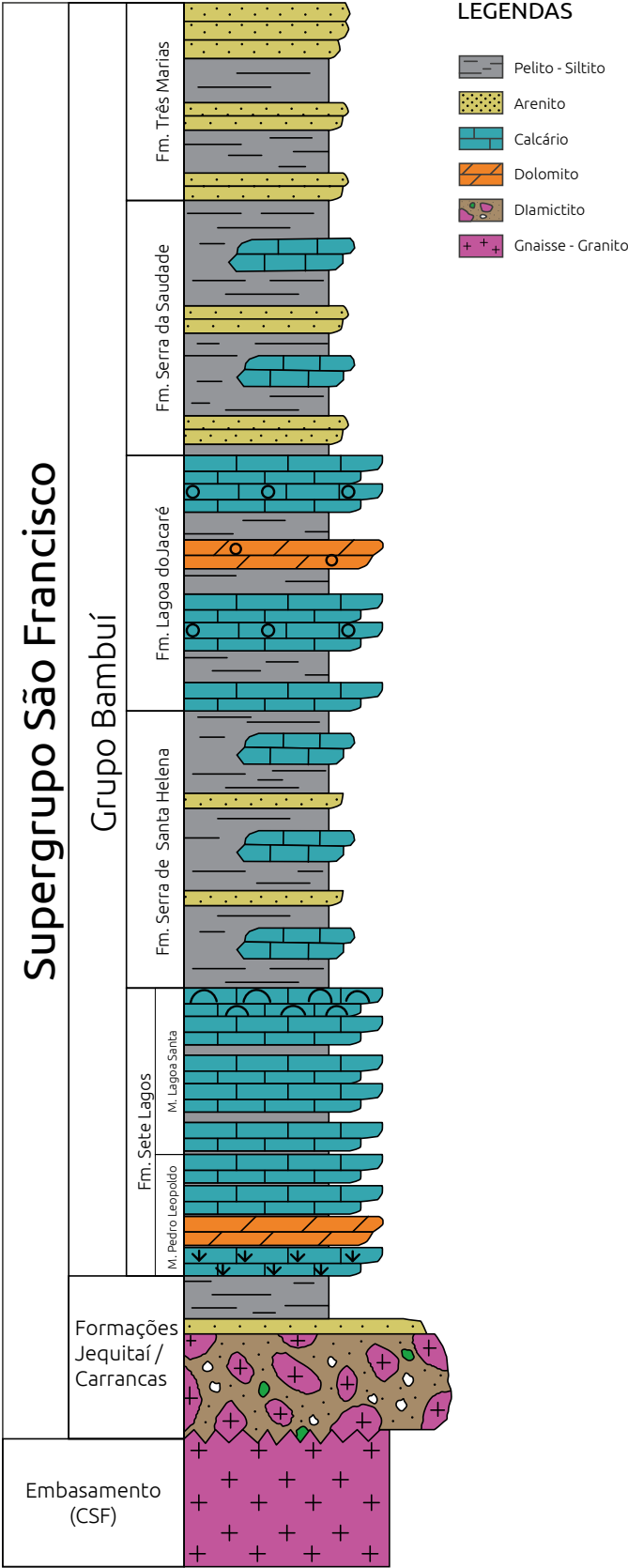


Figura 2 – Coluna litoestratigráfica do Supergrupo São Francisco. Fonte: Mora (2015)

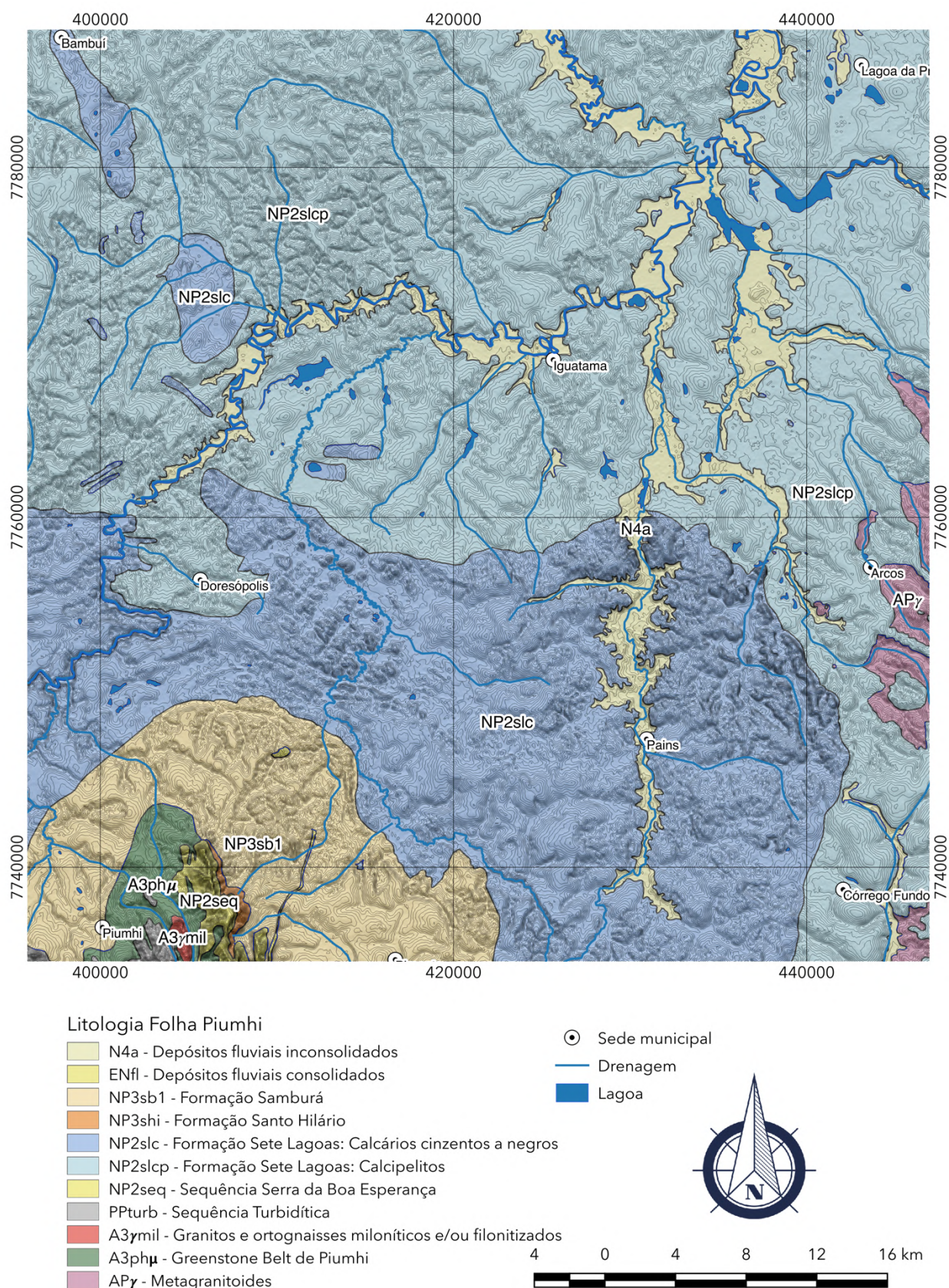


Figura 3 – Mapa litológico da região cárstica de Pains. Fonte: Ribeiro *et al.* (2008)

3. CLIMA, HIDROGRAFIA E VEGETAÇÃO

A região cárstica de Pains se encontra sob domínio do sistema semiestacionário Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul durante todo o ano. O clima é o Tropical do Brasil Central (IBGE 2002), que, na classificação de Koppen, é do tipo Cwa, temperado brando com verão quente e úmido e inverno seco. A temperatura média anual é de 20,7°C, com médias variando de 23,3°C em janeiro e 16,3°C em julho (RIBEIRO *et al.*, 2007). Com precipitação média anual equivalente a 1.700 mm distribuída em estações bem definidas, o período úmido, que se estende de novembro a abril, concentra mais de 80% do volume de chuvas.

O carste está situado na região do Alto São Francisco, área que, segundo Planvasp (1989), se estende das nascentes, no município de São Roque de Minas, até o município de Pirapora (MG). As cabeceiras estão na Serra da Canastra, aproximadamente 60 km a oeste da área de estudo, que se situa à margem direita do Rio São Francisco, englobando a maior parte das bacias hidrográficas do Rio São Miguel, a leste, e do Ribeirão dos Patos, a oeste; além de pequenas porções das bacias dos córregos do Atalho, Ribeirão Sujo, Ribeirão das Araras e Rio Grande.

Diferente do que ocorre em relevos cársticos evoluídos, onde há predominância de sistemas de drenagem subterrâneos, os cursos de água no carste de Pains são majoritariamente superficiais. É o que se pode constatar nas suas duas principais bacias hidrográficas, a do Ribeirão dos Patos e a do Rio São Miguel. No entanto, uma pequena área na porção de montante desta última foge à regra, configurando a principal zona de recarga do aquífero cárstico que, de acordo com Dias e Velasques (2002), é o local onde se registra a maior concentração de dolinas e sumidouros, que absorvem e drenam o fluxo em direção ao sistema subterrâneo. Mas não é apenas por esses meios que as águas superficiais atingem os aquíferos cársticos, a recarga também se dá por meio da infiltração difusa da água no solo, em toda a área, atingindo o sistema de condutos por meio de uma rede de fraturas.

De acordo com Menegasse *et al.* (2002), a vazão média total na Bacia do Rio São Miguel, com base em dados da Estação Pluviométrica de Calciolândia, é equivalente a 242 milhões de metros cúbicos por ano ou 7,6 metros cúbicos por segundo. Na Bacia do Ribeirão dos Patos, o valor é próximo ao anterior, 245 milhões de metros cúbicos por ano (7,8 metros cúbicos por segundo). Para os autores, 68,5% desses totais são referentes a águas subterrâneas e apenas 24% são provenientes da precipitação pluvial. Os dados levantados pelos autores indicam excedente hídrico no verão, de novembro a abril, e deficiência hídrica no inverno (maio a setembro), período em que a contribuição subterrânea em relação à superficial sobe para 95%. Para esses autores, os dados de balanço hídrico indicam boas condições de interconexão entre o aquífero e os canais superficiais, o que resulta em um sistema de recarga com capacidade de renovar as águas subterrâneas cujos excedentes hídricos, na estação úmida, reabastecem vales secos, dolinas e ressurgências.

O carste de Pains encontra-se na zona de transição dos biomas Mata Atlântica e Cerrado. A vegetação nativa predominante, de acordo com RadamBrasil (1983), é o tipo Savana (Cerrado) Gramíneo-Lenhosa, com manchas de Savana Arbórea Aberta e Arbórea Densa, além de Floresta Estacional Decidual. Grande parte dessa vegetação nativa foi substituída por pasto e, em menor proporção, por cultivos variados. As formações florestais, segundo Freitas (2009), estão restritas às margens do Rio São Miguel e aos afloramentos de calcário, cujo relevo é limitador do uso agrícola (Figura 4). Nesses locais, as florestas estacionais deciduais, também denominadas Mata de Pains, ocorrem em solos extremamente rasos sobre a rocha calcária, o que leva à predominância de espécimes caducifólios, que perdem completamente sua folhagem no período de estiagem. O resultado é o impressionante contraste da paisagem nos períodos seco e chuvoso.



Figura 4 – Floresta Estacional Decidual em período úmido, preservada em meio aos afloramentos calcários na região do Córrego do Barreado. Foto: Allan Calux.

4. O RELEVO CÁRSTICO

O relevo da região cárstica de Pains se formou sobre um espesso pacote de rochas calcárias solúveis, recobertas por pelitos, que são rochas não solúveis. De modo não muito diferente de outras regiões cársticas do Brasil, essa configuração litoestratigráfica permitiu o surgimento de formas peculiares resultantes da dissolução dos carbonatos encobertos, como afundamentos de terreno na forma de dolinas e uvalas, e a captura de drenagens em vales cegos e sumidouros, direcionando o fluxo para uma complexa rede de condutos, voltando à superfície em ressurgências. Quando desnudados pela erosão das camadas pelíticas, esses calcários afloram na forma de belos maciços de aspecto ruiniforme que se destacam em meio à paisagem ondulada, com suas faces escarpadas e topos fraturados com extensos campos de lapiás.

À porção superficial do relevo cárstico dá-se o nome de “Exocarste”. O termo é utilizado para sintetizar o conjunto morfológico que, segundo Bögli (1960), abriga essas formas típicas geradas, predominantemente, por processos de dissolução e abatimento. Abaixo da superfície, na interface entre a cobertura de solo ou material inconsolidado e a rocha carbonática, atribui-se o nome de “Epicarste”, uma zona intermediária comumente situada entre 3 e 10 metros de profundidade. Abaixo dela ocorre o sistema subterrâneo de condutos, ou seja, as cavernas propriamente ditas, ao qual denominamos “Endocarste”.

4.1 O CARSTE SUPERFICIAL OU EXOCARSTE

A primeira proposta de compartimentação do relevo cárstico do Alto São Francisco foi feita por Pizarro (1998). Tendo como base aspectos litoestruturais e geomorfológicos, o autor subdividiu a região em quatro blocos identificáveis pelos principais cursos de água:

1. **Bloco São Miguel**, posicionado a leste, é o menos deformado, devido a seu maior distanciamento da Faixa de Dobramentos Brasília. É representado por extensos e contínuos maciços calcários, sistemas de sumidouros e ressurgências, dolinas de dissolução e de abatimento, uvalas, torres e lapíás. Possui a maior concentração de cavernas (porcentagem estimada em 80% do total da região);
2. **Bloco Intermediário**, representado por uma faixa de sentido norte-sul entre o Bloco São Miguel (a leste) e o Bloco Ribeirão dos Patos (a oeste), possui maior deformação que o Bloco São Miguel, marcado por falhas transcorrentes NW-SE superpostas ao sistema de empurrões do Brasileiro, de direção N-S. O autor divide este bloco em dois domínios, o Centro-sul onde afloram rochas pelíticas com lentes de calcário esparsas, que se manifestam como afloramentos métricos isolados; e o Domínio Norte, constituído por conjuntos de maciços contínuos;
3. **Bloco Ribeirão dos Patos**, representado por duas faixas contínuas de maciços calcários com direção NW-SE, condicionados ao sistema de falhas transcorrentes do lineamento Doresópolis-Pains. As duas faixas estão separadas por um corredor onde afloram rochas pelíticas;
4. **Bloco São Francisco**, posicionado a oeste dos demais, é representado por afloramentos de calcário nas duas margens do São Francisco, que o autor divide em duas faixas, em função dos tipos de ocorrência: Faixa Cânion, com calcários deformados e dolinas com alinhamento N-S e; Faixa Arraial Novo, com maciços isolados fortemente deformados na margem esquerda.

Em trabalho recente, Martins (2013) e Martins e Rodrigues (2016) propõem a compartimentação do relevo da região em quatro Unidades Morfoestruturais: Unidade dos Depósitos Aluvionares Cenozoicos; Unidade Morfoestrutural Bacia Sedimentar do São Francisco; Unidade Morfoestrutural do Embasamento e Unidade Morfoestrutural do Sistema de Empurrões.

Levando em consideração a atuação dos tipos climáticos que as esculpiram ao longo do tempo, os referidos autores as subdividem em Unidades Morfoesculturais, individualizando, assim, modelados ou tipologias morfológicas mais recentes, capazes de representar dimensões menores do relevo. As Unidades Morfoesculturais foram espacializadas em um mapa regional, conforme pode ser observado na Figura 5, que abrange não apenas a região cárstica de Pains, mas também seu entorno, que inclui terrenos não carstificados e de carste encoberto, como descreveremos adiante. Para um melhor entendimento da taxonomia das unidades de relevo propostas por Martins (2013) e Martins e Rodrigues (2016), apresentamos a Tabela 1.

Tabela 1 – Unidades morfoestruturais e morfoesculturais propostas por Martins (2013) e Martins e Rodrigues (2016)

Unidade Morfoestrutural	Unidade Morfoescultural	
Depósitos Aluvionares Cenozoicos	Planícies Aluviais	PaC – Planícies Aluviais do São Francisco, São Miguel, Rio Santanta, Rio Preto, Rio Bambuí, outras
Bacia Sedimentar do São Francisco	Relevos Dissecados	PtLP – Planalto Tabular Lagoa da Prata
		PdB – Planalto Dissecado de Bambuí
		PdPP – Planalto Dissecado de Piumhi-Pimenta
	Relevo Fluvicárstico	PfcDI – Planalto Fluvicárstico de Doresópolis-Iguatama
	Relevos Cársticos	DcRP – Depressão Cárstica do Ribeirão dos Patos
		PcSF – Planalto Cárstico do São Francisco
		PcOSM – Planalto Cárstico Oeste do São Miguel
		PcLSM – Planalto Cárstico Leste do São Miguel
Embasamento	Relevo Dissecado	PdACF – Planalto Dissecado de Arcos-Córrego Fundo
Sistema de Empurrões	Serra	SeP – Serra de Piumhi

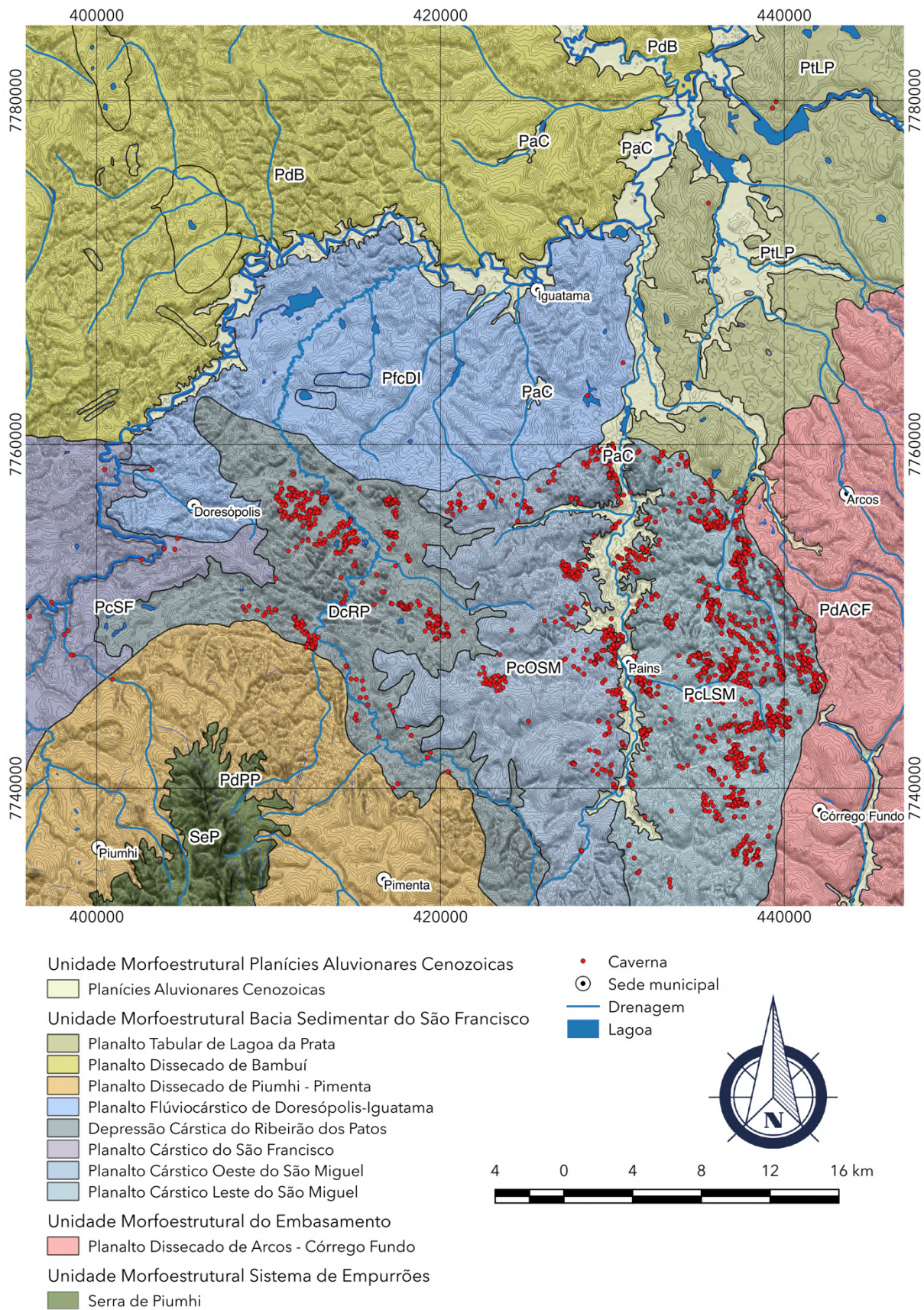


Figura 5 – Mapa das Unidades Morfoestruturais da região cárstica de Pains. Fonte: Martins (2013); Martins e Rodrigues (2016).

Unidade Morfoestrutural Embasamento, corresponde à área do cráton onde afloram os granitoides e ortognaisses (Arqueano) e, localmente, calcipelitos. Essa unidade limita o carste de Pains a leste e configura-se por relevo ondulado de vertentes côncavas e vales encaixados, onde predomina modelado de dissecação relacionado a processos de erosão e entalhamento fluvial. É nessa unidade morfoestrutural que se desenvolve o Planalto Dissecado de Arcos-Córrego Fundo, Unidade Morfoescultural caracterizada por dois modelados: i) na extremidade leste, um relevo fortemente ondulado, com declividades majoritariamente superiores a 20%, alta densidade de drenagens com vales moderadamente entalhados; ii) na porção sudoeste e norte (Córrego Fundo e Arcos) um modelado predominantemente de dissecação, com topos planos, declividade de 3% a 20%, baixa densidade de drenagens e forte entalhamento dos vales.

Unidade Morfoestrutural Sistema de Empurrões, compreende a área de influência da Faixa de Dobramentos Brasília (Fanerozoico). Essa unidade engloba quartzitos, gnaisses, metaconglomerados, entre outros, com grau variado de metamorfismo, compondo um modelado de dissecação com relevos estruturais, representados, na área, pela Serra de Piumhi (Figura 6). Possui altitude entre 780 e 1.200 metros, média a alta densidade de drenagens, vales moderada a altamente entalhados e altas declividades acima de 900 metros de altitude.

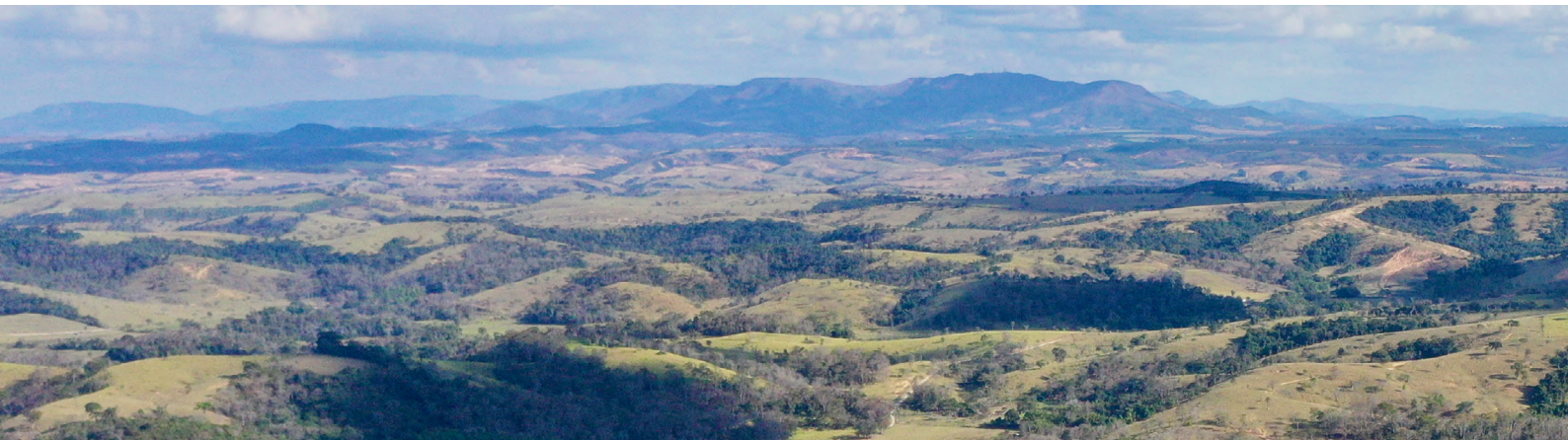


Figura 6 – Ao fundo, vista parcial da Serra de Piumhi, integrante da Unidade Morfoestrutural Sistema de Empurrões. Foto: Allan Calux.

Unidade Morfoestrutural Bacia Sedimentar do São Francisco, representada na região pelo pacote sedimentar do Grupo Bambuí (Proterozoico Médio e Superior), sobre o qual atuaram processos de dissecação e carstificação que, por estar na borda do cráton, sofreram influência tectônica da Faixa de Dobramentos Brasília. As unidades morfoesculturais foram agrupadas em três tipologias, em função dos tipos de processos atuantes e de seus materiais constituintes (substrato rochoso): i) Relevos Dissecados; ii) Relevos Fluvio cársticos; e iii) Relevos Cársticos.

Os Relevos Dissecados agrupam formas de origem desnudacional cujo modelado é resultante do entalhamento fluvial e de processos erosivos de vertentes, em áreas de carste encoberto. Foram individualizadas três Unidades Morfoesculturais nesse compartimento:

1. Planalto Dissecado de Piumhi-Pimenta, esculpido sobre metaconglomerados da Formação Samburá e metabasaltos. Possui superfície suave a ondulada, com topos tabulares e convexos, altitudes entre 680 e 860 metros, declividade entre 9% e 20% e densidade de drenagem variada. Devido aos calcários sotopostos, há ocorrência de dolinamentos isolados;

2. Planalto Dissecado de Bambuí, formado sobre calcipelitos da Formação Sete Lagoas, apresenta superfície suave a ondulada com padrão de dissecção convexo a oeste e tabular a leste. A altitude varia de 640 a 800 metros, com declividade entre 4% e 8%. A densidade de drenagens é variável com baixo entalhamento dos vales. Feições cársticas, como dolinas e sumidouros, são registradas nas proximidades da cidade de Bambuí;
3. Planalto Tabular de Lagoa da Prata, caracterizado por superfície predominantemente plana e rebaixada, com altitude entre 640 e 760 metros, declividades entre 0% e 8%, baixa densidade de drenagens, pouco entalhamento dos vales e amplas planícies aluviais. Registram-se afloramentos calcários e lagoas.

O relevo fluviocárstico, na escala do mapeamento, é representado pelo Planalto Fluviocárstico de Doresópolis-Iguatama, situado entre o Planalto Dissecado de Bambuí e o carste de Pains. Configura um relevo de transição, onde atuam processos de dissolução e dissecção fluvial, o que se deve à estratigrafia local, onde calcários estão depositados sobre calcipelitos da Formação Sete Lagoas. As altitudes variam entre 640 e 760 metros, com superfície suave a ondulada, declividade inferior a 20%, baixa densidade de drenagens e áreas de relevo plano com lagoas. Há afloramentos calcários, sumidouros, além de lagoas cársticas em dolinas, entre as quais Martins e Rodrigues (2016) destacam a de Inhumas (Figura 7), que ocupa uma uvala na porção oeste, próximo da margem direita do Rio São Francisco. Sistemas fluviocársticos ocorrem também nas unidades de relevo carstificado, merecendo menção o sistema do Córrego do Barreado, que compõe o flúvio-carste do Córrego do Cavalo, tributário do Ribeirão dos Patos.



Figura 7 – Vista da Lagoa de Inhumas no Planalto Fluviocárstico de Doresópolis-Iguatama. Ao fundo, à direita, a Serra de Piumhi. Foto: Allan Calux.

Os relevos cársticos têm origem dissolutiva e modelado resultante da atuação do intemperismo químico na *fácies* carbonática da Formação Sete Lagoas (calcário e dolomitos) em áreas de carste coberto, aflorado e em exumação. Foram mapeadas as seguintes Unidades Morfoesculturais:

1. Planalto Cárstico do São Miguel, que corresponde à área da bacia superficial do Rio São Miguel, dividido em planalto leste e oeste a partir do talvegue. O planalto cárstico se caracteriza por relevos colinosos com elevações que variam de 700 a 1.000 metros e declividade entre 4% e 45%.

Na porção leste, predomina o modelado de carste desnudado, onde a superfície colinosa é entrecortada por grande número de maciços rochosos, dolinas e uvalas, além de um sistema de drenagem superficial pouco desenvolvido (Figura 8, acima). Esse modelado contrasta com o da margem oeste, onde as drenagens superficiais são mais desenvolvidas à medida em que os maciços e os dolinamentos são mais escassos, indicando a intercalação do modelado de carste desnudado e encoberto (Figura 8, abaixo). De um modo geral, o Planalto Cárstico do São Miguel constitui a principal zona de recarga do aquífero cárstico de Pains, onde os cursos de água superficiais são interrompidos em vales cegos, dolinas, uvalas e sumidouros. As ressurgências alimentam cursos de água no interior do planalto cárstico e também no Rio São Miguel, que constitui o nível de base local do aquífero (DIAS; VELASQUEZ, 2002). Também se destaca por ser o compartimento que possui o maior número de cavernas registradas, aproximadamente 1.800, que correspondem a mais de dois terços do número total registrado na região cárstica de Pains.



Figura 8 – Em cima, vista aérea de conjunto de maciços calcários na margem direita do Rio São Miguel. Abaixo, dolinamento no Planalto Cárstico Oeste do São Miguel. Fotos: Allan Calux.

2. Depressão Cárstica do Ribeirão dos Patos engloba uma vasta área deprimida ao longo do curso do ribeirão e alguns de seus tributários, com altitudes abaixo de 700 metros e declividade inferior a 8% na maior parte do compartimento. Predomina o modelado de carste desnudado com relevo plano onde se destacam maciços com lapiás (Figura 9). A densidade de drenagens vai de média a baixa, com escoamento superficial bem desenvolvido em alguns trechos. Dolinas, uvalas, sumidouros e ressurgências são recorrentes e contribuem para a concentração das mais expressivas lagoas do carste de Pains. Destacam-se, também, nesta unidade, os sistemas fluvio-cársticos do Córrego do Barreado e do Córrego do Cavalo, este último tributário da margem esquerda do Ribeirão dos Patos.



Figura 9 – Conjunto de maciços e lagoas na Depressão Cárstica do Ribeirão dos Patos. Foto: Allan Calux.

3. Planalto Cárstico do São Francisco, localiza-se na extremidade oeste do carste de Pains e abrange o cânion do Rio São Francisco e parte das bacias de alguns tributários em ambas as margens. O relevo tem altimetria entre 700 e 850 metros com escarpamentos subverticais, com até 80 metros de altura, que bordejam o rio ao longo de um trecho sinuoso de marcante controle litostrutural. A superfície acima das bordas do cânion tem declividade baixa, inferior a 8%, com intercalação de modelados de carste encoberto e carste desnudado, onde são registrados dolinamentos, vales cegos e afloramentos calcários.



Figura 10 – Paredões rochosos no cânion cárstico do Rio São Francisco. Foto: Allan Calux.

Unidade dos Depósitos Aluvionares Cenozoicos, caracterizada pela atuação de processos de acumulação, que envolvem erosão, transporte e sedimentação em sistema fluvial meandrante. Predominam sedimentos de granulometria entre argila e cascalho, depositados em planícies de inundação fluvial e fluvioacustre, de baixa declividade, controladas estruturalmente por linhas de falha.

Nesta unidade foram mapeadas cinco planícies aluviais ou Unidades Morfoesculturais correspondentes aos cursos de água mais expressivos: Planície Aluvial do São Francisco (Figura 11); Planície Aluvial do São Miguel; Planície Aluvial do Rio Santana; Planície Aluvial do Rio Preto; Planície Aluvial do Rio Bambuí.



Figura 11 – Planície aluvial do Rio São Francisco, com destaque para a ocorrência de meandros abandonados. Foto: Allan Calux.

4.2 O ENDOCARSTE

Por definição, o endocarste corresponde a todo o espectro de vazios subterrâneos e feições dissolutivas, incluindo as cavernas. De forma simplificada, trata-se da zona subterrânea do carste, sendo caracterizado principalmente pela presença de condutos (geralmente condicionados pela porosidade secundária da rocha) e seus respectivos depósitos químicos, clásticos e orgânicos (BÖGL, 1980). Esses condutos, normalmente estruturados em uma rede subterrânea, um sistema, são produto da interação de processos dissolutivos que atuam sobre um substrato solúvel, normalmente carbonático. Uma das questões fundamentais para a compreensão do funcionamento desses sistemas é entender como a água circula nesses ambientes, que podem ser completamente submersos (ambiente freático), parcialmente submersos (transição freático-vadosa) ou completamente subaéreos (ambiente vadoso).

Na interface entre a superfície do relevo (exocarste) e o meio subterrâneo (endocarste) existe uma zona intermediária de extrema importância no processo de formação e expansão dos vazios, o Epicarste. É nessa zona, situada entre 3 e 10 metros de profundidade, que as águas superficiais, que percolam no solo ou em outros materiais de alteração, se enriquecem com CO_2 produzido pelas raízes das plantas tornando-se mais ácidas. Desse modo, os processos de dissolução da rocha carbonática ocorrem com mais eficiência na parte superior do substrato rochoso, diminuindo à medida que se distancia da zona de fornecimento de CO_2 .

A gênese e a evolução do endocarste podem ocorrer, segundo Bretz (1942), Ford (1971) e Palmer (1997), na zona vadosa (acima do nível freático), na zona freática ou abaixo dela. Condutos vadosos são formados pela ação gravitacional da água subterrânea, acima do nível freático. Esses condutos são menos desenvolvidos horizontalmente em função da maior energia hidrodinâmica. Ao atingir a zona de saturação, o fluxo torna-se menos agressivo, agindo mais lentamente ao longo dos planos estruturais da rocha (Figura 12).

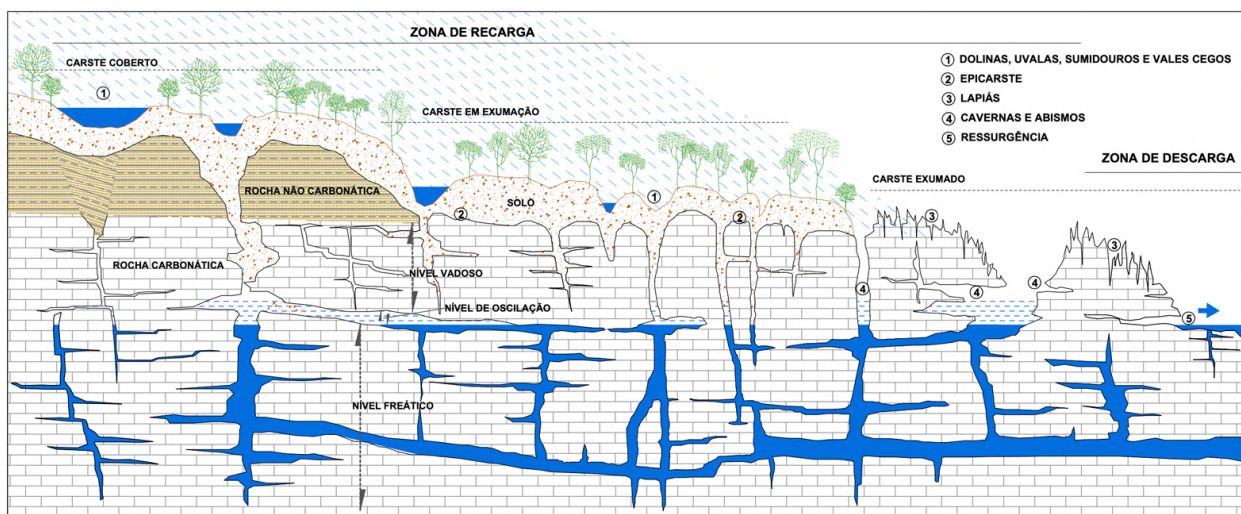


Figura 12 – Esboço esquemático das zonas hidrológicas, das principais feições e ambientes de formação e ampliação do sistema subterrâneo no carste: i) zona superficial de recarga, com escoamento superficial e captura de fluxo por dolinas, sumidouros, vales cegos (1) ou mesmo pelas superfícies de lapíás dos maciços (3); ii) percolação através do solo gerando perfil de alteração e alargamento das fissuras no epicarste (2); iii) nível vadoso, com circulação livre da água por condutos sob ação da gravidade; iv) nível de oscilação freática na zona de descarga por ressurgências (5). Nesse ambiente, os condutos podem estar secos ou inundados, permitindo o acesso humano (4); v) nível freático, condutos totalmente ocupados pela água. Adaptado de Kohler (1994).

As cavernas, elemento fundamental dos sistemas cársticos subterrâneos, serão abordadas no Capítulo 6. No entanto, é importante destacar que a evolução do exocarste e a do endocarste estão intimamente relacionadas. Mylroie (1984) destaca que a água subterrânea é um importante agente geomórfico nas paisagens cársticas, ao ponto que a evolução do relevo pode ser fortemente influenciada pela maneira como a água subterrânea transita em direção a uma ressurgência. Segundo ele, no carste ocorre um *feedback* positivo: a evolução da drenagem subterrânea influi na evolução do relevo e vice-versa.

Na região cárstica de Pains há bons exemplos das diferentes fases do processo evolutivo da paisagem e do endocarste, com condutos inteiramente inseridos na zona freática, evidenciadas pelo complexo sistema de circulação da água no aquífero cárstico. Condutos na zona de oscilação do sistema freático também são frequentes, sendo bons exemplos os da Gruta do Éden, da Gruta dos Milagres, da Lapa dos Defuntos, entre outros. Nessas mesmas cavernas, assim como em muitas outras na região, existem condutos completamente desconectados da zona freática e que guardam em suas paredes e tetos o registro da passagem da água em tempos remotos (Figura 13).



Figura 13 – Vista do setor oeste da Gruta dos Milagres que preserva no teto os *scallops*, marcas esculpidas pelo fluxo da água subterrânea, num momento em que o rio passava pelo conduto. Foto: Ataliba Coelho.

Segundo Magalhães (1988) e Alkimim (1996), a carstificação (ou seja, o processo de formação dos condutos subterrâneos) é condicionada pelos planos de fraturas e falhas geradas durante o tectonismo Proterozoico, podendo ocorrer também ao longo dos planos de acamamento, em muitos locais deformado em decorrência da proximidade da Faixa de Dobramentos Brasília (Figura 14). Dias e Velasquez (2002) compararam as principais direções de desenvolvimento de cavernas da Bacia do Rio São Miguel, obtidas nos mapas topográficos, com os alinhamentos de condutos, medidas em afloramentos. Os resultados mostra-

ram nítida associação entre estes, indicando fluxos subterrâneos pretéritos com tendências para N0-30W e N70-80E. Direções bastante próximas foram obtidas na orientação dos maiores eixos de grandes dolinas e uvalas, N-NW e E-NE. No entanto, dolinas menores apresentaram direções preferenciais N50-60W e E-W que, segundo os autores, constituem bons indicadores de direção de fluxo atual no carste. Esses dados foram por eles interpretados como indicadores de mudanças na direção do fluxo subterrâneo que podem ser decorrentes de eventos tectônicos ocorridos no Cenozoico.



Figura 14 – Deformações nos planos de acamamento da rocha calcária são expostas no teto da Gruta Bonita na região do Córrego do Barreado. Foto: Ataliba Coelho.

5. CONCLUSÕES

Este capítulo apresentou uma síntese dos principais estudos sobre a paisagem da região cárstica de Pains. Uma região de grande importância científica e econômica, caracterizada por um relevo peculiar que abriga formas diversas esculpidas em carbonatos do Grupo Bambuí.

Situado na região do Alto São Francisco, o carste de Pains ocupa uma área de aproximadamente 130.000 hectares, na zona de transição dos biomas Mata Atlântica e Cerrado, abrangendo a maior parte das bacias hidrográficas do Rio São Miguel, do Ribeirão dos Patos, além de porções menores das bacias dos córregos do Atalho, do Ribeirão Sujo, do Ribeirão das Araras e do Rio Grande.

Os cursos de água no carste de Pains são majoritariamente superficiais, diferentemente do que se observa em relevos cársticos mais evoluídos, onde há predominância de drenagem subterrânea. A área mais carsificada da região encontra-se na porção a montante da Bacia do Rio São Miguel, principal zona de recarga do aquífero cárstico e local onde se registra a maior concentração de dolinas e sumidouros, que absorvem e drenam o fluxo em direção a um complexo sistema de condutos subterrâneos, que responde por mais de 60% da vazão total desse curso de água.

O relevo superficial, ou exocarste, é marcado por formas resultantes dos processos de dissolução da rocha carbonática, tais como maciços calcários, campos de lapiás, dolinas, uvalas, vales cegos e sumidouros. Nesse contexto, destacam-se o Planalto Cárstico do São Miguel e a Depressão Cárstica do Ribeirão dos Patos como os compartimentos mais representativos do modelado de carste desnudado e que concentram a esmagadora maioria das cavernas da região. Nos compartimentos do Planalto Fluvio-cárstico de Doresópolis-Iguatama e do Planalto Dissecado de Bambuí, predominam o relevo de transição, onde as formas cársticas se manifestam de modo mais restrito, devendo ser destacados os sistemas fluvio-cársticos do Córrego do Cavalo e do Córrego do Barreado, que será abordado de modo mais detalhado no Capítulo 10.

Em relação às cavernas, que constituem elemento fundamental dos sistemas cársticos subterrâneos, a região cárstica de Pains apresenta exemplos que testemunham um complexo sistema de circulação de matéria e energia, notadamente polifásico. A evolução do endocarste e a do exocarste estão intimamente relacionadas, constituindo para alguns autores processos de *feedback* positivo. Isso é corroborado pelas análises geoestruturais, que evidenciam associação entre o desenvolvimento das cavernas e de grandes dolinas e uvalas, na superfície. Apesar dessas indicações iniciais, há ainda muito trabalho a ser feito. A grande densidade de cavernas observada na região cárstica de Pains constitui verdadeiro desafio logístico para o desenvolvimento de estudos sistemáticos, no entanto, esse é um caminho inevitável para que tenhamos uma compreensão abrangente acerca dessa importante área.

REFERÊNCIAS

- ALKIMIM F. F. A Deformação das Estruturas Proterozoicas do Cráton São Francisco e seu Significado Tectônico. **Revista da Escola de Minas**, v. 49, n. 1, p. 22-37. UFOP. Ouro Preto, 1996.
- ALMEIDA, F. F. M. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 7, n. 4, p. 349-364, 1977.
- BÖGLI, A. Solution of limestone and karren formation. In: SWEETING, M. M. (Ed). 1983. **Karst Geomorphology**. Hutchinson Ross Publishing Company: Benchmark Papers in Geology, n. 59, 1960, 12p.
- BRETZ, J. H. Vadose and phreatic features of limestone caves. **J. Geol.**, v. 50, n. 6, p. 75-811, 1942.
- BREWER, R. **Fabric and mineral analysis of soils**. Hunston / N. York: Robert E. Krieger Publs. Co. 1976, 482p.
- DARDENNE, M. A. Zonização Tectônica da Borda Ocidental do Cráton São Francisco. In: 30º. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Soc. Bras. Geol. **Anais [...]**, v. 12, Recife, p. 597-610, 1978.
- DIAS, F. S.; VELÁSQUES, L. N. M. Hidrogeologia da Bacia do Rio São Miguel, municípios de Pains e Arcos – MG. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10 a 13 de setembro de 2002, Florianópolis. **Anais [...]** Florianópolis: ABAS. p. 1-20, 2002.

FORD, D. C. **Geologic structure and a new explanation of limestones cavern genesis:** cave res. group, G.B., trans., v. 13, n. 2, p. 81-94, 1971.

FORD, D. C.; WILLIAMS, P. W. **Karst Geomorphology and Hidrology.** United Kingdom: Wiley, 2007.

FREITAS, P. M. C. **Estudo de intercomunicação hidráulica superficial-subterrânea no carste da área periurbana de Pains – MG, utilizando-se traçador rodamina WT.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 2009, 77p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de Clima do Brasil.** Escala 1:5.000.000. 2002. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#12>. Acesso em: 15 mar. 2021.

KOHLER, H. C. Geomorfologia Cárstica. *In: Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.* GUERRA, J. T.; CUNHA, S. B. da. (Org.). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. Cap. 7, p. 309-334, 1994.

MAGALHÃES, P. M. Análise Estrutural das Rochas do Grupo Bambuí na Porção Sudeste da Bacia do São Francisco. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Ouro Preto, 1988.

MARTINS, T. I. S. Mapeamento Geomorfológico da Folha Piumhi, MG. 157 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

MARTINS, T. I. S.; RODRIGUES, S. C. Compartimentação Geomorfológica da Folha Piumhi, Região do Alto São Francisco, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia.** São Paulo, v. 17, n. 1. p. 145-162, 2016.

MARTINS NETO, M. A.; ALKMIM F. F. Estratigrafia e Evolução Tectônica das Bacias Neoproterozoicas do Paleococontinente São Francisco e suas Margens: registro da quebra de rodínia e colagem de gondwana. Bacia do São Francisco. *In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. (ed.). Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais,* Belo Horizonte, SBG/MG, p. 31-54, 2001.

MARTINS NETO, M. A.; PINTO, C. P. A Bacia do São Francisco: definição de base de dados. Bacia do São Francisco: *In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. (Ed.). Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais,* Belo Horizonte, SBG/MG, p. 01-08, 2001.

MENEGASSE, L. N. *et al.* **Avaliação das Disponibilidades Hídricas da Província Cárstica de Arcos-Pains-Doresópolis, Alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil.** 2000.

MORA, C. G. **Geoquímica Isotópica e Elementar dos Carbonatos da Formação Sete Lagoas, Grupo Bambuí, no Sul da Bacia do São Francisco.** Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (USP), 131 p., 2015. DOI: 10.11606/D.44.2015.tde-27052015-091200

PALMER, A. N. Origin and morphology of limestones caves. **Geological Society of America Bulletin,** v.103, p.1-21, 1991.

PATRUS, M. L. R. A. *et al.* Parcela Mineira da Bacia do Rio São Francisco: caracterização hidroclimática e avaliação dos recursos hídricos de superfície. *In: PINTO, C. P.; MARTINS NETO, M. A. (Ed.). Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais.* Belo Horizonte: SBG-MG, p. 285-326, 2001.

PIZARRO, A. P. Compartimentação Geológica-Geomorfológica da Província Carbonática-Espeleológica Arcos-Pains-Doresópolis-MG. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40; 1998, Belo Horizonte. **Anais [...]**, Belo Horizonte: SBG-MG, 1998.

RADAMBRASIL. Folhas SF 23/24. Rio de Janeiro/Vitória. **Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra – Projeto RadamBrasil**. Rio de Janeiro, 1982.

RIBEIRO, A. *et al.* **Geologia da Folha Piumhi SF.23-V-B-II**. Minas Gerais: UFRJ/CPRM, 2008.

SAADI, A. **Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais**: tensões intraplaca, descontinuidades crustais e morfogênese. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte, 1991.

SOCIEDADE EXCURSIONISTA E ESPELEOLÓGICA. Projeto Arcos-Pains Espeleologia (Proape). **Relatório Técnico**. Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP): Ouro Preto, 2012, 549p.



Gruta Joao Lemos. Foto: Ataliba Coelho.



CAPÍTULO 5

AS CAVERNAS DA REGIÃO CÁRSTICA DE PAINS

FERNANDO JOSÉ GALLO FRIGO
FLÁVIO SCALABRINI SENA
LUCÉLIO NATIVO DA ASSUNÇÃO

1. INTRODUÇÃO

O carste da região de Pains abrange oito municípios do centro-oeste do estado de Minas Gerais: Arcos, Córrego Fundo, Formiga, Dorésópolis, Iguatama, Pains, Pimenta e Piumhi, pertencentes à Sub-bacia Hidrográfica do Alto Rio São Francisco (IGAM, 2021). A região, sob o ponto de vista geomorfológico, pertence à Bacia e Coberturas Sedimentares do Rio São Francisco, com domínio do modelado cárstico, apresentando no seu conjunto morfoestruturas alternando paisagem com carste desnudado, com rocha exposta; e carste coberto – paisagem sem afloramento de rocha solúvel (RADAMBRASIL, 1983).



Figura 1 – Paisagem típica da região cárstica de Pains: carste desnudado ao fundo (com rocha calcária aflorante) e carste coberto à frente (onde não há afloramento de rocha). Espeleólogos à direita na entrada a montante da Gruta dos Defuntos, em Dorésópolis. Foto: Fernando Frigo.

Os terrenos cársticos também são caracterizados por redes contínuas de condutos subterrâneos, alargados pela dissolução da rocha calcária. Esses condutos interconectados constituem os sistemas de cavernas, responsáveis pela predominância da drenagem subterrânea, como na região de Pains.

O limite inferior do tamanho de um conduto subterrâneo (o precursor de uma caverna) é aceito como sendo cerca de 5-15 mm. Esse intervalo abrange os limites que permitem o fluxo turbulento através de aberturas iniciais sob o controle do gradiente hidráulico. Com o início desse fluxo, há um aumento da taxa de crescimento dos condutos, como também o acionamento do transporte efetivo de sedimentos (FORD; WILLIAMS, 2007).

No entanto, o termo “caverna” é comumente aplicado a aberturas naturais, geralmente em rochas, que são grandes o suficiente para a entrada humana. Essa definição, adotada pela União Internacional de Espeleologia – UIS, órgão que congrega as instituições de espeleologia ao redor do mundo, é claramente antropocêntrica e desperta dúvidas e controvérsias. Oficialmente, no Brasil, o termo caverna foi definido pelo Decreto Federal Nº 6.640/2008:

cavidade natural subterrânea é 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.

Neste capítulo será apresentado um panorama do conhecimento sobre as cavernas da região cárstica de Pains, com a compilação histórica do conhecimento, a distribuição espacial atual desse patrimônio, a contextualização geológico-estrutural, a apresentação sintética de atributos físicos das cavernas e a exposição de algumas cavidades notáveis da região. A fauna das cavernas, por sua vez, é tema do próximo capítulo (Capítulo 6).

2. BREVE HISTÓRICO DAS PESQUISAS ESPELEOLÓGICAS NA REGIÃO

O histórico das pesquisas espeleológicas tem início com o alemão Wilhelm Ludwig von Eschwege, que visitou em 1816 a região cárstica de Pains (então Formiga da Comarca do Rio das Mortes) para observações científicas e registro das salitreiras, publicando os resultados de suas campanhas de campo em 1833, em sua célebre obra – *Pluto Brasiliensis* (ESCHWEGE, 1994). De forma detalhada, descreveu interessantes observações de época sobre a Gruta da Cazanga (Loca Grande) e a paisagem a sudoeste da cidade de Arcos. Ainda no século XIX, Francisco de Paula Oliveira, que pertenceu à primeira turma de Engenharia Geológica da Escola de Minas de Ouro Preto, esteve 60 anos depois na salitreira visitada por Eschwege e publicou, em 1881, nos Anais da Escola de Minas de Ouro Preto, pequeno relato dessa excursão e discussões sobre as mesmas cavernas descritas pelo alemão (OLIVEIRA, 1881).

Já nas primeiras décadas do século XX, Antônio Olyntho dos Santos Pires, engenheiro de minas da Escola de Minas de Ouro Preto, publicou em 1929, na Revista do Archivo Público Mineiro, a monografia “Speleologia”, na qual relata cavernas por todo o Brasil, merecendo destaque a “Gruta dos Arcos” nas proximidades da cidade de Formiga, no vale do Rio Grande (PIRES, 1929). Ainda nessa época, podemos destacar que o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Divisão de Estatística Fisiográfica e da Viação, em 1939, publica a obra “As Grutas em Minas Gerais”, em homenagem a Álvaro Astolfo da Silveira, naturalista brasileiro que cadastrou e descreveu sistematicamente cerca de 350 cavernas, em vários municípios mineiros, por litologia, na célebre e magnífica obra. Descreve algumas cavernas na região de Pains, sendo quatro em Piumhi: Gruta dos Defuntos, Gruta Grande do Zezé, Gruta da Ponte de Pedra e Gruta da Pedreira; e algumas em Formiga, denominadas Grutas da Serra dos Pains (IBGE, 1939).

No início da década de 1970, as atividades na região ficaram a cargo dos espeleólogos de Ouro Preto. Edward Pinto de Lima destacou a Gruta da Cazanga na Revista Espeleologia, editada pela Sociedade Excursionista Espeleológica da Universidade Federal de Ouro Preto – SEE/Ufop (LIMA, 1970). Foi elaborado o mapeamento de toda a frente rochosa onde se localiza a Gruta da Cazanga e as duas pequenas cavidades a nordeste. Já Paulo A. M. de Almeida Rolff publica, em 1971, na Revista Espeleologia, “A Morfologia Cárstica no Bambuí de Arcos, MG”, onde faz considerações sobre “as Grutas da Cazanga” e a Gruta dos Milagres, em Pains. Em 1976, o mesmo autor publica, nos Anais do X Congresso Nacional de Espeleologia, “As Grutas dos Paus Secos, Arcos, MG”, em um relatório completo, com fotos, perfil geológico e descrição pormenorizada. Ricardo Rocha Filgueiras, por sua vez, publicou em outubro de 1975, na Revista Espeleologia da SEE/Ufop, um relato sobre a Gruta dos Milagres, possivelmente em Pains, e sobre a Loca Grande, em Dorésópolis. Esse estudo foi fruto de uma campanha de campo realizada com a participação de 24 espeleólogos da SEE/Ufop.

O Grupo Agster de Pesquisas Espeleológicas – Gape foi a segunda agremiação depois da SEE que se dedicou à espeleologia na região de Pains, prospectando e mapeando cavernas. Fundado no Instituto de Geociências da UFMG por um grupo de estudantes de geologia, em 1987, teve sua formação findada em 1994, com a fundação do Guano Speleo – IGC/UFMG. O Gape publicou nos Anais do XXI Congresso Brasileiro de

Espeleologia, em 1991, o primeiro inventário com 38 cavernas, praticamente todas de máxima relevância ambiental, incluindo a Gruta do Éden, em Pains. A Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE lançou o Cadastro Nacional de Cavidades Naturais/Índice de dados sobre as Cavernas no Brasil, em 1991, com os primeiros registros “oficiais” do Brasil e da região de Pains, onde se incluíam 38 cavidades prospectadas e mapeadas pelo Gape.

Na década de 1990, a região foi relatada em congressos nacionais e internacionais. Alexandre P. Pizarro, Fernando J. G. Frigo e Marcos S. Campello publicam: “Novos Dados da Província Arcos – Pains” no XXIII Congresso Brasileiro de Espeleologia de Monte Sião (MG), em 1995 (Figura 2). Flávio S. Sena publicou em 1998 no Informativo SBE nº 76: “O Patrimônio Cárstico na Província de Pains/MG”, contextualizando, quantificando e enfatizando a preservação das cavidades da região, que sofriam forte impacto com a pressão econômico-ambiental sobre a extração da rocha calcária. Frigo e Pizarro (1998), no XL Congresso Brasileiro de Geologia, publicam: “Distribuição das Cavernas da Província Carbonática e Espeleológica de Arcos-Pains-Doresópolis”. Campello, Frigo e Pizarro (2001) publicaram, no 13º Congresso Internacional de Espeleologia, realizado em Brasília: “*Updating the caves distribution of Arcos-Pains-Doresópolis Speleologic-Carbonatic Province*”. Foi apresentado um quadro de distribuição das cavidades, com base em prospecções espeleológicas para consultorias de licenciamento ambiental, em conjunto com dados das agremiações de espeleologia de Minas Gerais.

A PROVÍNCIA ESPELEOLÓGICA ARCOS-PAINS / MG

ATUALIZAÇÃO – 1995

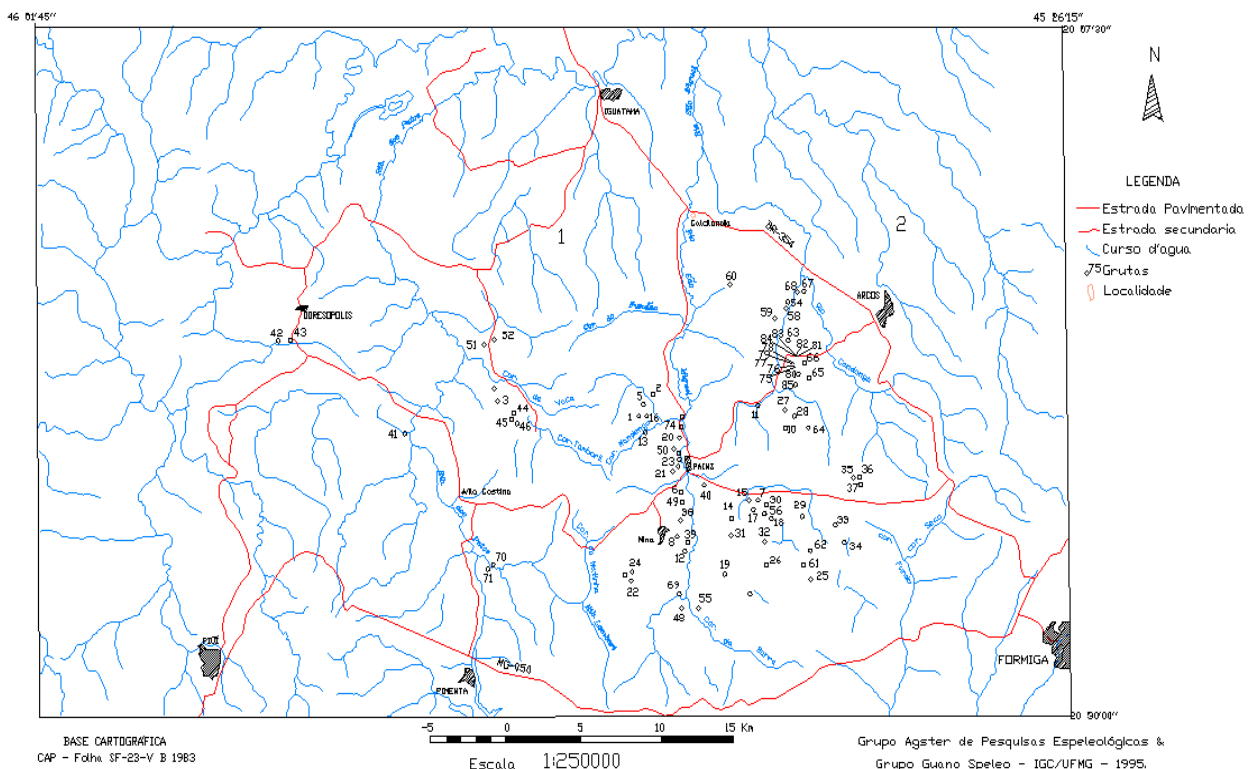


Figura 2 – Mapa da distribuição de 89 cavernas cadastradas e mapeadas pelo Grupo Agster de Pesquisas Espeleológicas, Guano Speleo, Espeleogrupo Pains e empresas de consultoria ambiental. Publicado em 1995 por Frigo e Pizarro, no 23º Congresso Brasileiro de Espeleologia, Monte Sião/MG.

Em 2012, o Ibama promoveu o Projeto Arcos-Pains-Espeleologia – Proape, originado do convênio entre ele, o Ministério Público Federal e a Ufop, representada pela SEE (SEE, 2012). Essa parceria foi firmada mediante o Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) entre essas entidades e a empresa Gerdaul, referente aos danos ocasionados ao patrimônio espeleológico na área denominada “Várzea do Lopes”, no Quadrilátero Ferrífero. O resultado foi a compilação de toda a documentação protocolada nos órgãos competentes (Ibama/CRBio e Sisema/MG) para licenciamento e controle ambiental, nos quesitos relevantes para o patrimônio espeleológico da região, editado e apresentado em agosto de 2012. Trata-se do conjunto de dados até então existente, resumindo, portanto, todo o acervo espeleológico da região cárstica de Pains.

Entre as agremiações de espeleologia que se empenharam na pesquisa e extensão na região se destacam cronologicamente: Sociedade Excursionista Espeleológica (SEE); Espeleogrupo Aníbal Matos (Espam); Grupo Agster de Pesquisas Espeleológicas (Gape); Núcleo de Atividades Espeleológicas (NAE); Guano Speleo, que atuou intensamente entre 1994 e 1999; e o atuante Espeleogrupo Pains (EPA), que em 27 anos de atividades descobriu um patrimônio de estimada beleza e importante significância científica.

3. CAVERNAS: OCORRÊNCIA, DISTRIBUIÇÃO E ASPECTOS DIMENSIONAIS

A distribuição ou ocorrência das cavernas está intimamente ligada à rocha aflorante. Salienta-se, ainda, que a distribuição ou ocorrência das cavidades está associada às características morfoestruturais e à diversidade geológica dos calcários “espremidos” entre os quartzitos do Grupo Canastra na Serra de Pimenta a oeste/sudoeste e o alto de Arcos com morrarias dos granitos-gnaisses no sudeste/leste do Grupo Barbacena (RADAMBRASIL, 1983).

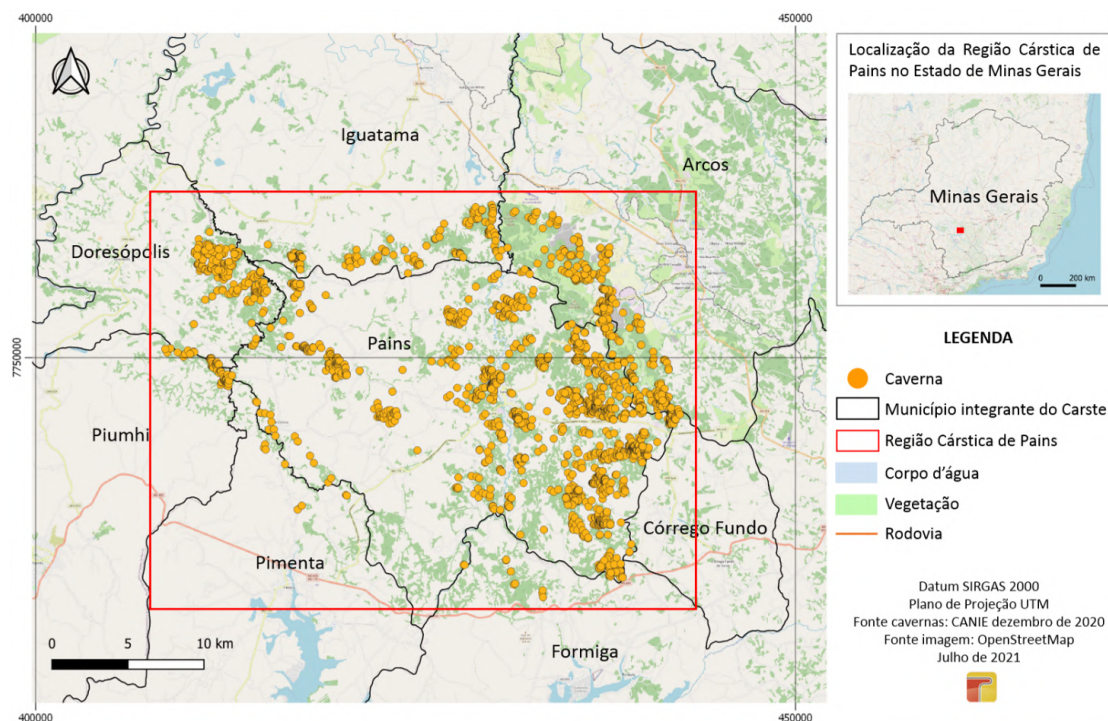


Figura 3 – Distribuição das cavernas na região cárstica de Pains, considerada a área com o maior número de cavernas carbonáticas do Brasil. Fonte: Canie (2020).

A região cárstica de Pains abriga atualmente mais de 2.500 cavernas, sendo considerada a região com o maior número de cavernas carbonáticas conhecidas do país (Figura 3), segundo o Cadastro Nacional do Inventário Espeleológico (Canie), do Centro Nacional de Pesquisas e Conservação de Cavernas – Cecav (CE-CAV, 2020). Esse elevado número é, sem dúvida, consequência dos inúmeros estudos espeleológicos elaborados por empresas de consultoria no processo de licenciamento ambiental para empreendimentos de mineração e indústria de transformação do calcário.

Na Figura 4 é possível acompanhar, historicamente, a evolução do cadastramento de cavernas na região cárstica de Pains, como também a distribuição das ocorrências por município. Em nove anos (2012 a 2021), o número de cavernas cadastradas triplicou na região. Salienta-se, ainda, que mais de 60% das cavernas cadastradas estão no município de Pains.

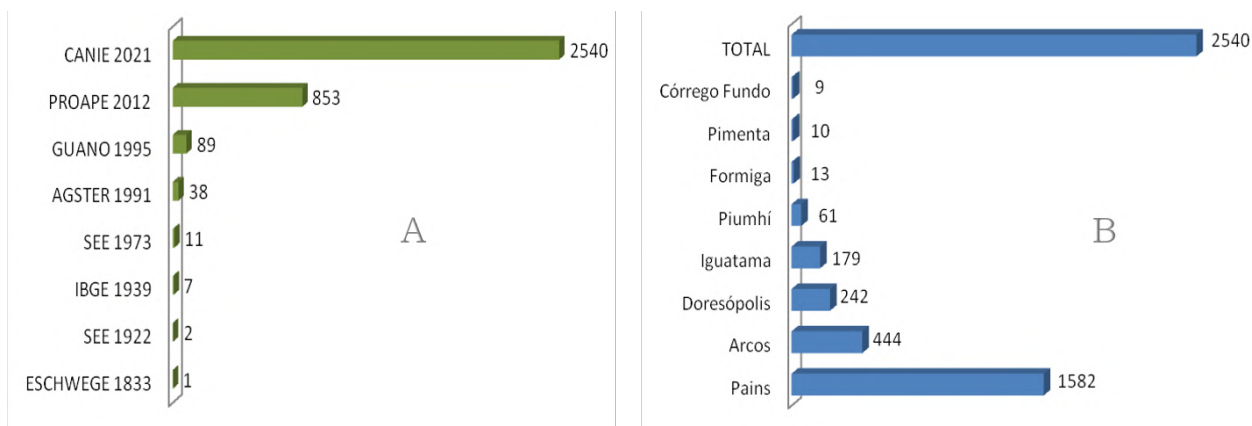


Figura 4 – A) Evolução histórica do cadastro de cavernas na região a partir de Eschwege. B) Distribuição do número de cavernas por município pertencente ao carste de Pains. Fonte: Cecav, 2021.

Em uma amostra de 204 cavidades, Ribeiro e Vilela (2009) registraram que 39% das cavidades apresentaram desenvolvimento linear (DL) menor que 10 metros; e 34% situam-se entre 10 e 30 metros. Já as cavernas entre 30 m e 50 m e entre 50 m e 100 m representam, respectivamente, 11% e 10%. Cavernas entre 100 m e 200 m representam 5% e cavernas acima de 200 m apenas 1% do total. Nessa amostra, a maioria das cavernas (73%) é inferior a 30 m de DL.

O Proape trabalhou com uma amostra de 854 cavidades na região, sendo 442 grutas, 182 tocas, 214 abrigos e 16 abismos, sendo obtida a seguinte distribuição dimensional das cavernas: 116 (14%) com menos de 10 m de DL; 336 (40%) com DL entre 10 m e 30 m; 148 (18%) com DL entre 31 m e 50 m; 124 (15%) com DL entre 51 m e 100 m; 80 (10%) com DL entre 101 m e 200 m e 23 (3%) com DL acima de 200 m (SEE, 2012). Mais da metade dessa amostra (54%) apresentou DL menor que 30 m.

Apesar de a maioria das cavernas da região apresentar pequenas dimensões, várias cavernas maiores que 300 m já foram registradas, merecendo destaque: Gruta do Isaias (345 m DL), Gruta da Cazanga (388,03 m PH), Gruta do Santuário (1.527,20 DL), Gruta dos Milagres (414,4 m PH); Gruta das Perobas (600,56 m), Gruta do Lamaçal (609,2 m de PH), Gruta do Brega (1.207 m PH) e Gruta do Narigudo (1.347 m DL). Todas elas destacam-se também pelo volume expressivo.

Atualmente, a Gruta do Éden é a maior caverna da região. Até 2007 a caverna possuía 1.953,4 m de DL. Entre 2007 e 2008, uma equipe de mergulhadores, liderada por Romeu Dib, prosseguiu mais 992 m (linha de trena) em conduto subaquático (zona freática), colocando a caverna com cerca de 2.945 m de

DL (Figura 5). A Gruta do Éden apresenta potencial para ampliar seus valores dimensionais, tendo em vista que a exploração subaquática ainda se encontra em curso.

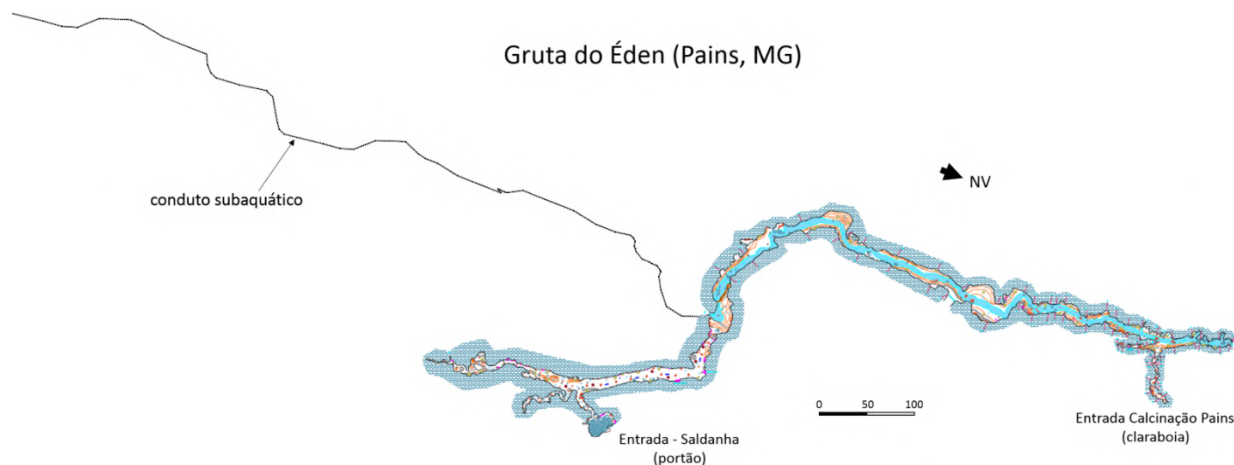


Figura 5 – Planta baixa simplificada da Gruta do Éden com a projeção da linha de trena do conduto subaquático. Fonte: Guano Espeleo (Modificado).

4. ASPECTOS LITOLÓGICOS E ESTRUTURAIS DAS CAVERNAS

Os aspectos litológicos e estruturais das cavernas encontradas na região cárstica de Pains estão ligados diretamente às litologias e à estruturação tectônica das rochas calcárias do Grupo Bambuí, submetidas às condições do arcabouço geológico regional, advindas dos esforços tectônicos de contato a oeste/sudoeste com os quartzitos do Grupo Canastra e em contato erosivo a leste/sudeste, como o Embasamento Cristalino do Complexo Barbacena (RADAMBRASIL, 1983).

Esse “movimentado” arcabouço tectônico-petrográfico-estratigráfico do Grupo Bambuí na região permitiu a evolução do exocarste e do endocarste em sua plenitude (Figura 6). Já foram registradas cavernas em calcários calcíticos e dolomíticos, maciços ou plaqueados, em brecha intraformal/deposicional, em níveis estromatolíticos, em níveis silicosos e até pelíticos.

O carste da região de Pains é fruto desse arcabouço tectônico, que impôs às rochas dobramentos macro/micro de alto/baixo ângulo, que, associados às falhas e fraturas, intensificaram o processo de carstificação e tipificação de praticamente todas as feições morfológicas superficiais e subterrâneas.

Muzzi-Magalhães (1989) propôs a existência de uma fase principal de deformação, e a subdividiu em duas etapas distintas: a primeira (ED1) originou falhas inversas de empurrão com planos de descolamentos e dobras flexurais, e a segunda (ED2) gerou zonas de falhas transcorrentes sinistrais, formadas pela ativação das fraturas de cisalhamento com direção N60W, responsáveis pela rotação das estruturas preexistentes. Os elementos estruturais indicativos de movimento permitem inferir vetores tectônicos com vergência de W para E. O referido autor sugere uma diminuição da magnitude de deformação de oeste para leste na região.



Figura 6 – Paredão calcário com dobramentos do tipo *kink bands* decamétricos dentro do cânion do Rio São Francisco, a montante da ponte do São Leão. Foto: Fernando Frigo.

Saadi *et al.* (1998) destacaram a atividade neotectônica nos processos de carstificação da região de Pains. As estruturas de distensão N30W e N40W corresponderiam às direções preferenciais. Destacaram, ainda, como resultado da atividade neotectônica, que as estruturas pré-cambrianas teriam sido reativadas, destacando as direções N30E, N70E, N50E e a direção NS.

Rosa (2015), analisando a tendência dos lineamentos magnetométricos no mapa de amplitude do sinal analítico na região da Gruta do Santuário, em Pains, verificou que a principal direção é NW-SE, seguida por duas famílias de lineamentos de direção NE-SW e outra com direção próxima a NS. Luís B. Piló e colaboradores (ver Capítulo 10) efetuaram medidas em fraturas no interior das cavernas da RPPN Luís Beethoven Piló e indicaram a direção preferencial NW-SE e, secundariamente, NE-SW. Os mergulhos apresentaram direções preferenciais para SW, com ângulos entre 22° e 88° graus.

5. MORFOLOGIAS DAS CAVERNAS

Nas cavernas calcárias, os diversos tipos de recarga hídrica, a litologia e a estrutura (porosidade secundária), assim como a direção de escoamento da água subterrânea (gradiente hidráulico), irão influenciar o padrão morfológico das cavernas. No caso das cavernas da região de Pains, essas são geralmente de pequenas dimensões, ou seja, são pequenos fragmentos de sistemas maiores de drenagem subterrânea, o que impede uma melhor avaliação dos padrões planimétricos das cavernas. No entanto, nas cavernas maiores, é possível identificar claramente alguns padrões definidos por Palmer (1991): ramificadas e reticuladas.

As cavernas curvilíneas ramificadas (*branchwork*) são as mais comuns no mundo, sendo constituídas por um conduto de rio subterrâneo principal, que pode estar ativo ou seco, com condutos laterais representando tributários do conduto principal. Representam certa similaridade com as bacias de drenagem superficiais, com o rio principal e seus afluentes (padrão dentrítico). Nesse padrão, a recarga hídrica é feita principalmente por depressões fechadas (dolinas e uvalas). Os condutos são mais sinuosos quando controlados pelo acamamento e, mais angulares, quando controlados por fraturas (Figura 7). Esse padrão pode ser identificado, por exemplo, no Buraco dos Curiós, na Gruta do Éden, Buraco do Narigudo e no Sistema Serra Azul.

De ocorrência menos comum, podemos citar o padrão reticulado (*network*), que se caracteriza por uma rede de condutos que se entrecruzam condicionada por fraturas. Geralmente, a recarga hídrica é feita de forma difusa. Um bom exemplo desse padrão é a Gruta Dinamite (Figura 7), como também a Gruta do Cano D'água.



Figura 7 – Padrões planimétricos já identificados na região cárstica de Pains: A) padrão curvilíneo ramificado da Gruta Buraco dos Curiós (Fonte: Guano Espeleo modificado); B) padrão reticular da Gruta Dinamite. (Fonte: Gape modificado).

Além dos padrões planimétricos, as seções dos condutos das cavernas são uma resposta ao entalhamento subterrâneo. Em decorrência do regime de fluxo, os condutos podem ser classificados, de forma simplificada, em vadoso e freático. Os condutos vadosos ocorrem nos setores superiores do aquífero e tendem a ter altos gradientes. Os condutos são relativamente altos e estreitos em seção transversal, especialmente onde o gradiente hidráulico é íngreme. A pressão da água e a dissolução estão concentradas no piso e nas paredes mais baixas (Figura 8).

Os condutos freáticos ocorrem abaixo do lençol freático e transmitem as águas subterrâneas desde a zona vadosa até as extremidades da descarga do aquífero. Esses condutos têm gradientes relativamente baixos e geralmente contêm acúmulos significativos de sedimentos onde cruzam com os condutos vadosos. Destacam-se morfologias produzidas por fluxo de água sob pressão, gerando condutos tubulares e elípticos (Figura 8).

Com o entalhamento subterrâneo, os condutos freáticos poderão ser drenados e modificados por uma nova fase vadosa. A mudança morfológica mais frequente é o conduto em fechadura, ou seja, um conduto freático entalhado no piso gerando uma forma superimposta da ação dos diferentes regimes hidrológicos.

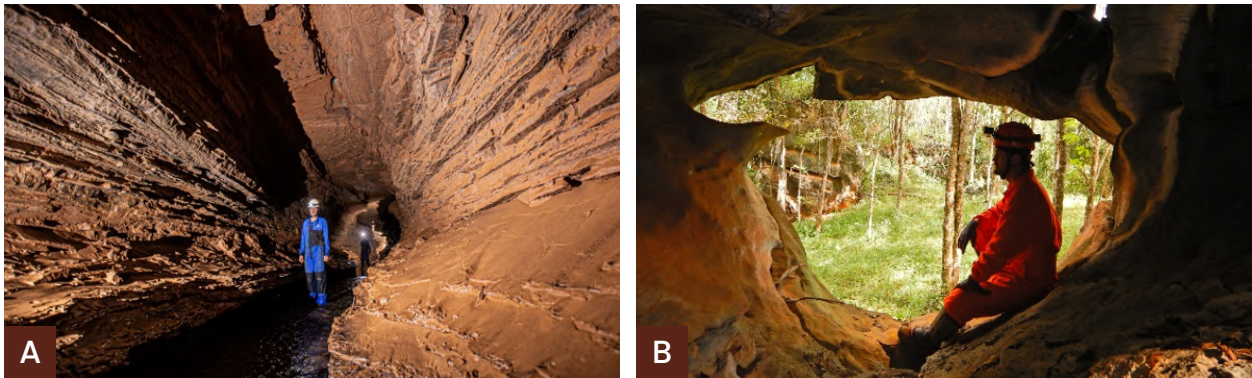


Figura 8 – A) Conduto vadoso ativo no Buraco do Narigudo (Foto: Gabriel Lourenço); B) Conduto de morfologia freática na Gruta do Túnel (Foto: Luís Piló).

Os *espeleogens* são feições de dissolução em pequena escala na superfície rochosa da ordem de poucos milímetros a poucos metros. Alguns são inerentes ao processo espeleogenético inicial, mas a maioria é superimposta posteriormente nas paredes dos condutos. Nas cavernas do carste de Pains já foram registrados diversos tipos de *speleogens*, merecendo destaque os canais anastomóticos de teto, *scallops*, pendentes, *bell holes*, meio tubo de teto, *flutes*, buracos de gotejamento, entre outros (Figura 9).

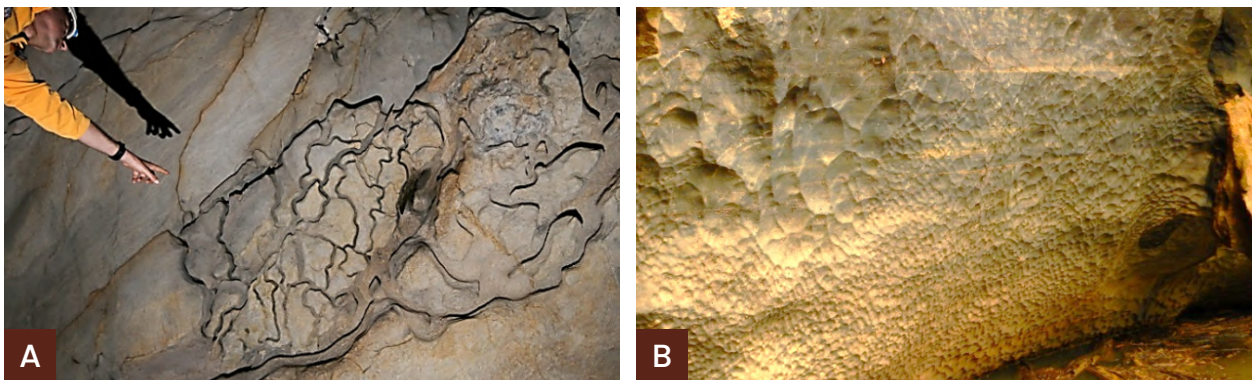


Figura 9 – A) Canais anastomosados no teto da Gruta do Santuário (Foto: Joe Bazílio); B) *Scallops* no sumidouro da Gruta dos Milagres (Foto: Luís Piló).

6. SEDIMENTOS CLÁSTICOS E ESPELEOTEMAS

Os sedimentos clásticos transportados para dentro da caverna pela água, vento e movimentos de massa são de origem alóctone, em comparação com os sedimentos formados no interior da caverna, que são de origem autóctone. A maioria das cavernas apresenta contribuição mista, ou seja, sedimentos vindos de fora e aqueles produzidos internamente. Os sedimentos alóctones são constituídos de material silto-argiloso originado principalmente da cobertura de solos e de sistemas fluviocársticos existentes na região de Pains.

Os depósitos clásticos originados dos solos apresentam, no geral, coloração avermelhada ou amarelada em decorrência da presença de óxido-hidróxidos de ferro. Esses sedimentos foram e estão sendo injetados via sumidouros (eventos episódicos), como também através de claraboias e fendas alargadas principalmente do epicarste. Já os sedimentos dos sistemas fluviais são diversificados, variando de cascalhentos a lamosos. O grau de seleção dos depósitos reflete variações nas condições do fluxo (velocidade e turbulência) e retrabalhamentos no ambiente deposicional. Argilas expansivas podem ser registradas na zona de oscilação do lençol freático (zona epifreática), como observado nas grutas do Lamaçal, Éden e Sumidouro da Loca D'água.

De origem autóctone, podemos citar os blocos abatidos, originados de movimentos de massa do tipo abatimentos nas paredes e tetos das cavernas, caracterizando sedimentos típicos de ambiente vadoso. Os clastos são de granulometria variada, no entanto, calhaus e matações angulosos são predominantes, indicando pouco transporte. Fácies de entrada são comuns nas cavernas da região.

Restos de antigas brechas já foram observados em diversas cavernas. Essas brechas apresentam matriz suportada vermelha e amarelada com grânulos e seixos arredondados e subarredondados de material ferruginoso. É certo que durante a história evolutiva do carste regional, várias cavernas foram preenchidas total ou parcialmente por sedimentos clásticos, de origem gravitacional e, em menor escala, fluvial (Figura 10).

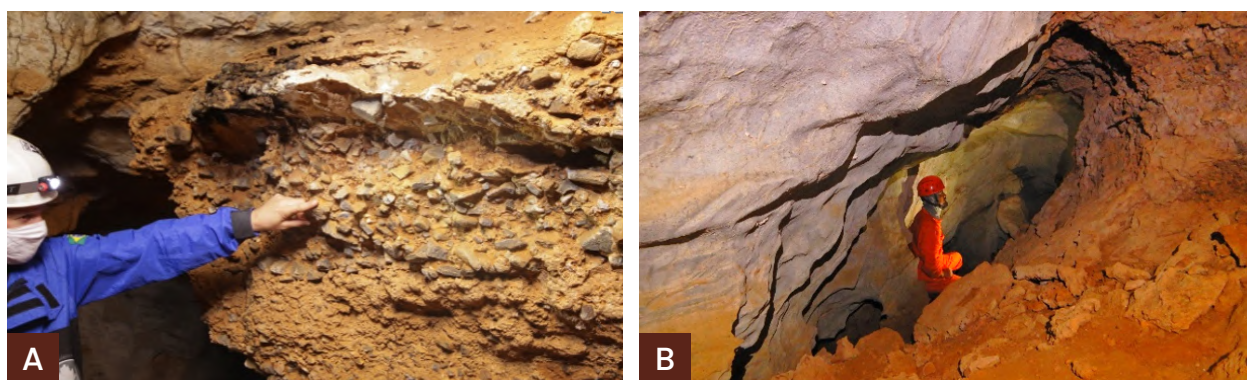


Figura 10 – A) Brecha concrecionada na parede da Gruta do João Lemos (Foto: Joe Bazílio); B) Sedimentos vermelhos de origem predominantemente alóctone preenchendo parcialmente um conduto na Gruta do Alagadiço (Foto: Luís Piló).

Espeleotemas são depósitos de minerais secundários formados em cavernas. Os carbonatos, um grupo que tem o ânion $(\text{CO}_3)^{2-}$ como seu componente essencial, compõem a classe predominante de minerais precipitados nas cavernas calcárias, incluindo a calcita, a dolomita e a aragonita.

Os espeleotemas mais comuns, na região, são aqueles gerados por águas circulantes, incluindo travertinos, estalactites, estalagmites, colunas, cascatas, cortinas, crostas estalagmíticas, entre outros tipos. As grutas dos Milagres, Defuntos, Bonita, João Lemos, Zezinho Beraldo, Paranoá, Tio Rafa e Casca Fina são exemplos de cavernas bem ornamentadas na região, com destacados conjuntos de espeleotemas.

Espeleotemas menos frequentes, originados de processos de exsudação e de águas estagnadas, como helictites, pérolas de cavernas, *blister*, também já foram identificados na região, com destaque para as cavernas Casca Fina, João Lemos e Éden. Espeleotemas magníficos e extremamente raros, como as flores de aragonita e as agulhas de gipsita, foram registrados nas grutas Coqueiro III e do Éden. Flores de aragonita são espeleotemas compostas por longos cristais semelhantes a agulhas situados em aglomerados que se irradiam para fora de um núcleo comum (Figura 11).



Figura 11 – A) Represas de travertinos próximas ao grande salão da Gruta do Brega (Foto: Joe Bazílio); B) *Blisteres* encontrados no salão distal da Gruta do João Lemos (Foto: Joe Bazílio); C) Magníficas flores de aragonita no teto da Gruta Coqueiro III (Foto: Gabriel Lourenço); D) Cristais de mirabilita ou gipsita pendentes na parede da Gruta do Éden (Foto: Fernando Frigo); E) Pérolas de cavernas no Buraco do Narigudo (Foto: Gabriel Lourenço); F) Colunas e cortinas na Gruta do Éden (Foto: Gabriel Lourenço).

7. ASPECTOS ESPELEOGENÉTICOS

A espeleogênese da região cárstica de Pains está relacionada à evolução epigenética, ou seja, as cavernas foram e estão sendo geradas pelo fluxo de água a partir de zonas de recarga na superfície, oriundas de águas pluviais ou drenagens superficiais. Esse tipo clássico de espeleogênese compreende a maior parte das cavernas carbonáticas existentes no mundo.

Segundo Auler e Piló (2019), as cavernas epigênicas podem ocorrer em todos os tipos de zonas hidrológicas. Na zona freática, os condutos tenderão a escolher o percurso mais simples de acordo com a inclinação da superfície do lençol freático (o gradiente hidráulico), em direção à zona de descarga. As fraturas e os planos de acamamento mais propícios serão utilizados. Importantes sistemas de cavernas da região cárstica de Pains desenvolvem-se parcialmente na zona freática, a exemplo do sistema de cavernas: Gruta do Narigudo – Loca Feia – Loca do Angá; Sumidouro do Sócrates – Gruta do Éden – ressurgência das Angolinhas.

Algumas cavernas também se desenvolvem no contato entre as zonas freática e vadosa, principalmente por ocasião das chuvas sazonais, como pode ser observado na Gruta do Lamaçal, na Gruta Santuário, na Gruta Vaca Queimada, na Gruta Serra Azul, nos condutos inferiores da Gruta dos Milagres, entre outras. Já a zona vadosa ou não saturada é dominada pela gravidade; o fluxo tende a ser direcionado para baixo abruptamente. Buraco do Narigudo, Loca D'água e Loca do Zé da Fazenda são bons exemplos de cavernas vadosas.

Os registros morfológicos e sedimentares dos condutos indicam que, após a fase de iniciação, as cavernas da região evoluíram, predominantemente, de forma descendente (singênese). Cavernas ampliadas de forma ascendente, em decorrência da existência de camadas inibidoras de sedimentos no piso (paragênese), não são aparentemente frequentes na região, mas registros localizados já foram identificados, por exemplo, no conduto do sumidouro da Gruta dos Milagres. Há claras evidências de que, durante a história evolutiva do carste regional, várias cavernas foram preenchidas total ou parcialmente por sedimentos. Geralmente, esses sedimentos são produtos de movimentos de massa (fluxos de lama) transportados provavelmente em regime vadoso durante o período de chuvas.

8. ALGUMAS CAVERNAS NOTÁVEIS DA REGIÃO

As cavernas notáveis são aquelas que, de maneira especial, são conhecidas pelas comunidades que as cercam, além de possuírem atributos relevantes que as colocam entre as mais expressivas cavernas da região.

8.1 GRUTA DA CAZANGA OU LOCA GRANDE

A Gruta da Cazanga ou Loca Grande foi a primeira caverna descrita na região cárstica de Pains. Em 1816, o engenheiro de minas e naturalista alemão Wilhelm Ludwig von Eschwege visitou algumas cavernas na região, denominadas de salitreiras, pois eram utilizadas para a extração da terra salitrosa para a fabricação de pólvora. Mereceu destaque a Gruta Loca Grande (atualmente Cazanga), a respeito da qual Eschwege fez um interessante relato sobre a rocha calcária, os sedimentos clásticos, a ocorrência de fósseis (inclusive humanos) e a possível gênese da caverna. Ele destacou, ainda, a existência de uma fábrica de salitre nas proximidades da caverna, denominada Boa Vista, operada por dez escravos. O salitre produzido era vendido para a Real Fábrica de Pólvora do Rio de Janeiro (ESCHWEGE, 1944). Posteriormente, a caverna foi frequentemente visitada pela população local e por espeleólogos. Essa intensa visitação pode ser comprovada ao longo das paredes e do teto da caverna que apresentam muitas inscrições e pichações. A caverna também foi utilizada para peregrinações religiosas, fato comprovado pela presença de imagens e nichos com Nossa Senhora Aparecida localizados no final do conduto principal e pelos vestígios de velas ao longo de toda a caverna. A cavidade é ampla, de fácil acesso e possui aproximadamente 388 m de projeção horizontal (Figura 12). Placas comemorativas históricas foram inseridas nas paredes em 1919 e 1933, sendo nesta última em homenagem ao Barão Eschwege.



Figura 12 – Amplos condutos da Gruta da Cazanga, visitada por Wilhelm Ludwig von Eschwege no começo do século XIX. Foto: Ataliba Coelho.

8.2 GRUTA DOS MILAGRES

A Gruta dos Milagres, localizada na divisa entre os municípios de Piumhi e Doresópolis, apresenta 414 m de projeção horizontal. A caverna foi inicialmente mapeada em junho de 1999 pelo Guano Speleo. Atualmente, parte da caverna (entrada a jusante) encontra-se inserida dentro da RPPN Luís Beethoven Piló (ver Capítulo 10). Trata-se de uma caverna com expressivo volume, dividido em três níveis: o inferior, quase praticamente submerso pelo Córrego do Barreado, o nível das duas entradas e um superior. A caverna é ricamente ornamentada (Figura 13), apesar do alto grau de depredação dos espeleotemas.

Destacam-se, também, vestígios arqueológicos incluindo cacos cerâmicos e artefatos líticos. A gruta já foi palco de manifestações religiosas, atualmente abandonadas.



Figura 13 – Entrada ampla e bem ornamentada da Gruta dos Milagres, com destaque para uma grande coluna com escorrimentos. Foto: Ataliba Coelho.

8.3 GRUTA DOS DEFUNTOS

A Gruta dos Defuntos apresenta pelos menos três acessos identificados em um amplo conduto de dois níveis morfológicos, sendo o inferior praticamente todo submerso pelo Córrego do Barreado. O conduto principal apresenta muitos espeleotemas, destacando-se colunas, cascatas, cortinas, represas de travertino, coraloides, estalagmites, estalactites e pisos estalagmíticos (Figura 14). A caverna totaliza 150 m de projeção horizontal. No setor SE da entrada, ocorrem sedimentos arqueológicos, onde foram identificados cacos cerâmicos e restos humanos. A Gruta dos Defuntos encontra-se dentro dos limites da RPPN Luís Beethoven Piló (Capítulo 10).



Figura 14 – Interior bem ornamentado da Gruta dos Defuntos. Através de um pequeno conduto de forte aclave é possível observar o nível inferior da caverna, onde flui o Córrego do Barreado. Foto: Ataliba Coelho.

8.4 GRUTA DO ÉDEN

A Gruta do Éden foi batizada durante sua descoberta em novembro de 1988 pelo Grupo Agster de Pesquisas Espeleológicas (Gape), agremiação que atuou na região entre 1987 e 1994. A caverna possui três níveis: um seco e superior, um intermediário representado pela drenagem subterrânea (Figura 15), somando ambos 1.728 m, e um terceiro nível subaquático de aproximadamente 992 m, com a presença de estalactites decimétricas relevando pretérito setor vadoso. Atualmente, é a maior caverna da região cárstica de Pains, com 2.945 m de DL. Há raras deposições químicas de aragonita e gipsita no interior da caverna. A gruta faz parte de um sistema hidrológico constituído, de montante a jusante: pelo sumidouro da Mina, janela do Sócrates, Gruta do Éden, Gruta do Sonho, surgência da Angolinha, sumidouro da Gruta do Zé da Fazenda e, finalmente, a jusante, aparece como ressurgência no piso da mina abandonada da Gecal. Parte da descarga desse sistema hidrológico subterrâneo é utilizada pelo serviço de águas – SAAE para abastecimento da cidade de Pains. Segundo Ferrari (2018), o estabelecimento de *buffers* ou zonas tampão ao redor das feições que promovem a recarga concentrada do aquífero (como o Córrego da Mina e as depressões fechadas) é a estratégia para minimizar impactos ambientais nessa caverna de excepcional relevância.

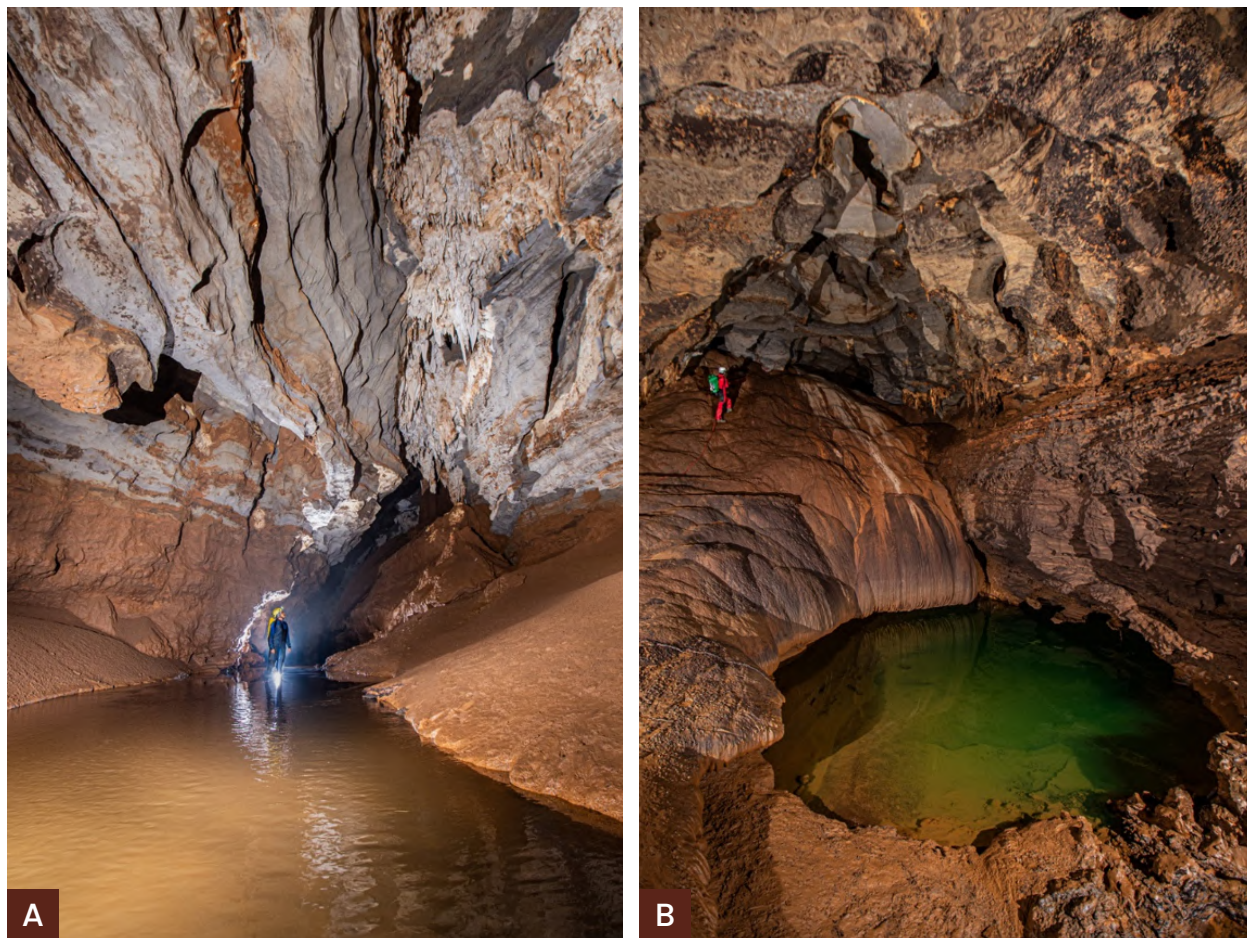


Figura 15 – A) Drenagem subterrânea no nível intermediário da Gruta do Éden; B) Superfície do lençol freático no interior da caverna; local de acesso ao conduto submerso. Fotos: Gabriel Lourenço.

8.5 GRUTA DO BREGA

A Gruta do Brega, localizada nas proximidades do Ribeirão dos Patos, foi primeiramente mapeada em 1998 pelo Guano Speleo, totalizando uma projeção horizontal de 1.207 m pelo método descontínuo. Com largura média de 30 m e altura de 15 m, é muito provavelmente a cavidade de maior volume na região cárstica de Pains, incluindo o maior salão (Figura 16). Possui sistema hidrológico efêmero. Destacam-se, na gruta, o “mar de travertinos” do conduto superior e as deposições químicas na forma de microagulhas de aragonita. Na entrada principal já foram registrados vestígios arqueológicos, principalmente cacos cerâmicos. Essa caverna é de fácil acesso, bem conhecida e bastante visitada na região, sendo merecedora de ações de manejo para minimizar os impactos adversos da visitação desordenada. Parte da gruta sofre inundações relacionadas a cheias do Ribeirão dos Patos.



Figura 16 – Grande salão da Gruta do Brega, representando um dos maiores volumes conhecidos na região cárstica de Pains. Foto: Joe Bazílio.

8.6 GRUTA DO SANTUÁRIO

Essa caverna foi mapeada pelo Guano Speleo no Projeto do Gagea em julho de 1999, possuindo 1.527 m de projeção horizontal e três entradas. Juntamente com a Gruta do Brega, forma um conjunto de grande beleza cênica e importância dimensional. De forma geral, a gruta apresenta planta baixa com morfologia linear escalonada, desenvolvida por estruturas como zonas de falha, eixos de dobra e fraturamentos, destacando a direção preferencial NE-SW (ROSA, 2015). A diversidade de espeleotemas é grande, incluindo escurrimentos, microtravertinos, travertinos, estalactites, cortinas, coraloides, helictites e anemolites. Esses dois últimos, que são formas reconstrutivas mais raras, concentram-se principalmente no salão dos Blocos Abatidos. A gruta é suscetível à variação do nível freático quando ocorrem grandes cheias no Ribeirão dos Patos, sendo que na estação chuvosa pode ocorrer a entrada de água em seu acesso principal (Figura 17).



Figura 17 – Salão da Gruta do Santuário com muitos sedimentos lamosos no piso e presença de canal de drenagem temporário. Foto: Ataliba Coelho.

8.7 GRUTA PARANOÁ

A Gruta Paranoá está localizada no limite NW da mancha urbana de Pains. Foi mapeada pelo Guano Speleo em março de 1999 (Figura 18). A caverna é ampla, com desenvolvimento linear de 383 m. A cavidade é bem ornamentada, destacando-se escorrimentos, colunas, coraloides, estalactites, estalagmites, pérolas de caverna e travertinos (Figura 19). Possivelmente pertenceu ao sistema hidrológico da Gruta do Éden. Em seu interior existem depósitos consolidados de sedimentos aluvionares com seixos angulares e granulometria diversa.

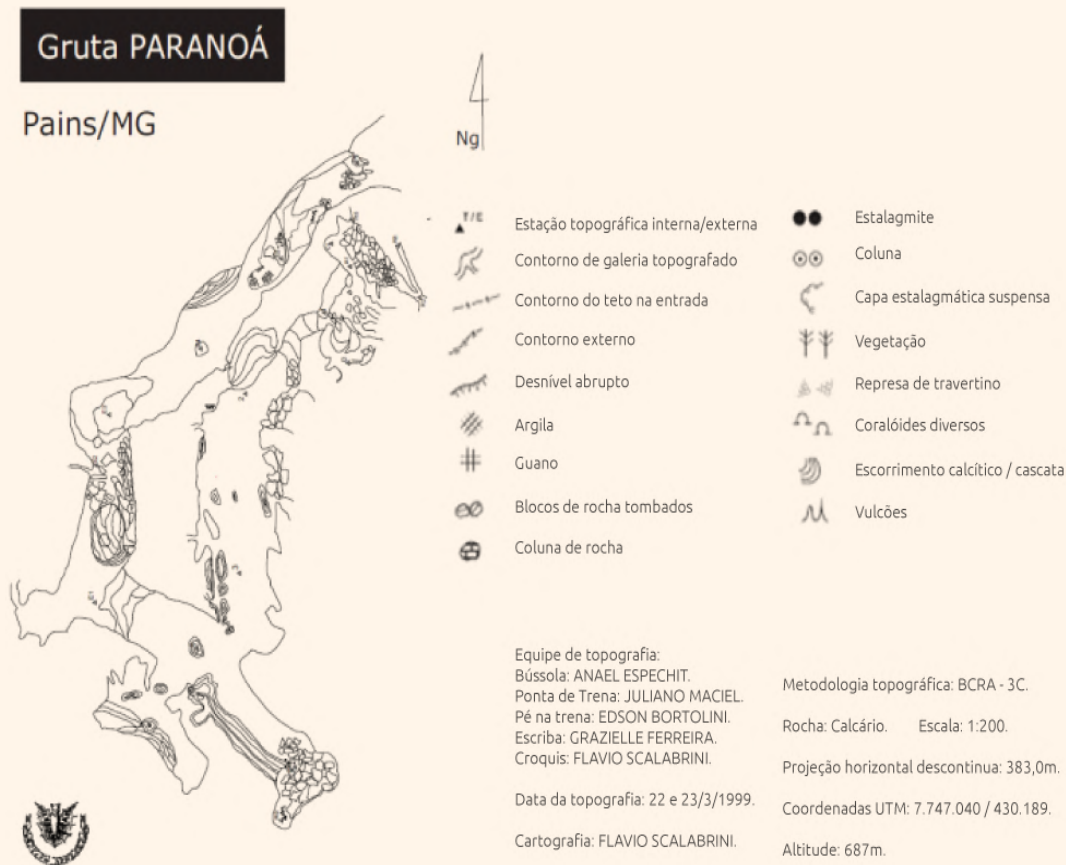


Figura 18 – Mapa da Gruta do Paranoá confeccionado para o Projeto Espeleologia do Gagea/CPMTC/IGC/UFMG/Fundep.



Figura 19 – Espeleotema do tipo cascata na Gruta Paranoá. Foto: Ataliba Coelho.

8.8 GRUTA COQUEIRO III

Essa caverna foi descoberta e mapeada em 1997 pelos espeleólogos Flávio Sena, Fernando Frigo, Alexandre Pizarro e André Klumb de Oliveira (membros do Grupo Guano Speleo). Essa gruta, provavelmente outrora oclusa, possui aproximadamente 120,8 m de DL em conduto único meandrante com cerca de 1,5 m de altura e 3 m de largura. Possui raríssima, excepcional e profusa deposição de flores de aragonita (Figura 20), como também de agulhas de gipsita (até 52 cm). Trata-se de uma caverna de imenso valor mineralógico.



Figura 20 – Flores de aragonita em plena formação no interior da Gruta Coqueiro III. Foto: Gabriel Lourenço.

8.9 BURACO DO NARIGUDO

Essa caverna foi descoberta em 1995 pelo espeleólogo Joe Bazílio do embrionário EPA e explorada parcialmente em decorrência da necessidade de técnicas verticais (Figura 21). A gruta foi explorada de forma mais ampla em 2014 por membros da SEE. A caverna apresenta um padrão planimétrico curvilíneo ramificado (*branchwork*), com forte controle de fraturas NW-SE. A cavidade totaliza 1.347 m de DL, com destaque para o conduto do rio com aproximadamente 830 metros (CARVALHO *et al.*, 2015). Essa drenagem é possivelmente contribuinte da Loca Feia → Loca do Angá → Cristais → Ressurgência do Obéde. Os depósitos químicos são constituídos de anemolites, colunas, coraloides, cortinas de vários tipos, cascatas, estalactites, estalagmites, helictites, pérolas, travertinos e vulcões. Trata-se de uma cavidade em plena atividade, incluindo feições freáticas, epifreáticas, vadasas e de abatimento. Os *espeleogens* identificados foram pendentes, pilares, marmitas, *scalops*, mesas e *bell holes* (CARVALHO *et al.*, 2015).



Figura 21 – Desnível no interior do Buraco do Narigudo, no qual é necessária a utilização de técnicas verticais. Foto: Gabriel Lourenço.

8.10 LOCA DO ANGÁ OU GRUTA DO MASTODONTE

A Loca do Angá ou Gruta do Mastodonte foi descoberta pelo EPA em 1997. A gruta possui três níveis de desenvolvimento, sendo o inferior percorrido por drenagem subterrânea que advém da Loca Feia. Possui duas entradas, ambas no fundo de dolinas. Seu mapeamento revelou 198 m de projeção horizontal, poucos espeleotemas e muita deposição clástica (Figura 22). Em 1998, três pescadores encontraram restos de um esqueleto de mastodonte no interior da caverna, incluindo o crânio mais completo já encontrado no Brasil (ver Capítulo 8). O surpreendente material fossilífero foi escavado pela equipe do Museu de Ciências Naturais da PUC Minas e, posteriormente, integrado ao acervo do Museu (Figura 23).



Figura 22 – Cone de sedimentos clásticos no interior da Loca do Angá ou Gruta do Mastodonte. Foto: Ataliba Coelho.



Figura 23 – Espeleólogo do EPA, Jefferson Luiz, em 1997, ao lado dos fragmentos ósseos do mastodonte dentro da Loca do Angá ou Gruta do Mastodonte. Foto: Acervo EPA.

9. CONCLUSÕES

A região cárstica de Pains possui atualmente mais de 2.500 cavernas, sendo considerada a região com o maior número de cavernas carbonáticas conhecidas do país. A maioria das cavernas da região apresenta pequenas dimensões (< 30 m DL), mas várias cavernas maiores do que 300 m chegando a mais de 1000 m já foram registradas. O volume ocupado por algumas cavernas também é destaque. Fraturas de direção preferencial NW-SE e, secundariamente, NE-SW guiam a espeleogênese. Dois padrões planimétricos de cavernas foram observados na região: cavernas curvilíneas ramificadas (*branchwork*) e o padrão reticulado (*network*), menos frequente. Os sedimentos clásticos das cavernas apresentam contribuição mista, ou seja, sedimentos vindos de fora e aqueles produzidos internamente. Os espeleotemas mais comuns são aqueles gerados por águas circulantes. Espeleotemas gerados por processos de exsudação e de águas estagnadas, como helictites e pérolas de cavernas ou *blister*, também já foram identificados, merecendo destaque as flores de aragonita e as agulhas de gipsita da Gruta Coqueiro III. A espeleogênese da região cárstica de Pains está relacionada à evolução singenética. Cavernas ampliadas de forma ascendente em decorrência da existência de camadas inibidoras de sedimentos no piso (paragênese) não são aparentemente frequentes na região, mas registros localizados já foram identificados.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos geógrafos Luís B. Piló e Jocy Cruz o convite para a composição do capítulo e as revisões construtivas. Agradecemos igualmente ao cineasta, espeleólogo e publicitário Joe Bazílio as fotos. Também agradecemos à Guinú Vertical, ao bioespeleólogo Robson Zampaulo, Ataliba Coelho e ao espeleólogo Jader Caetano o acompanhamento em várias cavernas. Ao espeleólogo Jefferson Luís o apoio em campo. À Mineração Cazanga a autorização de entrada, recepção e atendimento em sua propriedade. A todos o nosso muito obrigado.

REFERÊNCIAS

AULER, A.; PILÓ, L. B. Geologia de cavernas e sua interpretação à luz da legislação ambiental espeleológica *In*: CRUZ, J.; PILÓ, L. B. (org.). **Espeleologia e Licenciamento Ambiental**. Brasília: ICMBio, 2019. p. 39-75.

CAMPELLO, M. S.; FRIGO, F. J. G.; PIZARRO, A. P. **Updating the caves distribution of Arcos-Pains-Doresópolis Speleologic-Carbonatic Province**. The 13th International Congress of Speleology – Speleo Brazil 2001, Brasília. 2001.

CARVALHO, M. G. *et al.* Caracterização espeleológica do abismo do Narigudo, Pains – MG. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 33, 2015. Eldorado. **Anais [...]** Campinas: SBE, 2015. p. 291-298. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe_291-298.pdf. Acesso em: 08 maio 2021.

CECAV. **Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas** – CANIE. 2020. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html>. Acesso em: 10 dez. 2020.

CECAV. **Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas** – CANIE. 2021. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html> . Acesso em: 15 fev. 2021.

ESCHWEGE, W. L. von. **Pluto Brasiliensis**, v. 2. Tradução: Domício de Figueiredo Murta. Coleção Brasileira, v. 257A. Série 5. Biblioteca Pedagógica Brasileira. Cia. Editora Nacional, São Paulo. 1944.

FERRARI, J. A. *et al.* **Identificação e caracterização hidrológica da área de influência da Gruta do Éden – Pains – MG**. São Paulo. 36 p. 2018.

FILGUEIRAS, R. R. A Gruta da Loca Grande e a Gruta dos Milagres. **Revista da Escola de Minas de Ouro Preto**, n. 5, nov. 1973. Ouro Preto – MG. 1973.

FORD, D. C.; WILLIAMS, P. **Karst hydrogeology and geomorphology**. London: Unwin Hyman, 2007.

FRIGO, F. J. G.; PIZARRO, A. P. **Cavernas da Província Carbonática e Espeleológica de Arcos-Pains-Doresópolis**. 40º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 1998.

GRUPO AGSTER DE PESQUISAS ESPELEOLÓGICAS. **A Província Espeleológica de Arcos-Pains, Bacia do Alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil**. XXI CBE, julho 1991. Curitiba – PR. Sem publicação. 1991.

IDE-SISEMA. **Infraestrutura de Dados Espaciais**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente Semad/MG. Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/20121> .

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **As Grutas em Minas Gerais**. Departamento Geral de Estatística do Instituto Brasileiro de Geografia – Divisão de Estatística Fisiográfica e da Viação. Oficinas Gráficas da Estatística. Belo Horizonte. 1939.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos dos Afluentes do Alto Rio São Francisco – SF1**. Disponível em: http://comites.igam.mg.gov.br/images/mapas/Mapas_2020___Mapas_PDF/SF1_A3_2020.pdf . 2021.

LIMA, E. P. A Gruta da Cazanga. **Espeleologia**, n. 2, jun. 1970. Sociedade Excursionista Espeleológica – SEE. Ouro Preto – MG. 1970.

MUZZI-MAGALHÃES, P. **Análise estrutural qualitativa das rochas do Grupo Bambuí na porção sudoeste da Bacia do São Francisco**. 1989. 100p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1989.

OLIVEIRA, F. P. **Anais da Escola de Minas de Ouro Preto**, n. 1, p. 39-105: EMOP. 1881.

PALMER, A. N. Origin and morphology of limestone caves. **Geological Society of America Bulletin**, n. 103, p. 1-21, 1991.

PIRES, A. O. S. **Speleologia**: revista do Archivo Público Mineiro. Ano XXIII. p. 105-167. Imprensa Oficial de Minas Gerais. 1929.

PIZARRO, A. P. Compartimentação geológico-geomorfológica da Província Carbonática-Espeleológica de Arcos, Pains e Dorésópolis. XL CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. **Anais [...]**. Belo Horizonte, SBG, p. 421 (resumo). 1998.

RADAMBRASIL. **Geologia, geomorfologia, pedologia e uso potencial da terra**. Folhas SF 23/24 – Rio de Janeiro/Vitória. Projeto RADAMBRASIL. Rio de Janeiro, 780p. 1983.

RIBEIRO L. V.; VILELA, C. E. A. Espeleometria das cavidades naturais subterrâneas da região de Pains – MG. *In*: SBE, Cong. Brasil. Espeleol., 30, Montes Claros, MG. **Anais [...]**, p. 203-209, 2009.

ROSA, M. L. **Geoespeleologia da Gruta Santuário, Pains/MG**. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. 54p. 2015.

SAADI, A.; CARDOSO, G. G.; MORAIS, M. S. Neotectônica e carstificação na província cárstica de Arcos-Pains-Dorésópolis/MG. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, 1998, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBG, 1998. p. 84.

SENA, F. S. O Patrimônio Cárstico na Província de Pains/MG. **Informativo SBE**, n. 76, 1998.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA. **Cadastro Nacional de Cavidades Naturais**: índice de dados sobre as cavernas no Brasil. Unicop. São Paulo – SP. 1991.

SOCIEDADE EXCURSIONISTA E ESPELEOLÓGICA. **Projeto Arcos Pains Espeleologia – Proape**. Área Cárstica de Pains. MPF/Ibama/Feam/Ufop/Feop/SEE. Degeo/EM/Ufop. Ouro Preto, agosto de 2012. 549 p.



Mitogoniella Taquara. Foto: Rodrigo Lopes Ferreira.

CAPÍTULO 6

**A VIDA SUBTERRÂNEA
NO CARSTE DE PAINS:
BIODIVERSIDADE,
AMEAÇAS E
CONSERVAÇÃO
DE FAUNA EM UMA
NOTÁVEL PAISAGEM
CÁRSTICA TROPICAL**

RODRIGO LOPES FERREIRA
MARCONI SOUZA-SILVA
ROBSON DE ALMEIDA ZAMPAULO

1. CARACTERIZAÇÃO DOS AMBIENTES SUBTERRÂNEOS

O carste da região de Pains abriga uma grande diversidade faunística vivendo em compartimentos subterrâneos com profundidades, volumes e características físicas e tróficas variadas. Tais compartimentos de *habitat*, no entanto, apresentam características comuns, como permanente escuridão, estabilidade nas condições de temperatura e umidade, e escassez de recursos alimentares. Essas características ambientais são mais preponderantes em locais profundos e distantes do meio epígeo. Apesar disso, inúmeros estudos ao longo do mundo têm mostrado que tais características não impedem a colonização pela fauna, e enfatizam o papel dos eventos paleoclimáticos, introgressões oceânicas, mudanças adaptativas (BOUTIN, 1994; PECK, 1980) e quantidade de *habitat* disponível na determinação de padrões de biodiversidade subterrânea (CHRISTMAN; CULVER, 2001). De forma geral, o que está implícito na maioria desses estudos é que diferenças no número de espécies endêmicas aos ambientes subterrâneos em distintos locais do mundo resultaram, principalmente, da localização espacial e temporal das áreas cársticas, que foram sujeitas a distintos eventos climáticos e, secundariamente, da disponibilidade de *habitat*. Entretanto, não somente o número de cavernas fornece uma medida de disponibilidade de *habitats* subterrâneos, mas também a conformação geomorfológica de diferentes compartimentos subterrâneos não acessíveis ao ser humano.

Estruturalmente, o carste da região de Pains apresenta-se como uma paisagem heterogênea dominada por calcários antigos (Neoproterozoicos) moldados por um intenso tectonismo e intemperismos característicos de clima tropical úmido (SOCIEDADE EXCURSIONISTA ESPELEOLÓGICA, 2012). Consequentemente, os carbonatos encontram-se dobrados e extremamente erodidos, com paisagem constituída por maciços calcários contínuos ou isolados contendo diaclases, fraturamentos, diferentes níveis horizontais de cavernamentos e abismos.

Separando as “ilhas” de carbonatos aflorantes, os relevos aplainados abrigam encostas, dolinas, uvalas, sumidouros, surgências e vales cegos, algumas vezes cobertos por solo ou blocos de rochas de diferentes tamanhos que permitem a ocorrência de uma rede de compartimentos no subsolo (meio subterrâneo superficial – MSS), interconectados às cavernas. O meio subterrâneo superficial (MSS) compreende espaços mais profundos no solo próximo do embasamento rochoso, apresentando fendas de maior calibre conformadas por descontinuidades na rocha ou mesmo espaços existentes entre blocos oriundos da própria fragmentação da porção mais superficial da rocha. O compartimento hipógeo compreende os grandes espaços subterrâneos comumente chamados de cavernas (CULVER; PIPAN, 2019). Essa intensa variação morfológica da paisagem reflete a influência dos fatores tectônicos, pluviais, paleoclimáticos e fitofisionômicos na evolução do carste local.

Em relação ao clima, a região se caracteriza por verões quentes e úmidos e invernos secos com temperaturas que variam de 23,3°C em janeiro (mais quente) a 16,3°C em julho (mais frio) com temperatura média anual de 20,7°C e precipitação média anual local de 1344 mm (MENEGASSE *et al.*, 2002). Esse elevado volume de chuvas e os períodos de seca e chuva bem definidos na região possibilitam a ocorrência de corpos de água lênticos e lóticos, epígeos e subterrâneos, perenes e intermitentes. Rios perenes na superfície são escassos (e.g. Ribeirão dos Patos e o Rio São Miguel) e as drenagens subterrâneas acabam sendo mais recorrentes (e.g. cavernas Serra Azul, Narigudo, Éden, Peixe, Mastodonte, Onça, entre outras). A ocorrência de compartimentos subsuperficiais inundados (epicarste) também acontece em diversos afloramentos e a água proveniente desses compartimentos alimenta represas de travertinos e permite a ocorrência de fauna especializada vivendo em distintos *habitats* (ver tópico “Diversidade de espécies troglóbias”).

No entanto, como a maior parte das cavernas da região é seca, o principal recurso trófico nesses ecossistemas é o guano de morcegos. Os depósitos de guano mais comumente observados são produzidos por espécies hematófagas (*Desmodus rotundus* É. Geoffroy, 1810) e carnívoras (*Chrotopterus auritus* Peters, 1856), muito embora outros tipos de guano também sejam observados em cavernas, mas dificilmente formando depósitos mais volumosos. É importante destacar a notável presença de colônias do morcego vampiro (*D. rotundus*) nas cavernas da área. Colônias dessa espécie são observadas com enorme frequência em toda a província. Essa ampla ocorrência é provavelmente resultado da histórica substituição das florestas por pastagens, que, por sua vez, reduziu a quantidade de recursos alimentares para outras guildas de morcegos (como frutos, insetos, néctar, entre outros), enquanto aumentava os recursos para a espécie hematófaga (rebanho bovino e outros animais domésticos). Além do guano, materiais orgânicos de origem vegetal também podem servir de alimento para a fauna. No entanto, tais recursos quase sempre se restringem às proximidades das entradas das cavernas, sendo aportados gravitacionalmente ou pelo vento. Nos períodos chuvosos, enxurradas que eventualmente se formam podem levar esses recursos até regiões mais profundas das cavernas, mas somente quando as entradas se situam em cotas topográficas mais rebaixadas no relevo.

2. DIVERSIDADE BIOLÓGICA NAS CAVERNAS DA REGIÃO

Apesar dos ambientes subterrâneos serem historicamente considerados pobres em termos de biodiversidade e biomassa, uma grande variedade de táxons está presente nesses ecossistemas, predominantemente composta por espécies pré-adaptadas às condições prevalentes nesses ambientes. Assim, grupos epígeos que apresentam preferências por *habitats* úmidos, sombreados e que possuem uma dieta generalista são potencialmente mais aptos a colonizarem e se estabelecerem em cavernas (CULVER; PIPAN, 2019).

Na região cárstica de Pains, bem como em cavernas de diferentes regiões do país, os grupos mais diversos e comumente encontrados são representados por organismos que apresentam hábitos alimentares detritívoros ou predadores generalistas. Além disso, tais grupos apresentam ampla ocorrência epígea, o que favorece a colonização do meio subterrâneo, entre eles, os opiliões (*Mitogoniella* e *Eusarcus*), aranhas (*Enoploctenus*, *Ctenus*, *Mesabolivar*, *Theridion*, *Nesticodes*, *Plato*, *Cuacuba* e *Alpaida*), grilos (*Eidmanacris* e *Endecous*), colêmbolos (Cyphoderidae, Entomobryidae, Paronellidae e Tomoceridae), hemípteros (*Ploiaria* e *Zelurus*), lepidópteros (Noctuidae e Tineidae) e diplópodes (*Pseudonannolene*) estão entre os táxons mais comuns na região. Em contrapartida, algumas espécies possuem uma distribuição mais restrita à porção nordeste da região cárstica de Pains, como as aranhas da família Sicariidae - *Loxosceles anomala* (Mello-Leitão, 1917) e o amblipígio *Charinus jibaossu* Vasconcelos, Giupponi e Ferreira, 2014.

É interessante notar que as espécies de invertebrados associados às cavernas da região possuem preferências ambientais específicas, sendo que alguns grupos são mais adaptados a colonizarem as regiões de entrada e outros já tendem a se distribuir em partes mais profundas das cavernas. Entre as espécies tipicamente observadas em regiões de entrada das cavernas da região, podem-se destacar os opiliões *Mitogoniella taquara* DaSilva & Gnaspini, 2010 (Figura 1A), que formam, com certa frequência, grandes agregações, bem como as aranhas *Uloborus* (Figura 1B), *Oecobius* (Figura 1C), *Mesabolivar* (Figura 1D), *Micropholcus* (Figura 1E), *Alpaida* (Figura 1F) e *Scytodes* (Figura 1G). Além dos aracnídeos, certos insetos também possuem forte associação com regiões de entrada, como as cigarrinhas do gênero *Pintalia* (Figura 1H), os psocópteros Ptiloneuridae (Figura 1I, J) e Lepidopsocidae (Figura 1K) e as mariposas dos gêneros *Hypena* (Figura 1L) e *Latebraria*.

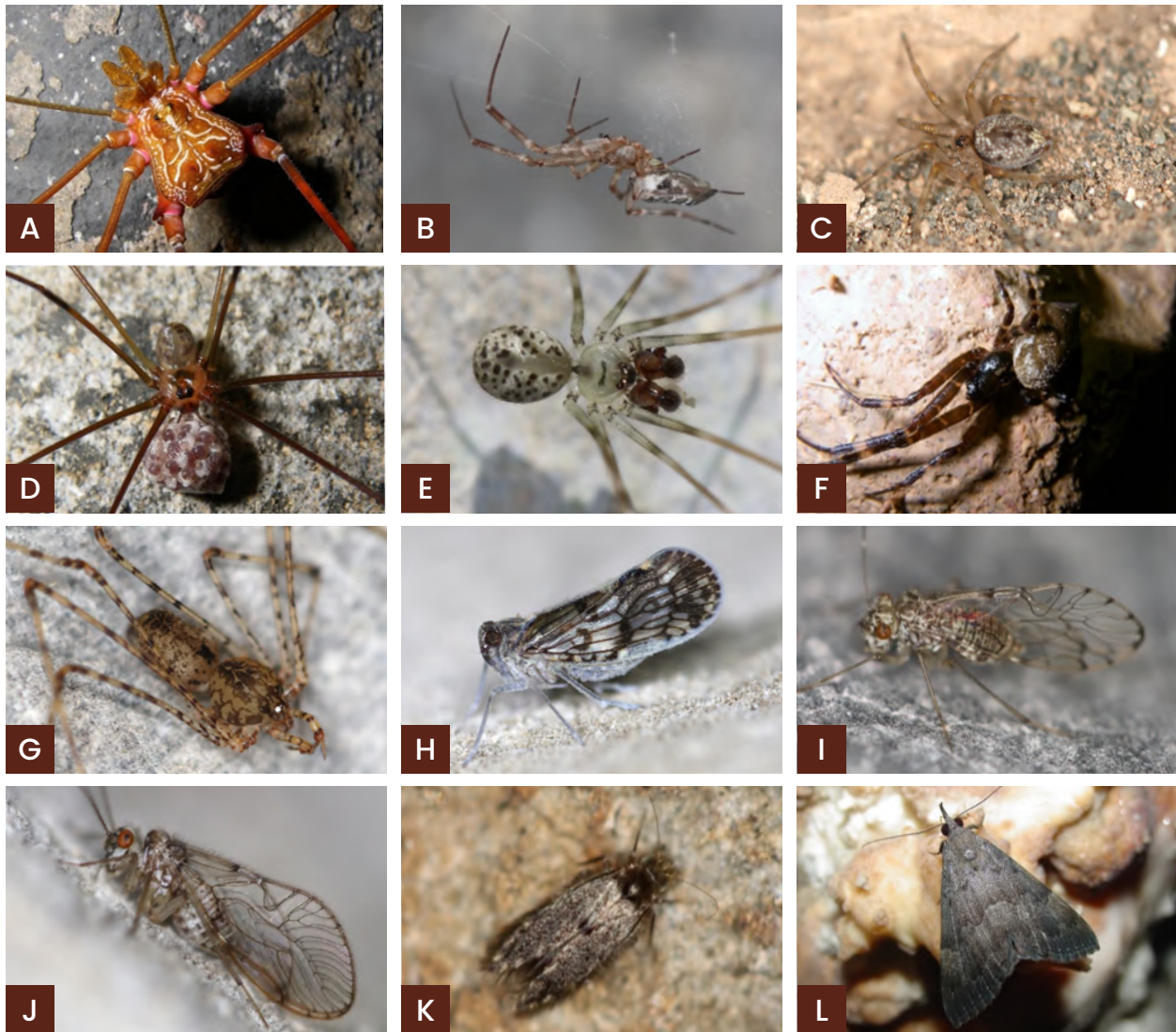


Figura 1 – Invertebrados cavernícolas frequentemente observados nas zonas de entrada das cavernas do carste de Pains: A) *Mitogoniella taquara* (Opiliones: Gonyleptidae); B) *Uloborus* sp. (Araneae: Uloboridae); C) *Oecobius navus*. (Araneae: Oecobidae); D) *Mesabolivar* sp. (Araneae: Pholcidae); E) *Micropholcus* sp. (Araneae: Pholcidae); F) *Alpaida* sp. (Araneae: Araneidae); G) *Scytodes* sp. (Araneae: Scytodidae); H) *Pintalia* sp. (Auchenorrhyncha: Cixiidae); I) *Triplocania pains* (Psocodea: Ptiloneuridae); J) *Brasineura* sp. (Psocodea: Ptiloneuridae); K) *Nepticulomima* sp. (Psocodea: Lepidopsocidae); L) *Hypena* sp. (Lepidoptera: Noctuidae). Fotos: A, D e F de Robson de A. Zampaulo; Fotos: B, C, E, G, H, I, J, K e L de Rodrigo L. Ferreira.

Por outro lado, há invertebrados que são preferencialmente observados em regiões afóticas das cavernas, como os grilos *Endecous painensis* Castro-Souza, Junta e Lopes Ferreira, 2020 (Figura 2A) e *Eidmanacris* (Figura 2B), colêmbolos Entomobryidae e Tomoceridae (Figura 2C), os barbeiros *Zelurus zikani* (Costa Lima, 1940) (Figura 2D) e *Zelurus ochripennis* Stål, 1854 (Figura 2E), as moscas *Drosophila* (Figura 2F), as formigas *Camponotus* (Figura 2G), as aranhas *Enoploctenus cyclothorax* (Bertkau, 1880) (Figura 2H), *Lasiodora* (Figura 2I), *Isoctenus* (Figura 2J), *Loxosceles anomala* e *L. similis* (Moenkhaus, 1898) (Figura 2K), *Theridion* (Figura 2L), *Plato* (Figura 2M), o amblipígeo *Charinus jibaossu* (Figura 2N), o opilião *Eusarcus hastatus* Sørensen 1884 (Figura 2O) e o piolho-de-cobra *Pseudonannolene robsoni* Iniesta & Ferreira, 2014 (Figura 2P).



Figura 2 – Invertebrados cavernícolas frequentemente observados no interior das cavernas do carste de Pains: A) *Endecous painensis* (Orthoptera: Phalangopsidae); B) *Eidmanacris* sp. (Orthoptera: Phalangopsidae); C) Tomoceridae (Collembola); D) *Zelurus zikani* (Hemiptera: Reduviidae); E) *Zelurus ochripennis* (Hemiptera: Reduviidae); F) *Drosophila* sp. (Diptera: Drosophilidae); G) *Camponotus* sp. (Hymenoptera: Formicidae); H) *Enoploctenus cyclothorax* (Araneae: Ctenidae); I) *Lasiodora* sp. (Araneae: Theraphosidae); J) *Isoctenus* sp. (Araneae: Ctenidae); K) *Loxosceles* sp. (Araneae: Sicariidae); L) *Theridion* sp. (Araneae: Theridiidae); M) *Plato* sp. (Araneae: Theridiosomatidae); N) *Charinus jibaossu* (Amblypygi: Charinidae); O) *Eusarcus hastatus* (Opiliones: Gonyleptidae); P) *Pseudonannolene robsoni* (Spirrostreptida: Pseudonannolenidae); Q) *Oxidus gracilis* (Polydesmida: Paradoxosomatidae); R) *Bipalium kewense* (Tricladida: Geoplanidae). Fotos A, C, D, E, F, G, I, J, K, N, Q e R de Rodrigo L. Ferreira; Fotos B, H, L, M, O e P de Robson de A. Zampaulo.

Entre vertebrados, morcegos e anfíbios estão entre os grupos mais recorrentes nas cavernas da região. *Scinax fuscovarius* (A. Lutz, 1925) (Hylidae) (Figura 3A) é uma espécie de perereca frequentemente encontrada nesses ambientes. Em geral essa espécie pode ser observada desde a entrada até as zonas totalmente escuras, sendo encontrados desde exemplares isolados até dezenas de cavernas mais úmidas e de maiores dimensões. Além desta, de acordo com observações dos autores e de Silva (2017), pelo menos outras nove espécies de anfíbios já foram registradas nas cavernas da região de Pains, entre as quais *Rhinella diptycha* (COPE, 1862) (Figura 3B) e *Rhinella crucifer* (WIED-NEUWIED, 1821) (Bufonidae), *Boana faber* (WIED-NEUWIED, 1821) (Figura 3C), *Boana albopunctata* (SPIX, 1824) (Figura 3D), *Leptodactylus latrans* (STEFFEN, 1815) (Figura 3E), *Leptodactylus labyrinthicus* (SPIX, 1824) (Figura 3F), *Leptodactylus mystacinus* (BURMEISTER, 1861) (Figura 3G) e *Physalaemus cuvieri* Fitzinger, 1826 (todas da família Leptodactylidae) e pelo menos três espécies do gênero *Ischnocnema* (Brachycephalidae). Ainda em relação à herpetofauna, para as serpentes, existem registros para as espécies *Erythrolamprus aesculapii* (LINNAEUS, 1758), *Atractus pantostictus* Fernandes & Puerto, 1993 (espécies de cobras-corais da família Dipsadidae), *Bothrops jararaca* (WIED-NEUWIED, 1824) (jararaca) e *Crotalus durissus* Linnaeus, 1758 (cascavel), ambas da família Viperidae, além de lagartos do gênero *Tropidurus* (Figura 3H).



Figura 3 – Herpetofauna encontrada em cavernas do carste de Pains: A) *Scinax fuscovarius*; B) *Rhinella diptycha*; C) *Boana faber*; D) *Boana albopunctata*; E) *Leptodactylus latrans*; F) *Leptodactylus labyrinthicus*; G) *Leptodactylus mystacinus*; H) *Tropidurus* cf. *torquatus*. Fotos A, B, D, E, F, G e H de Robson de A. Zampaulo; Foto C de Rodrigo L. Ferreira.

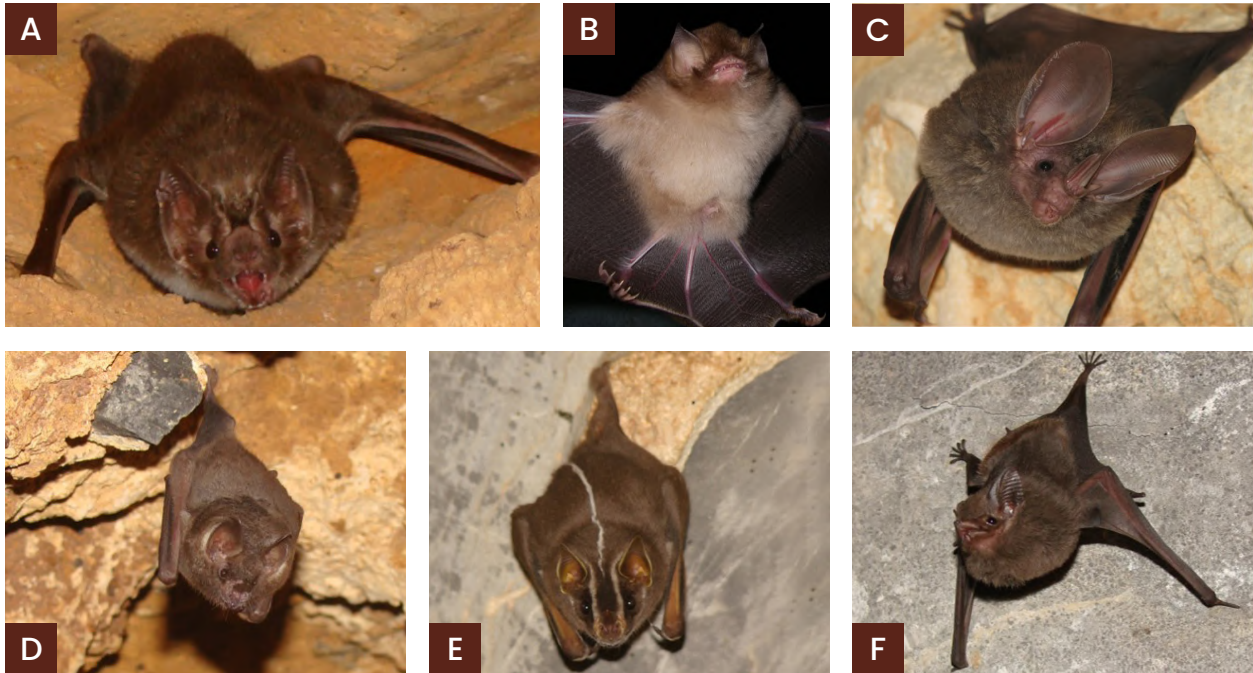


Figura 4 – Quiropterofauna encontrada em cavernas do carste de Pains: A) *Desmodus rotundus*; B) *Natalus macrourus*; C) *Chrotopterus auritus*; D) *Carollia perspicillata*; E) *Platyrrhinus lineatus*; F) *Peropteryx macrotis*. Fotos A, B, D e E de Robson de A. Zampaulo; Fotos C e F de Rodrigo L. Ferreira.

Entre os morcegos, a espécie mais comum na região é o morcego vampiro *Desmodus rotundus* (Figura 4A). Em geral, depósitos de guano produzido por morcegos hematófagos são frequentes nas cavernas, bem como o registro de colônias de diferentes tamanhos incluindo colônias maternidades. Além de *D. rotundus*, outras 17 espécies já foram registradas nas cavernas da região, entre elas *Anoura caudifer* (E. GEOFFROY, 1818), *Glossophaga soricina* (PALLAS, 1766), *Chrotopterus auritus* PETERS, 1856 (Figura 4C), *Micronycteris megalotis* (GRAY, 1842), *Mimon bennettii* (GRAY, 1838), *Phyllostomus discolor* WAGNER, 1843, *Phyllostomus hastatus* (PALLAS, 1767), *Tonatia bidens* (SPIX, 1823), *Carollia perspicillata* (LINNAEUS, 1758) (Figura 4D), *Artibeus planirostris* (SPIX, 1823), *Chiroderma villosum* (PETERS, 1860), *Platyrrhinus lineatus* (É. GEOFFROY, 1810) (Figura 4E), *Sturnira lilium* (É. GEOFFROY, 1810) (todas as espécies da família Phyllostomidae), *Myotis nigricans* (SCHINZ, 1821) (Vespertilionidae), além dos gêneros *Saccopteryx* e *Peropteryx* (Figura 4F) (ambas da família Emballonuridae). No entanto, espécies mais raras e ameaçadas de extinção como *Natalus macrourus* (GERVAIS, 1856) (Natalidae – Figura 4B) também podem ser encontradas em cavernas da região (FERNANDES, 2018). Para os demais vertebrados, existem poucas informações disponíveis, sendo raros os estudos que os contemplaram. Para peixes, temos os estudos conduzidos por Souza-Silva *et al.* (2012) que registraram 11 espécies de peixes de duas ordens distintas na caverna Santuário: *Astyanax* sp, *Astyanax bimaculatus* (LINNAEUS, 1758), *Astyanax fasciatus* (CUVIER, 1819), *Serrapinnus heterodon* (EIGENMANN, 1915), *Serrapinnus piaba* (LÜTKEN, 1875), *Cyphocharax gilbert* (QUOY & GAIMARD, 1824), *Hyphessobrycon santa* (EIGENMANN, 1907), *Characidium lagosantense* (TRAVASSOS, 1947), *Hoplias malabaricus* (BLOCH, 1794) (todos Characiformes) e *Rhamdia quelen* (QUOY & GAIMARD, 1824) e *Hoplosternum littorale* (HANCOCK, 1828) (ambos Siluriformes). Essa caverna possui uma condição muito especial, pois além de estar associada ao nível de base, é frequentemente afetada por pulsos de inundação do Ribeirão dos Patos, que contribui de forma significativa para a dinâmica hídrica e trófica desse ecossistema. Além dessas espécies, Ratton *et al.* (2018), em amostragens na parte subterrânea do rio que percorre a Gruta do Éden, observaram oito espécies de peixes, sendo coletadas quatro espécies de Characiformes: *A. fasciatus* (CUVIER, 1819), *Astyanax lacustris* (LÜTKEN, 1875), *Hemigrammus marginatus* (ELLIS, 1911) e *Hoplias malabaricus* (BLOCH,

1794) e quatro espécies de Siluriformes – *Imparfinis minutus* (LÜTKEN, 1874), *Pimelodella lateristriga* (LICHTENSTEIN, 1823), *Hypostomus lima* (LÜTKEN, 1874) e *Pseudopimelodus charus* (VALENCIENNES, 1840).

Em relação aos invertebrados, as cavernas da região apresentam uma significativa riqueza quando comparadas a outras áreas cársticas do País, especialmente quando se considera o pequeno desenvolvimento linear da maioria das grutas. No entanto, tais comparações são limitadas pelo emprego de métodos distintos no acesso à biodiversidade subterrânea. As cavernas Loca D'Água, Marinheiros, Éden, Barreado, Buraco dos Curiós, Brega e Santuário estão entre as cavernas mais ricas, com mais de 80 espécies em cada uma. De forma geral, a média de espécies por caverna é de aproximadamente 35 espécies (ZAMPAULO, 2010).

Outro aspecto importante é o fato de que cavernas maiores tendem a ser geomorfologicamente mais heterogêneas, o que resulta em um aumento na quantidade de micro-habitats e de recursos tróficos (alimento) para a fauna (CHRISTMAN; CULVER, 2001; JAFFE *et al.*, 2016; RABELO *et al.*, 2020; SIMÕES *et al.*, 2015). Assim, em geral, cavernas maiores apresentam uma maior riqueza de espécies, sendo essa relação também observada nas cavernas de Pains. Dessa forma, cavernas maiores são extremamente importantes para a definição de áreas prioritárias para a conservação da fauna subterrânea na região (ZAMPAULO, 2010).

É importante mencionar a existência de espécies introduzidas nas cavernas do carste de Pains. Duas delas certamente merecem destaque: o piolho-de-cobra *Oxidus gracilis* (Koch, C. L., 1847) (Polydesmida: Paradoxosomatidae) e a planária terrestre *Bipalium kewense* Moseley, 1878 (Tricladida: Geoplanidae). O piolho-de-cobra *O. gracilis* (Figura 2Q) é amplamente distribuído por diversas partes do mundo, incluindo várias regiões do Brasil. Essa espécie é aparentemente originária do Japão, tendo sido acidentalmente introduzida provavelmente a partir de produtos de casas de jardinagem. Muito embora essa espécie esteja amplamente distribuída pelas cavernas da região, não há estudos que tenham verificado o eventual impacto dela sobre outras espécies nativas. No entanto, observam-se com frequência indivíduos e *O. gracilis* compartilhando recursos (guano) com outras espécies de diplópodes, como *Pseudonannolene robsoni* e pirgodesmídeos. Por sua vez, a planária terrestre *B. kewense* (Figura 2R) é considerada um verme de grande porte, chegando a 60 centímetros de comprimento. É um predador de pequenos animais, como moluscos e vermes menores, e costuma ser encontrado em solos úmidos. Acredita-se que seja nativo do Sudeste Asiático, tendo sido introduzido em diversas partes do mundo, como América do Norte, Austrália, ilhas do Caribe, América do Sul, África e Madagascar. Indivíduos dessa espécie podem ser encontrados em cavernas por toda a região, no entanto, limitando-se àquelas que mantêm umidades mais elevadas ao longo de todo o ano. Infelizmente também não há estudos sobre os eventuais impactos dessa espécie sobre a fauna subterrânea da região. *Oecobius navus* representa uma espécie de aranha exótica cosmopolita, com registro para uma única caverna em Pains (Caverna do Duca).

3. DIVERSIDADE DE ESPÉCIES TROGLÓBIAS

A região cárstica de Pains apresenta uma destacada riqueza de espécies estritamente subterrâneas (50 espécies troglóbias conhecidas até o momento). Tais espécies são conhecidas em pelo menos 90 cavernas da província, mas certamente esse número representa somente uma pequena parte das cavernas com ocorrência de troglóbios. Considerando somente as cavernas em que se tem conhecimento de espécies troglóbias, observa-se uma média de $2,6 \pm 2,08$ espécies dessa categoria por caverna. No entanto, se considerarmos cerca de 300 cavernas amostradas na região (ZAMPAULO, 2010), essa média cai para $0,77 \pm 1,64$ de espécie troglóbia por caverna.



Figura 5 – Invertebrados troglóbios endêmicos do carste de Pains: A) *Spelunconiscus* sp. (Isopoda: Styloniscidae); B) *Trichorhina* sp. (Isopoda: Plathyarthridae); C) *Pectenoniscus* sp. (Isopoda: Styloniscidae); D) *Paratrichommatus* sp. (Opiliones: Cryptogeobiidae); E) *Lygromma* sp. (Araneae: Gnaphosidae); F) *Eukoenenia cavatica* (Palpigradi: Eukoeneniidae); G) Ideoroncidae (Pseudoscorpiones); H) *Paratachys* sp. (Coleoptera: Carabidae); I) *Coarazuphium pains* (Coleoptera: Carabidae); J) *Perigona* (*Neoperigona*) *spelunca* (Coleoptera: Carabidae); K) Nicoletiidae (Zygentoma); L) *Pseudonannolene ambuatinga* (Spirostreptida: Pseudonannolenidae); M) Blattellidae (Blattodea); N) Pyrgodesmidae (Polydesmida); O) Microturbellaria (Platyhelminthes). Fotos A, B, D, E, I e L de Robson de A. Zampaulo; Fotos C, F, G, H, J, K, N e O de Rodrigo L. Ferreira; Foto M de Marconi S. Silva.

Muito embora a região apresente uma elevada riqueza de espécies estritamente subterrâneas, a distribuição dessas espécies mostra-se bastante heterogênea: das 90 cavernas com espécies troglóbias, 37 possuem apenas uma espécie, 15 possuem duas espécies, 16 possuem três espécies, 10 possuem quatro espécies, 5 possuem cinco espécies, 6 possuem seis espécies e somente uma (Gruta do Éden) se destaca radicalmente das demais, apresentando 15 espécies troglóbias, sete das quais endêmicas a essa caverna. Nota-se, dessa forma,

que a maior parte das cavernas com espécies troglóbias abriga somente uma (33%) ou poucas espécies. Por outro lado, as cavernas ricas em troglóbios (apresentando 5 ou mais espécies) são geralmente aquelas de maiores dimensões e preferencialmente com elevada umidade (pelo menos metade delas apresenta corpos de água perenes ou intermitentes). Nota-se, assim, a importância do tamanho e da umidade elevada para a manutenção de populações de espécies troglóbias na área, que se destaca por possuir cavernas predominantemente secas e, em sua maioria, desprovidas de espécies estritamente subterrâneas.

Boa parte das espécies troglóbias da região é endêmica a uma única caverna (34 espécies) e somente cinco espécies são encontradas em mais de dez cavernas: uma espécie de *Trichorhina* (Isopoda: Plathyarthridae) (Figura 5B), que ocorre em 12 cavernas; a espécie *Matta nuusga* Brescovit & Cizauskas, 2019 (Araneae: Tetrablemmidae) observada em 19 cavernas; o piolho-de-cobra *Pseudonannolene ambuatinga* Iniesta & Ferreira, 2013 (Spirostreptida: Pseudonannolenidae) (Figura 5L), encontrado em 25 cavernas e o opilião *Paratrichommatus* (Opiliones: Cryptogeobiidae) (Figura 5D) e a aranha *Lygromma* (Araneae: Gnaphosidae) (Figura 5E), encontrados em 26 cavernas cada.

Isopoda compreende o grupo mais diversificado entre os troglóbios da província, sendo que uma única família (Styloniscidae) apresenta 22 espécies troglóbias, entre elas, indubitavelmente, destacam-se as espécies do gênero *Spelunconiscus* (Figura 5A), tanto por sua elevada diversificação quanto pelo elevado grau de endemismo das espécies que lá ocorrem. Até o momento, já foram detectadas 19 espécies distintas desse gênero na área, quase todas endêmicas a uma única caverna apenas. Além disso, a área de distribuição das espécies desse gênero (cerca de 380 km²) é muito reduzida quando se considera tamanha diversidade de espécies. Dessa forma, a região pode, certamente, ser considerada um “hotspot” de isópodes troglóbios, visto que, proporcionalmente, não há outra região no mundo com uma riqueza tão alta de isópodes de um mesmo gênero confinados a uma área tão reduzida.

Mas o que explicaria uma diversificação tão intensa de espécies pertencentes a um mesmo gênero em uma área tão reduzida? Todas as espécies desse gênero são anfíbias, isto é, capazes de sobreviver tanto em habitats aquáticos quanto em ambientes terrestres úmidos. No entanto, tais espécies associam-se preferencialmente a habitats aquáticos, utilizando habitats terrestres somente para rápidos deslocamentos de migração. Os principais habitats nos quais todas essas espécies são encontradas são represas de travertinos ou poças formadas em períodos chuvosos no piso das cavernas. No entanto, em várias cavernas onde essas espécies ocorrem, as represas ou poças secam durante períodos secos. Nesses momentos, os isópodes desaparecem desses habitats. Duas possibilidades de migração para habitats aquáticos seriam possíveis: 1) migrar para o nível de base (riachos ou lençóis freáticos) ou 2) migrar para o epicarste (que tende a reter água mesmo ao longo das estações secas). Os afloramentos da região cárstica de Pains apresentam um alto grau de desconexão, de forma que o nível de base poderia representar não somente um habitat em períodos secos, mas também um caminho possível para o trânsito de organismos estritamente subterrâneos. No entanto, a presença de peixes no freático e em riachos subterrâneos da área aparentemente impossibilita a ocorrência de isópodes nesses habitats, que certamente seriam predados. Isópodes troglóbios nunca foram observados nos níveis freáticos ou em riachos subterrâneos na província, confirmando que esses habitats de fato não são utilizados por tais organismos.

A migração vertical para o epicarste é aparentemente realizada de forma sazonal por boa parte das espécies de *Spelunconiscus* da província. Ao final dos períodos chuvosos, quando as poças ou represas de travertinos começam a secar, os isópodes migram verticalmente para o epicarste, abrigando-se nos espaços com água estocada e que é mantida durante toda a estação seca. Nesses locais, no entanto, o alimento é provavelmente bastante restrito, representado por biofilmes, tendo em vista que o aporte de água ocorre

exclusivamente por percolação e não há produtividade primária. Quando se inicia um novo período chuvoso, o excedente de água do epicarste escoar para as macrocavernas, novamente enchendo as represas de travertino e poças. Como o aporte de nutrientes tende a ser maior nas macrocavernas (guano, ou materiais vegetais transportados pela água), os isópodes acabam novamente migrando para esses habitats, muito provavelmente em busca dessas fontes adicionais de recursos tróficos, uma vez que a maioria das espécies é encontrada somente durante períodos chuvosos. Um esquema que representa a migração dos isópodes nos diferentes compartimentos subterrâneos é mostrado na Figura 6.

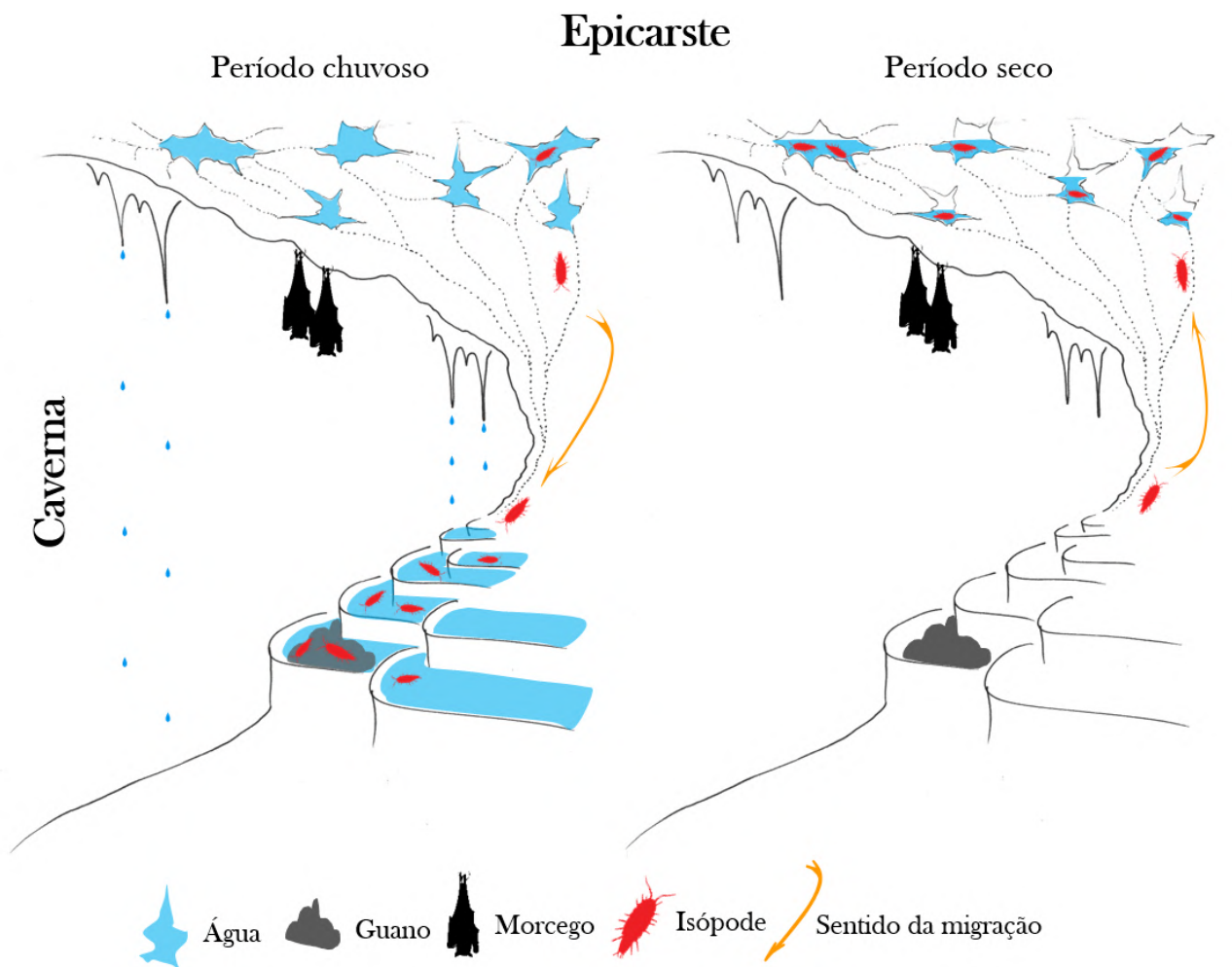


Figura 6 – Modelo esquemático das migrações sazonais realizadas por espécies do gênero *Spelunconiscus* entre os micro-habitats nas cavernas (representados, na figura, por represas de travertino) e o epicarste na região de Pains.

Considerando que as espécies de *Spelunconiscus* são bastante similares, é possível assumir que o ancestral comum dessas espécies era bem distribuído na região. Assim, respondendo à questão levantada anteriormente, o mecanismo de migração vertical dos isópodes pode ter isolado progressivamente as populações ancestrais, culminando com o surgimento de diversas espécies distintas, que são, no entanto, extremamente semelhantes quanto à morfologia e comportamento.

Coleoptera é outro grupo importante, com oito espécies troglóbias, das quais somente três encontram-se formalmente descritas: *Coarazuphium pains* Álvares e Ferreira, 2002 (Figura 5I), *Metopiellus painensis* Asenjo, Ferreira & Zampaulo, 2017 e *Perigona (Neoperigona) spelunca* Pellegrini, Ferreira & Vieira, 2022 (Figura

5J). Praticamente todas essas espécies conhecidas da região pertencem à família Carabidae, com exceção de *M. painensis* que pertence à família Staphylinidae (Pselaphinae). Carabídeos são bastante comuns em cavernas e, de fato, compreendem um grupo com elevada riqueza de espécies troglóbias ao longo do mundo (FAILLE, 2019). No entanto, para a região neotropical, há certamente a necessidade de estudos mais aprofundados em relação às espécies cavernícolas. A exemplo disso, somente duas ou três, entre as sete espécies da região, foram descritas, muito embora outras estejam em processo de descrição, como uma nova espécie dos gêneros *Paratachys* (Figura 5H).

Entre os aracnídeos, destacam-se algumas das espécies troglóbias mais amplamente distribuídas. A aranha do gênero *Lygromma* (Figura 5E) corresponde à espécie mais ubíqua, ocorrendo em 26 cavernas. De forma curiosa, até recentemente, praticamente somente fêmeas eram conhecidas nas cavernas da região. Um único macho havia sido capturado em uma caverna. No entanto, recentes estudos objetivando compreender a composição e dinâmica da fauna associada a *habitats* subterrâneos superficiais (HSS) têm revelado uma quantidade considerável de machos dessa espécie, capturados em profundidades abaixo de 85 centímetros do solo, especialmente em períodos chuvosos. Tal fato mostra que a espécie é capaz de se dispersar por *habitats* subterrâneos superficiais com facilidade, o que explica sua ampla ocorrência nas cavernas da região de Pains.

Opiliões do gênero *Paratricommatus* (Figura 5D) também são bem distribuídos pela província, ocorrendo em 26 cavernas. No entanto, consideráveis variações morfológicas (algumas das quais ligadas ao grau de troglomorfismos dos indivíduos) vêm sendo observadas entre populações de diferentes cavernas. Tais variações podem representar tanto polimorfismos verdadeiros de uma mesma espécie quanto indícios da existência de um complexo de espécies na região. Para efeito deste capítulo, consideramos todas as populações como pertencentes a uma única espécie, até que estudos mais aprofundados (que incluam, por exemplo, análises moleculares) possam ser conduzidos estabelecendo, de forma assertiva, o número de espécies existente na província. Outro aspecto importante em relação a essa espécie é sua distribuição. A província cárstica de Pains localiza-se em uma região de transição entre os biomas de Mata Atlântica e Cerrado, onde o clima é consideravelmente mais seco do que em regiões típicas de Mata Atlântica. Antes da descoberta dessa espécie, não havia registros da família Cryptogeobiidae nessa região. Seu aparente isolamento em relação às demais espécies epígeas da família (todas com distribuição restrita à Mata Atlântica) indica que essa espécie compreende um relictos biogeográfico. Isso significa que essa espécie derivou de linhagens que viveram nessa região no passado, quando prevaleciam as florestas tropicais, como discutido para outra espécie troglóbia (*Spinopilar moria*) da mesma família conhecida apenas na Gruta Morena, em Cordisburgo, estado de Minas Gerais (KURY; PÉREZ-GONZÁLEZ, 2008).

Entre as espécies amplamente distribuídas, finalmente o piolho-de-cobra *Pseudonannolene ambuatinga* (Figura 5L) também é extensamente distribuído nas cavernas da região, tendo sido registrado em pelo menos 25 cavernas. Muito embora essa espécie também possua ampla distribuição, os níveis de variação morfológica observados são baixos, de fato sugerindo que seja uma única espécie. Sua capacidade de transitar em espaços subterrâneos de diferentes dimensões e configurações certamente contribuiu para sua vasta distribuição em cavernas da área.

Por outro lado, é importante destacar algumas das espécies endêmicas a uma única caverna da região cárstica de Pains, com destaque para o palpígrado *Eukoenenia cavatica* Souza & Ferreira, 2016 (Figura 5F), conhecido somente na Gruta da Cazanga, localizada no município de Arcos, e uma espécie de barata altamente troglomórfica (Blattellidae) (Figura 5M), encontrada unicamente na Gruta do Éden. Tais espécies, por serem endêmicas (assim como a maioria das espécies troglóbias da região – 34 espécies), são extrema-

mente ameaçadas, pois alterações em seus respectivos *habitats* podem, potencialmente, levar à extinção dessas espécies.

Por fim, é fundamental destacar a Gruta do Éden, no que tange às espécies troglóbias de Pains. Essa caverna apresenta enorme destaque, não somente na região, mas no País. Atualmente, com 15 espécies troglóbias conhecidas (sete das quais endêmicas a essa caverna), a Gruta do Éden possui potencial para se tornar um “*hotspot*” de biodiversidade subterrânea no mundo. Neste caso, *hotspots* de biodiversidade subterrânea podem ser definidos como cavernas (ou sistemas) com 20 ou mais espécies estritamente subterrâneas (CULVER; SKET, 2000). Na América do Sul, somente outros dois sistemas (Sistemas Areias, no estado de São Paulo e Toca do Gonçalves, no estado da Bahia) representam “*hotspots*” de biodiversidade subterrânea (SOUZA-SILVA; FERREIRA, 2016) o que torna indiscutível a importância desses sistemas e sua necessidade de conservação. Infelizmente, a Gruta do Éden já foi severamente impactada no passado (incluindo a supressão parcial de um dos seus condutos) e atualmente continua sob forte ameaça, seja por atividades de mineração que ocorrem em suas proximidades, seja por alterações em sua bacia de drenagem decorrentes de ocupações urbanas e rurais e práticas agropecuárias.

4. ESTUDOS JÁ PUBLICADOS

Apesar da região espeleológica de Pains representar a maior concentração de cavernas da América do Sul, com dezenas de espécies troglóbias e sob forte influência de ações antrópicas, há poucas publicações a respeito da taxonomia e ecologia de espécies cavernícolas da região. Até o momento foram publicados 35 artigos, sendo que 24 deles tratam da descrição de novas espécies que ocorrem na região e 11 versam sobre ecologia de invertebrados (terrestres e aquáticos), dos quais dois também contemplam os peixes.

Além disso, apenas 23 espécies cavernícolas da região foram descritas até o momento. Dessas, apenas cinco compreendem espécies troglóbias, sendo essas as mais sensíveis a processos de extinção em decorrência de suas baixas densidades populacionais (raridade), bem como limitada área de distribuição (endemismo) (CULVER; SKET, 2000).

O primeiro estudo taxonômico sobre a fauna de cavernas da província foi feito por Álvares e Ferreira (2002), que descreveram a primeira espécie troglóbia para a região, o besouro *Coarazuphium pains* descoberto na Gruta da Tabocas III (ÁLVARES; FERREIRA, 2002). Pellegrini *et al.* (2020) ampliaram sua distribuição para outras três cavernas e designaram um neótipo para essa espécie, uma vez que o holótipo (espécime utilizado na descrição original de uma espécie) foi perdido no incêndio do Instituto Butantan em maio de 2010. Outros táxons só foram descritos para a região a partir de 2004, como a aranha troglófila *Symphytognatha carstica* (BRESOVIT; ÁLVARES; FERREIRA, 2004), além de outras espécies listadas à frente. Além do besouro anteriormente mencionado, apenas outras cinco espécies troglóbias foram descritas para a região até o momento: o piolho-de-cobra *Pseudonannolene ambuatinga* (INIESTA; FERREIRA, 2013) descrito para a Gruta do Éden (município de Pains), o palígrado *Eukoenenia cavatica* (SOUZA; FERREIRA, 2016) descrito para a Gruta Cazanga (município de Arcos), o besouro *Metopiellus painensis* (ASENJO *et al.*, 2017) descrito para a Loca dos Negros e Grutas das Cerâmicas em Pains, o besouro *Perigona (Neoperigona) spelunca* (PELLEGRINI; FERREIRA; VIEIRA, 2022) e a aranha *Matta nuusga* (BRESOVIT; CIZAUSKAS, 2019) encontrada em diferentes cavernas da região.

Desde então, outras espécies troglófilas foram descritas para as cavernas da região de Pains, como os piolhos-de-cobra *Pseudonannolene saguassu* (INIESTA; FERREIRA, 2013), *P. robsoni* e *P. rosinei* (INIESTA; FERREIRA, 2014), o

barbeiro *Zelurus gerevatinga* (FERREIRA; FERREIRA; GIL-SANTANA, 2016), o percevejo *Dohrnemesa kuarajucassa-ba* (GIL-SANTANA; FERREIRA, 2017), os psocópteros *Psyllipsocus spinifer*, *P. falcifer* (LIENHARD; FERREIRA, 2014), *P. serrifer* (LIENHARD; FERREIRA, 2013) e *Triplocania pains* (SILVA NETO; ALDRETE; RAFAEL; FERREIRA, 2021), o grilo *Endecous painensis* (CASTRO-SOUZA; JUNTA; FERREIRA, 2020), o amblipígio *Charinus jibaossu* (VASCONCELOS; GIUPPONI; FERREIRA, 2014), o opilião *Mitogoniella taquara* (DaSILVA; GNASPINI, 2009), os ácaros *Cyta troglodyta* (HERNANDES *et al.*, 2011), *Ornithodoros cavernicolous* (DANTAS-TORRES *et al.*, 2012) e *Callidosoma cassiculophylla* (BERNARDI; WOHLTMANN; LORENZON; FERREIRA, 2017) e as aranhas *Cuacuba mariana* (PRETE; BRESCOVIT, 2019) e *Matta zuiuda* (BRESCOVIT; CIZAUSKAS, 2019).

O primeiro estudo publicado sobre a ecologia da fauna versou sobre a ecologia populacional e dimorfismo sexual de *Mitogoniella taquara*, uma espécie troglóxena de opilião amplamente distribuída nas cavernas da região (MACHADO *et al.*, 2003). Apesar dos diferentes tamanhos populacionais, o estudo revelou que a espécie se abriga preferencialmente próximo às entradas das cavernas em agregações de 48 a 500 indivíduos. Uma elevada densidade ocorre nos meses de junho e julho e diminui até outubro, quando se inicia o período reprodutivo. Em relação à morfologia da espécie, o dimorfismo sexual é mais acentuado em relação ao tamanho da segunda perna e de seu fêmur, sendo que os machos apresentam esses apêndices bem mais alongados que as fêmeas.

A extensão do ecótono entre os ambientes epígeo e hipógeo foi delimitada pela primeira vez na região tropical em um estudo realizado em duas cavernas da região (grutas Retiro e Dona Rita) (PROUS *et al.*, 2004). Padrões de dispersão de espécies, barreiras ambientais e presença de espécies acidentais, troglógenas e troglófilas foram os principais determinantes na delimitação das zonas de ecótono nas duas cavernas.

Flutuações naturais de curto prazo no nível da água e na composição e abundância das taxocenoses zooplancônicas e ictiofauna no interior das cavernas Brega e Santuário foram avaliadas por Souza-Silva *et al.* (2012). Nesse estudo, foram encontrados três grupos de organismos zooplancônicos (Copepoda, Protozoa e Rotifera) e três táxons bentônicos/nectônicos (Annelida, Culicidae e *Hyalella* sp.), além de 11 espécies de peixes (Characiformes e Siluriformes). Os eventos de inundação e conexão da vazante com o Ribeirão dos Patos permitem que espécies de peixes, crustáceos e do zooplâncton, oriundas do ambiente epígeo, explorem locais inacessíveis da caverna durante as estações secas. Ao final dos períodos chuvosos, aqueles organismos aprisionados em corpos de água temporários morrem e podem servir de recurso alimentar para outras espécies terrestres.

As relações entre a fauna de invertebrados bentônicos e as características do ambiente aquático subterrâneo também foram analisadas em uma caverna (Gruta do Retiro) da região (TAYLOR; FERREIRA, 2012). Neste trabalho, foram observadas espécies de Arthropoda, Annelida, Mollusca, Nematoda e Platyhelminthes. Arthropoda foi o táxon mais representativo com espécies dos grupos Insecta, Acari e Crustacea. O oxigênio dissolvido, a temperatura e a condutividade elétrica na água foram as principais variáveis que determinaram a distribuição dos organismos.

O processamento de detritos e a dinâmica de disponibilização de nutrientes foram avaliados no lençol freático das cavernas Brega e Santuário usando o método de “litterbags” (SOUZA-SILVA *et al.*, 2012). A taxa de processamento de detritos vegetais foi considerada lenta em função da ausência de fauna bentônica fragmentadora (artrópodes), em decorrência dos *habitats* freáticos restritivos à colonização por invertebrados. O nitrogênio e fósforo remanescentes nos detritos vegetais expostos à decomposição nas duas cavernas apresentaram variações ao longo do tempo com tendência de aumento, provavelmente devido ao desenvolvimento de microrganismos que assimilam tais elementos.

A composição das comunidades de peixes e as características dos *habitats* aquáticos foram comparadas entre ambientes epígeos e hipógeos em uma microbacia cárstica nos arredores da Gruta do Éden (RATTON *et al.*, 2018). Nesse trabalho, foram catalogadas 28 espécies de peixes distribuídas em três ordens e nove famílias. Characiformes (piabas) foi o grupo mais rico, com 16 espécies registradas (57% da fauna amostrada). Embora não tenha sido registrada nenhuma espécie troglóbia, quatro espécies troglófilas (dois Characiformes e dois Siluriformes) foram observadas exclusivamente na caverna. A cobertura do dossel e a porcentagem de matéria orgânica no leito do riacho foram responsáveis pela maior parte da variação observada na composição da fauna de peixes. Os autores discutem que os Siluriformes (bagres) podem ter maior probabilidade de ocupar *habitats* subterrâneos, uma vez que apresentaram maior abundância e riqueza relativa dentro da caverna além de possuírem pré-adaptações para a colonização desse tipo de ambiente.

Os opiliões de mais de 120 cavernas do carste de Pains foram catalogados em um estudo de revisão de todos os registros da superfamília Gonyleptoidea associados às cavernas brasileiras (ÁZARA; FERREIRA, 2018). Os táxons observados foram *Metavononoides barbacenensis* (Mello-Leitão, 1923), *Paratricommatus* sp., *Mitogoniella taquara*, *Eusarcus hastatus* e indivíduos da subfamília Pachylinae. *Mitogoniella taquara* foi a espécie com maior número de ocorrências entre as cavernas da região.

Finalmente, a periodicidade da atividade diária de flebotomíneos foi avaliada ao longo de períodos secos e chuvosos em algumas cavernas do carste de Pains (CAMPOS *et al.*, 2016). O período predominante de atividade desses insetos costuma ser crepuscular e noturno, mas pode ser diurno no interior de cavernas. No total, 1.777 flebotomíneos de 23 espécies foram coletados. A espécie mais abundante foi *Lutzomyia renei* (MARTINS; FALCÃO & SILVA, 1957) (44%), seguida por *Lutzomyia longipalpis* (LUTZ & NEIVA, 1912) (15%), *Evandromyia edwardsi* (MANGABEIRA, 1941) (11%) e *Micropygomyia quinquefer* (DYAR, 1929) (6%). Demais espécies amostradas foram *Brumptomyia avellari* (COSTA LIMA, 1932), *B. brumpti* (LARROUSSE, 1920), *B. nitzulescui* (COSTA LIMA, 1932), *Evandromyia bacula* (MARTINS; FALCÃO & SILVA, 1965), *E. cortelezii* (BRÈTHES, 1923), *E. lenti* (MANGABEIRA, 1938), *E. termitophila* (MARTINS; FALCÃO & SILVA, 1964), *Expapillata firmatoi* (BARRETTO; MARTINS; PELLEGRINO, 1956), *Migonemyia migonei* (FRANÇA, 1920), *Nyssomyia neivai* (PINTO, 1926), *N. whitmani* (ANTUNES & COUTINHO, 1939), *Pintomyia christensenii* (YOUNG & DUNCAN, 1994), *P. fischeri* (PINTO, 1926), *P. monticola* (COSTA LIMA, 1932), *P. pessoai* (COUTINHO & BARRETTO, 1940), *Psathyromyia aragaoi* (COSTA LIMA, 1932), *P. lutziana* (COSTA LIMA, 1932), *Sciopemyia micros* (MANGABEIRA, 1942) e *S. sordellii* (SHANNON & DEL PONTE, 1927). O estudo indicou que a atividade desses insetos não diferiu entre o dia e a noite na entrada e interior das cavernas. Assim, o risco de exposição de vertebrados, incluindo humanos, é constante nesse tipo de ambiente. O elevado número de fêmeas capturadas pelos autores no interior e entrada das cavernas é preocupante, pois elas se alimentam de sangue de vertebrados e podem transmitir a leishmaniose.

5. IMPACTOS E AMEAÇAS

Para uma melhor compreensão sobre o contexto atual de degradação ambiental da região cárstica de Pains, bem como sobre as suas consequências para a conservação da fauna cavernícola, é preciso conhecer o conjunto de atividades históricas relevantes no cenário local. Tais atividades foram responsáveis, ao longo de décadas, pelo intenso uso e ocupação do solo na região, pela substituição das matas nativas por extensas áreas de cultivo, agropecuária, silvicultura e, mais recentemente, por atividades de mineração. Como resultado, atualmente são raras as porções de mata nativa que ainda persistem, estando

estas restritas principalmente às áreas de afloramentos calcários, além de áreas de mananciais e algumas poucas reservas legais.

Entre os séculos XVII e XIX, com a doação de terras durante o período colonial para a formação de grandes fazendas (sesmarias) (IBGE, 2020), a fertilidade das terras da região desencadeou um processo de substituição das áreas naturais por pastagens e áreas de plantio, atividades que persistem até os dias de hoje. Nesse período, outro importante processo de transformação das áreas naturais, foi a instalação de fazendas denominadas “Engenhos de Serra”, as quais possuíam engenhos hidráulicos responsáveis pelo processamento de madeira em grande escala na região (HENRIQUES JÚNIOR, 2006). Finalmente, apesar da mineração ter sido iniciada na região há mais de dois séculos, foi durante a década de 1960 que as rochas carbonáticas se tornaram foco de investimentos do setor minerário, sendo que as primeiras indústrias de calcinação de grande porte se instalaram no município de Arcos (CHEREM; MAGALHÃES JÚNIOR, 2007). Junto com a mineração, o plantio de eucalipto na região passou a ter condição de destaque como matriz energética (carvão vegetal) para seus fornos de calcinação.

Desde então, a atividade minerária evoluiu de uma condição basicamente garimpeira para a instalação de grandes empresas nacionais e multinacionais, o que tornou a mineração e o beneficiamento do calcário a principal atividade econômica da região. No entanto, a falta de um plano diretor, a ausência de uma legislação eficiente e de controle e fiscalização dos órgãos ambientais, resultaram em uma ocupação desordenada e na utilização predatória dos recursos naturais da região. Dessa forma, os municípios não somente se beneficiaram dos investimentos providos pelo setor minerário, como também herdaram um enorme passivo ambiental.

Nesse contexto, atualmente a área cárstica de Pains representa um dos principais exemplos brasileiros de conflitos entre a preservação do patrimônio espeleológico e os impactos ambientais decorrentes da mineração. Autointitulada “a capital mundial do calcário”, a região é uma das áreas mais ameaçadas do estado e uma das que despertam maior preocupação no cenário nacional. A extração de calcário tem transformado a paisagem local e provocado impactos ambientais irreversíveis, resultando, inclusive, na supressão de cavidades naturais subterrâneas (Figura 8A). O desenvolvimento de uma frente de lavra sobre a maior e mais importante caverna conhecida nessa região, a Gruta do Éden, é apenas um exemplo clássico dos problemas ambientais regionais que também ocorrem em tantas outras localidades envolvendo cavernas de menor expressividade ou mesmo ainda desconhecidas pela sociedade.

Tendo em vista a pressão econômica na região e a grande concentração de cavernas existentes, era esperado que o conhecimento sobre a fauna da região evoluísse em consonância com o aumento do número de cavernas cadastradas. Na última década, a quantidade de cavernas conhecidas na região dobrou e passou de aproximadamente 1.200 cavernas cadastradas em 2010 para 2.570 em 2021 (CANIE, 2021), o que corresponde à maior concentração de cavernas da América Latina atualmente. Dessas, certamente uma parcela expressiva foi alvo de inventários biológicos nesse mesmo período conforme preconiza os instrumentos legais atualmente vigentes.

Quando comparamos o número de espécies descritas para quatro regiões minerárias importantes do Brasil no período de 2008 a 2020, observamos que as regiões ferríferas de Minas Gerais e do Pará tiveram um número significativamente maior de espécies descritas que as regiões carbonáticas de Pains e de Lagoa Santa. Nesse período foram descritas 115 espécies associadas a cavernas de ecossistemas ferruginosos, sendo 56 espécies para o Quadrilátero Ferrífero no estado de Minas Gerais e 59 espécies para a região de Carajás, no estado do Pará. Enquanto isso, para as áreas carbonáticas de Minas Gerais foram descritas

apenas 40 espécies no total, sendo 23 espécies para a região cárstica de Pains e 17 espécies para o carste de Lagoa Santa. Como explicação, uma das principais diferenças que observamos na gestão do licenciamento ambiental dessas áreas são as parcerias estabelecidas entre a iniciativa privada (principalmente mineração) e institutos de pesquisa, o direcionamento do material biológico obtido em estudos de licenciamento a coleções científicas de referência, um maior rigor dos órgãos licenciadores em relação à qualidade técnica dos estudos, bem como o estabelecimento de editais específicos para a descrição de espécies cavernícolas. Tais ações têm resultado em uma maior atenção a cavernas de ambientes ferruginosos em detrimento dos ecossistemas associados a regiões carbonáticas extremamente ameaçados por inúmeras atividades antrópicas.

Apesar dos inúmeros estudos de licenciamento ambiental realizados na região na última década, quase nada tem sido revertido em conhecimento científico, nem tão pouco têm subsidiado ações de proteção, como a criação de unidades de conservação na região. Zampaulo (2010) apontou em seu estudo cinco áreas prioritárias para a proteção da diversidade biológica subterrânea de Pains (Figura 7), as quais incluem as cavernas Brega, Buraco dos Curiós, Éden, Isaias, Paranoá, Santuário, Serra Azul, Zé da Fazenda e Zizinho Beraldo. No entanto, nenhuma delas encontra-se atualmente protegida e algumas estão diretamente expostas a atividades minerárias em operação, além de outros tipos de pressões antrópicas (agropecuária, expansão urbana, estradas, turismo desordenado, contaminação e exploração das águas subterrâneas, entre outras). Das cinco áreas definidas como prioritárias, consideram-se emergenciais, quanto à definição de estratégias de conservação, as áreas localizadas nas imediações da cidade de Pains que abrangem as cavernas do Éden e Serra Azul, tendo em vista a contiguidade de dois polígonos e as inúmeras ameaças na região.

Considerando os direitos minerários já concedidos pelo governo em toda a região cárstica de Pains (Figura 7) que denotam o uso potencial das respectivas áreas para fins de exploração mineral, pode-se observar que as cinco áreas mais importantes para conservação da biodiversidade subterrânea local já estão reservadas para a exploração e correm sérios riscos de destruição. Assim, torna-se fundamental que os estudos de licenciamento ambiental possam realmente refletir a realidade biológica dessas áreas, bem como serem revertidos necessariamente para a evolução do conhecimento sobre a fauna cavernícola da região a curto, médio e longo prazos. Além disso, é necessário que sejam realizados investimentos em pesquisas que permitam o melhor ordenamento dos recursos naturais, e a implantação e manutenção de unidades de conservação para a proteção do patrimônio espeleológico da região.

Vale lembrar que inventários de boa qualidade são fundamentais para a análise de relevância espeleológica de uma caverna e, portanto, para avaliar a viabilidade de um empreendimento o qual potencialmente pode acarretar impactos negativos irreversíveis em cavidades naturais subterrâneas e até mesmo a extinção de espécies. Um bom inventário serve ainda como uma fotografia daquele ecossistema, funcionando como base para monitoramentos posteriores realizados muitas vezes durante toda a vida útil do empreendimento. Desse modo, é inaceitável que os diagnósticos bioespeleológicos apresentados estejam aquém da biodiversidade esperada para a região.

Vale destacar ainda que a região cárstica de Pains faz parte de uma das áreas prioritárias para conservação dos invertebrados de Minas Gerais (FERREIRA *et al.*, 2009), sendo classificada como área de importância biológica extrema, isto é, área com alta riqueza de espécies endêmicas, ameaçadas ou raras e/ou fenômeno biológico especial e consta no Plano de Ação Nacional para Conservação das Cavernas do São Francisco (ICMBIO, 2012). Em razão disso, as ameaças antrópicas tornaram-se a principal justificativa para incluir essa área como prioritária para a conservação, com necessidade de aplicação de ações em curtíssimo prazo, des-

tacando-se entre elas a criação de unidades de conservação, a recuperação dos ecossistemas degradados e a realização de inventários (ICMBIO, 2012).

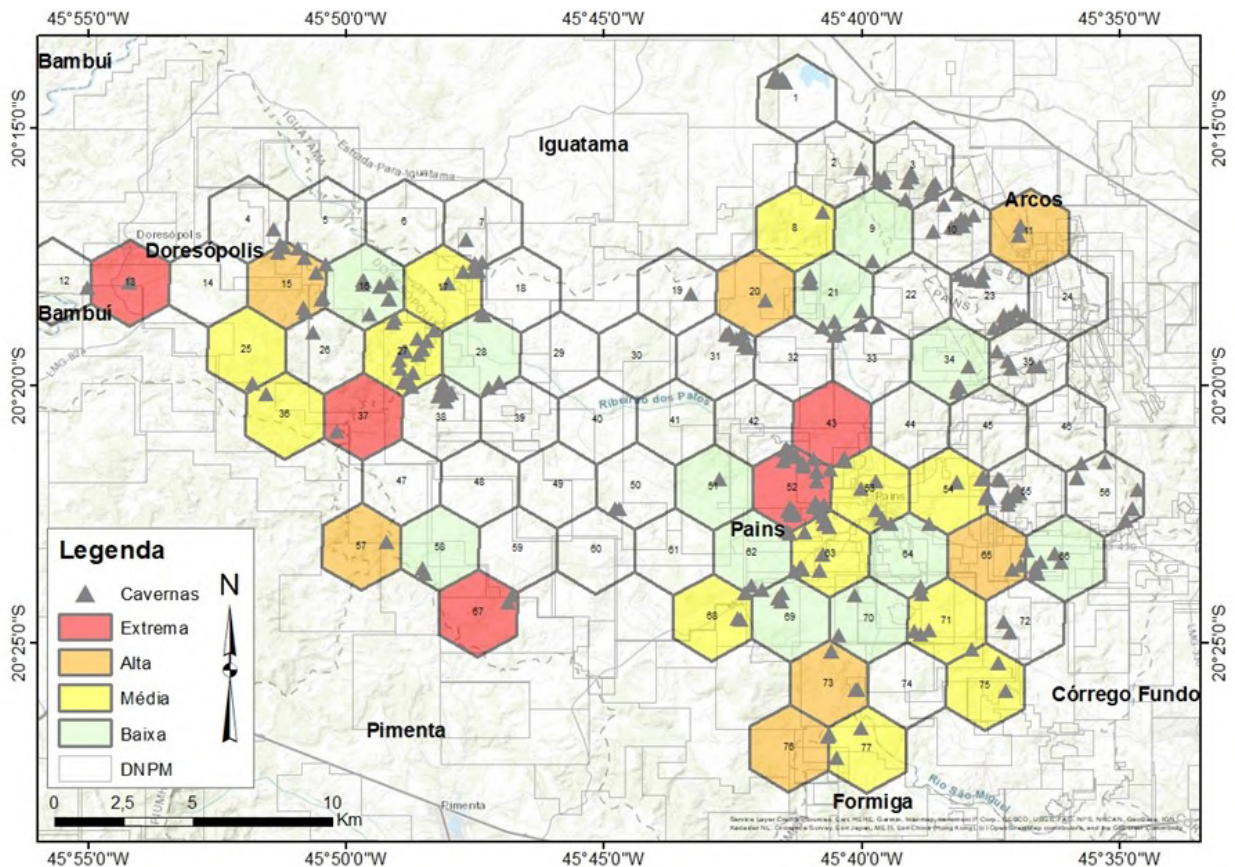


Figura 7 – Áreas prioritárias para conservação de invertebrados cavernícolas na região cárstica de Arcos, Pains e Doreópolis (MG). Os hexágonos representam as unidades amostrais utilizadas pelo autor. Os polígonos representados em segundo plano indicam as áreas de decreto de lavra na região. Fonte: Adaptado de Zampaulo, 2010.

Além dos impactos provenientes das atividades de mineração, outros importantes impactos também são observados em cavernas da região. A contaminação de drenagens subterrâneas também se mostra especialmente preocupante. A Bacia Hidrográfica do Rio São Miguel, onde está localizada a cidade de Pains, é caracterizada por altos níveis de coliformes termotolerantes, fósforo, nitrato e cádmio nas águas superficiais e subterrâneas. Esses contaminantes vêm de áreas agrícolas, pecuárias e urbanas (PEREIRA *et al.*, 2019). Lucon *et al.* (2018) realizaram análises hidroquímicas em 34 pontos da Bacia do Rio São Miguel e verificaram valores acima dos permitidos pela legislação brasileira para as concentrações de nitrato, alumínio, ferro, cádmio, manganês e turbidez. Infelizmente nenhum estudo ainda avaliou os potenciais impactos desses contaminantes sobre a fauna cavernícola da região, muito embora exista uma crescente preocupação, em especial com as espécies troglóbias, muitas das quais intimamente ligadas aos ciclos de infiltração hídrica da região, como os isópodes *Spelunconiscus*. Curiosamente, o bombeamento de água de cavernas, embora não muito frequente, ocorre em algumas áreas (Figura 8F), de forma que muitos moradores locais não somente impactam as cavernas com essa prática, como podem estar utilizando água contaminada para diferentes finalidades.

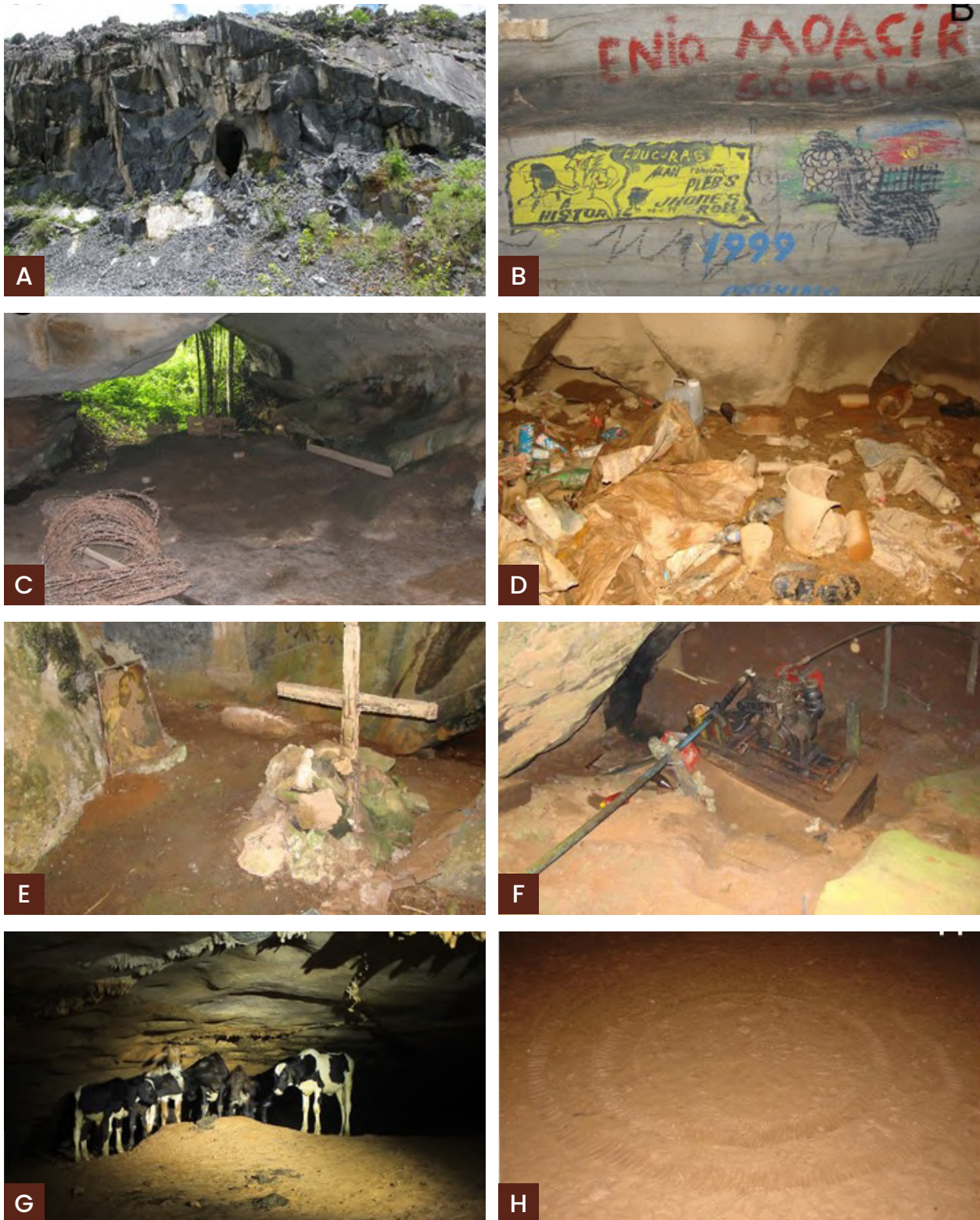


Figura 8 – Diferentes impactos observados no interior de cavernas na região de Pains: A) caverna parcialmente destruída por atividade de mineração na região do Córrego do Cavalo; B) Pichações no interior da entrada da gruta Cazanga, localizada em Arcos; C) Materiais de uso agrícola deixados junto à entrada da caverna Amargoso; D) Lixo depositado no interior da caverna Sumidouro; E) Manifestações religiosas no interior de uma caverna em Doresópolis; F) Bomba para a extração de água no interior da Loca Feia; G) Presença de gado nas proximidades da entrada da caverna Santuário; H) Marcas deixadas por pneus de uma motocicleta no piso da galeria inicial da gruta Brega. Fotografias A, B, C, H de Rodrigo L. Ferreira; Fotografias D, E, F e G de Robson de A. Zampaulo.

Mais recentemente, as plantações de eucalipto e soja cresceram significativamente na região e isso pode contribuir de forma significativa para a redução da biodiversidade regional tendo em vista a substituição de áreas naturais, alterações na dinâmica trófica, o assoreamento de cavidades e o uso de pesticidas.

Outro impacto visível na região é a expansão urbana descontrolada, especialmente nas imediações da cidade de Pains. Nos últimos anos, a área urbana dessa cidade tem se expandido rapidamente, inclusive sobre áreas que deveriam estar protegidas por lei, como o raio mínimo de 250 metros sobre a projeção externa da Gruta do Éden, a mais importante caverna em termos biológicos e espeleométricos da região. Por fim, cabe mencionar diversos outros impactos pontuais, mas que certamente merecem menção. Pichações (Figura 8B) são bastante comuns, especialmente nas cavernas mais visitadas. Muito embora representem um impacto visual severo, certos métodos de baixo impacto podem removê-las em quase sua totalidade. Depósitos de materiais agrícolas (Figura 8C) e mesmo de lixo (Figura 8D) também são eventualmente observados. Manifestações religiosas também ocorrem (Figura 8E), mas de forma bastante pontual. O uso de entradas de cavernas por gado (Figura 8G) não é tão raro, sendo observado em algumas regiões. Entre os impactos mais inusitados, destaca-se uma ocasião na qual um motociclista adentrou a Gruta do Brega percorrendo parte considerável de sua primeira galeria alterando a condição do piso e dos recursos orgânicos associados ao solo (Figura 8H), além de outros impactos associados (poluição sonora, liberação de fumaça, etc.). Tais práticas certamente demonstram certo descuido, por parte dos órgãos de fiscalização e da comunidade local em relação ao seu patrimônio espeleológico, bem como falta de programas efetivos de educação ambiental.

6. O LICENCIAMENTO AMBIENTAL E SUA “CONTRIBUIÇÃO” PARA O CONHECIMENTO BIOESPELEOLÓGICO DA REGIÃO

A região cárstica de Pains compreende uma área com um longo histórico de ocupação e uso minerário, com relatos dessas atividades há mais de dois séculos, com a retirada de salitre das cavernas para produção de pólvora (ESCHWEGE, 1979), instalação de pequenas caieiras e desenvolvimento da agropecuária. A partir da década de 1960, as rochas carbonáticas tornaram-se foco de investimentos desse setor de forma mais intensa (CHEREM; MAGALHÃES JÚNIOR, 2007). No entanto, somente nas últimas duas décadas, estudos de licenciamento ambiental desses empreendimentos passaram a ser obrigatórios, muitos dos quais incluindo levantamentos de informações espeleológicas. Esses estudos foram responsáveis pelo cadastramento de milhares de cavernas na região, que corresponde atualmente à maior concentração de cavernas do país com aproximadamente 2.500 cavernas cadastradas.

Uma consulta realizada por Zampaulo (2010) a relatórios técnicos já desenvolvidos na região, arquivados na antiga Fundação Estadual de Meio Ambiente (Feam) e no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), permitiu levantar informações potencialmente relevantes em relação à biodiversidade subterrânea local, como ocorrências de espécies troglóbias, endêmicas e de importância ecológica para os ecossistemas subterrâneos. Destaca-se que centenas de cavidades já haviam sido contempladas por estudos bioespeleológicos e uma grande quantidade de recursos humanos e financeiros havia sido investida. Infelizmente, o resultado dessa análise revelou que, especialmente na primeira década dos anos 2000, a maioria dos estudos não condizia com a realidade biológica local.

Ao todo foram analisados 29 processos realizados por dez empresas de consultoria e nove consultores distintos, entre os anos 1998 e 2006. Nesses processos foram identificadas informações referentes a 475 cavernas da região cárstica de Pains. Dessas, 59 cavidades (12%) foram simplesmente ignoradas do ponto

de vista biológico. Nesse caso, “ignoradas” significa que não foram apresentadas quaisquer referências à fauna presente, ou constava que tais cavidades não possuíam uma “fauna cavernícola típica”. Quanto às cavernas que continham algum tipo de informação biológica, 229 cavernas (55%) apresentaram riqueza igual ou inferior a dez espécies. Em 71 cavernas (17%) foram encontrados registros entre 11 e 20 espécies. Por fim, apenas 116 cavernas (28%) possuíam riqueza superior a 20 espécies. Tais dados representam a riqueza total da fauna cavernícola observada durante os levantamentos bioespeleológicos incluindo informações sobre vertebrados e invertebrados.

Comparando os valores de riqueza anteriormente mencionados com a riqueza média observada por Zampaulo (2010) para as cavernas da província (35 espécies por caverna), percebe-se que boa parte desses estudos foi conduzido de forma demasiadamente superficial, sem a devida qualidade técnica necessária para a obtenção de dados verossímeis. Tais diferenças também podem ser fruto do uso de métodos inadequados, muitos dos quais não citados na elaboração desses relatórios.

Problemas de ordem taxonômica também foram recorrentes em tais relatórios. Na maioria dos levantamentos, a maior parte dos táxons está identificada apenas no nível de ordem ($\pm 70\%$) e não existem informações sobre a distribuição das espécies ou abundâncias populacionais. A identificação errônea de diferentes táxons também foi observada. Em geral, os grupos mencionados nos estudos eram espécies de grande porte, abundantes e de ampla distribuição. Neles, predominam as aranhas da família Ctenidae (*Ctenus* e *Enoploctenus*) e Pholcidae, opiliões de comportamento gregário (*Mitogoniella taquara*), grilos e hemípteros de ampla distribuição (*Zelus* e *Endecous*). Tais espécies são comuns e facilmente observadas em qualquer caverna da região. Entre os morcegos, a maioria das informações consiste em levantamentos visuais, e as identificações estão restritas ao nível taxonômico de ordem, com exceção do morcego vampiro *Desmodus rotundus*, espécie mais comum da região.

De forma sumária, os inventários analisados são, em sua quase totalidade, insatisfatórios no que concerne à fauna cavernícola. Destaca-se que informações incompletas ou errôneas não somente prejudicam a tomada de decisões pelos órgãos ambientais como podem comprometer a conservação da biodiversidade subterrânea na região. Assim, é possível concluir que os inventários bioespeleológicos conduzidos ao longo das últimas décadas pouco contribuíram para o conhecimento da fauna subterrânea da província. No entanto, é importante destacar que, a partir de 2009, a nova legislação (BRASIL, 2009, 2017) passou a estabelecer critérios mais objetivos, o que deveria ter levado a uma melhoria na qualidade geral dos relatórios produzidos na região.

7. POTENCIAL TURÍSTICO E NECESSIDADE DE ORDENAÇÃO

Criado em 2005, de acordo com a atual Secretaria de Estado de Cultura e Turismo de Minas Gerais (Secult), o Circuito Grutas e Mar de Minas é atualmente constituído por sete municípios: Arcos, Campo Belo, Córrego Fundo, Cristais, Formiga, Pains e Pimenta. O principal atrativo desse circuito corresponde ao Lago de Furnas (o “Mar de Minas”), no entanto, ele ainda contempla o Rio São Francisco, bem como a região cárstica do Alto São Francisco. Porém, o circuito não se encontra ainda estabelecido em sua plenitude. Para essa região, Domingos e Ribeiro (2008) observaram em sua pesquisa uma fragilidade do modelo de gestão a partir da regionalização, evidenciando que apenas a vontade política, a proximidade dos municípios e a existência de atrativos turísticos não são suficientes para transformar uma região geográfica em uma região turística. Muitos dos circuitos se encontram em processo de formação e outros, por motivos diversos, não conseguem se consolidar como destino turístico.

Apesar do expressivo patrimônio espeleológico existente na região, até o momento não existe nenhuma caverna efetivamente turística e nem mesmo um roteiro espeleológico implantado. Diante dos inúmeros atrativos existentes na região, como painéis de pinturas rupestres, cavernas de grandes dimensões, belas formações geológicas, sumidouros e ressurgências, não existe sequer um receptivo ecoturístico em Pains. Aparentemente, uma certa incompatibilidade entre a vocação minerária da região e atividades turísticas, não permite investimentos efetivos por parte de entidades governamentais no turismo espeleológico da região.

É importante lembrar que para que haja um turismo espeleológico ordenado, legal e efetivo faz-se necessária, por parte da iniciativa privada e pública, a realização de estudos técnicos específicos que permitam o mapeamento de áreas e cavernas com potencial turístico na região e, posteriormente, a elaboração de planos de manejo espeleológico específicos que permitam o uso sustentável dos recursos naturais, com aumento da diversificação da renda para as comunidades locais e o mínimo de impacto sobre o patrimônio espeleológico.

Há algumas décadas, cavernas com elevado potencial turístico, como Brega e Santuário, vêm sendo utilizadas para a visitação turística. No entanto, trata-se de um turismo esporádico e desordenado que, por vezes, tem causado impactos nas cavernas, entre eles destacam-se o pisoteamento aleatório do piso das cavidades, uma vez que não existem linhas de caminhamiento predefinidas, pichações, lixo, presença de animais domésticos e quebra de espeleotemas. Em geral, impactos dessa natureza podem afetar as comunidades cavernícolas em decorrência de alteração nas condições microclimáticas das cavernas, alterações químicas no ambiente (liberação de CO_2), alterações físicas decorrentes do pisoteamento e biológica (introdução de organismos exóticos) (HUPPERT *et al.*, 1993). Obviamente, de forma geral, a relação entre impactos no interior das cavidades e cavernas com maiores dimensões é decorrente de atividades de visitação, uma vez que cavernas maiores normalmente são mais atrativas para o turismo (SOUZA-SILVA, 2008).

No relatório elaborado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) em 2014, foi apresentada uma lista preliminar de cavernas com visitação turística e com potencial turístico em áreas cársticas do PAN Cavernas do São Francisco. Entre as cavernas com potencial turístico na região de Pains foram elencadas a Gruta do Éden, Gruta dos Troncos (Caverna do Tronco) e Gruta do Sobradinho. Entretanto, apesar da Gruta do Éden ser a maior caverna conhecida da região, boa parte dessa caverna encontra-se associada a um rio subterrâneo, que oferece condições de riscos para a visitação turística. Além disso, a Gruta do Éden possui a maior concentração de espécies troglóbias da região (15 espécies, sete das quais endêmicas a essa caverna) e possui uma quantidade expressiva de espeleotemas frágeis e raros para a região, como agulhas e flores de gipsita. Assim, a visitação dessa cavidade deve ser considerada extremamente restritiva, sendo recomendada apenas em caráter técnico e científico.

Cavernas como a Gruta do Brega, Santuário, Zizinho Beraldo, dos Milagres, entre outras, possuem aptidão para o turismo convencional desde que sejam elaborados planos de manejo. Tais cavernas, de forma geral, são de fácil acesso e possuem expressiva beleza cênica, o que certamente as colocam em condição de destaque na região. Além disso, a Gruta do Brega, por exemplo, possui um piso praticamente plano ao longo de toda sua extensão, o que permitiria a realização de atividades de visitação espeleológica inclusiva para pessoas com deficiência visual, locomotora ou idosas por exemplo. Condições de acessibilidade natural como essas são raras e permitem o seu melhor aproveitamento para prática do ecoturismo na região, bem como a efetivação do circuito Grutas e Mar de Minas no estado.

8. CONCLUSÕES

A área cárstica de Pains tem sofrido de forma intensa as consequências do desenvolvimento de diferentes atividades econômicas resultantes do processo histórico de ocupação da região. Décadas de desmatamento para implantação da agropecuária, extração de madeira, ocupação e expansão urbana, contaminação das águas subterrâneas e, mais recentemente, expansão das atividades minerárias têm intensificado as ameaças levando a perdas efetivas da biodiversidade e do patrimônio espeleológico.

Detentora do maior acervo de cavernas conhecido atualmente para a América do Sul, a região cárstica de Pains possui registros arqueológicos e paleontológicos ainda pouco investigados e uma fauna subterrânea única com uma grande quantidade de espécies endêmicas. Dessas, apenas uma parcela pequena está descrita, e muito pouco se conhece sobre a biologia da maior parte delas. Por consequência, informações efetivas referentes à vulnerabilidade e ao nível de ameaça ao qual essas espécies estão submetidas são praticamente inexistentes. É importante destacar que enquanto estas atividades econômicas continuarem exercendo forte pressão sobre o patrimônio espeleológico da região, certamente inúmeras outras espécies ainda desconhecidas podem estar sendo extintas, incluindo microrganismos com potencial biotecnológico.

Assim, a complexidade do carste de Pains com sua elevada diversidade de espécies endêmicas inseridas em um contexto de expressivas ameaças ambientais torna urgente a necessidade de implantação de políticas públicas para a conservação desse patrimônio. Para isso, fazem-se necessários o estabelecimento, implantação e gestão de áreas de proteção (unidades de conservação), investimento em pesquisas para o melhor aproveitamento sustentável dos recursos naturais, a execução de licenciamentos ambientais eficientes, bem como a difusão de informações por meio de programas de educação ambiental sobre a importância de proteção desses singulares e frágeis ecossistemas. Apesar das décadas de exploração dos recursos naturais existentes, até o momento muito pouco tem sido feito para a manutenção da qualidade ambiental da região e preservação do rico patrimônio espeleológico como legado para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

- ÁLVARES, E. S. S.; FERREIRA, R. L. *Coarazuphium pains*, a new species of troglobitic beetle from Brazil (Coleoptera: Carabidae: Zuphiini). **Lundiana**, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p. 41-43, 2002.
- ASENJO, A.; FERREIRA, R. L.; ZAMPAULO, R. A. Description of *Metopiellus painensis* sp. nov. (Coleoptera, Staphylinidae), first troglobitic Pselaphinae from Brazil. **Zootaxa**, Auckland, v. 4269, n. 1, p. 115-123, mai. 2017.
- ÁZARA, L. N.; FERREIRA, R. L. Annotated checklist of Gonyleptoidea (Opiliones: Laniatores) associated with Brazilian caves. **Zootaxa**, Auckland, v. 4439, n. 1, p. 001-107, jun. 2018.
- BERNARDI, L. F. O. *et al.* A novel symbiotic relationship between mites and recluse spiders (Sicariidae: *Loxosceles*), with a description of a new *Callidosoma* species (Trombidiformes: Erythraeidae). **Zootaxa**, Auckland, v. 4338, n. 3, p. 459-474, out. 2017.
- BOUTIN, C. Phylogeny and biogeography of metacragonyctid amphipods in North Africa. **Hydrobiologia**, London, 287, p. 49-64, jul. 1994.

BRASIL. **Instrução Normativa Nº 2**. Ministério do Meio Ambiente, 20 de agosto de 2009. Define a metodologia para a classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas, conforme previsto no Art. 5º do Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990.

BRASIL. **Instrução Normativa Nº 2**. Ministério do Meio Ambiente, 30 de agosto de 2017. Define a metodologia para a classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas, conforme previsto no Art. 5º do Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990.

BRESCOVIT, A. D.; ÁLVARES, E. S. S.; FERREIRA, R. L. Two new species of *Symphytognatha* Hickman (Araneae, Symphytognathidae) from Brazil. **Revista Ibérica de Aracnologia**, Zaragoza, v. 10, p. 75-80, dez. 2004.

BRESCOVIT, A. D.; CIZAUSKAS, I. Seven new species of the spider genus *Matta* Crosby from caves in the State of Minas Gerais, Brazil (Araneae, Tetrablemmidae). **Zootaxa**, Auckland, v. 4559, n. 3, p. 401-444, fev. 2019.

CAMPOS, A. M. *et al.* Photoperiod Differences in Sand Fly (Diptera: Psychodidae) Species Richness and Abundance in Caves in Minas Gerais State, Brazil. **Journal of Medical Entomology**, Honolulu, p. 1-6, ago. 2016.

CASTRO-SOUZA, R. A.; JUNTA, V. G. P.; FERREIRA, R. L. Description and ecology of a new species of the cricket genus *Endecous* (Orthoptera: Grylloidea: Phalangopsidae) in the speleological province of Arcos-Pains-Doresópolis, Southeastern Brazil. **Zootaxa**, Auckland, v. 4821, n. 2, p. 305-332, jul. 2020.

CECAV. **Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (Canie)**. ICMBIO, 2021. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html>. Acesso em: 12 jan. 2022.

CHEREM, L. F. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. O uso de imagens Cbers no monitoramento da expansão de atividades extrativas de rochas carbonáticas em Minas Gerais: o caso da província cárstica de Arcos-Pains. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Resumos [...]**. Florianópolis: Inpe, p. 807-814, 2007.

CHRISTMAN, M. C.; CULVER, D. C. The relationship between cave biodiversity and available habitat. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 3, n. 28, p. 367-380, mar. 2001.

CULVER, D. C.; SKET, B. **Hotspots of subterranean biodiversity in caves and wells**. **Journal of Cave and Karst Studies**, Huntsville, v. 62, p. 11-17, mar. 2000.

CULVER, D. C.; PIPAN, T. Ecological and evolutionary classifications of subterranean organisms. In: WHITE, W. B.; CULVER, D. C.; PIPAN, T. (Org.) **Encyclopedia of Caves**. 3. ed. London: Academic Press, 2019, p. 376-379.

DANTAS-TORRES, F. *et al.* Description of a New Species of Bat-Associated Argasid Tick (Acari: Argasidae) from Brazil. **J. Parasitol.**, v. 98, n. 1, p. 36-45, fev. 2012.

DOMINGOS, M. D. C.; RIBEIRO, T. F. Uma Análise do Modelo de Gestão Regional do Turismo do Estado de Minas Gerais: o caso do Circuito das Grutas e Mar de Minas. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA EM TURISMO DO MERCOSUL – SEMINTUR, V., 2008, Caxias do Sul, **Anais [...]** Caxias do Sul, RS, p. 1-13, 2008.

ESCHWEGE, W. L. **Pluto brasiliensis**. Belo Horizonte/São Paulo: Itatiaia/Ed. USP, 622p. 1979.

FAILLE, A. Beetles. *In*: WHITE, W. B.; CULVER, D. C.; PIPAN, T. **Encyclopedia of caves**. 3. ed. London: Academic Press, 2019, p. 102-108.

FERNANDES, R. G. **Diversidade de morcegos cavernícolas na região Arcos-Pains-Doresópolis**: o primeiro insight da ecologia e conservação em um carste ameaçado. 2018. 190p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

FERREIRA, M. I. G.; FERREIRA, R. L.; GIL-SANTANA, H. R. The genus *Zelurus* Hahn, 1826, in Brazilian caves: description of new species and comments on the potential distribution of the genus in South America. **Zootaxa**, Auckland, v. 4170, n. 2, p. 250-270, set. 2016.

FERREIRA, R. L.; SILVA, M. S.; BERNARDI, L. F. O. Contexto Bioespeleológico. *In*: DRUMMUND, G. M. *et al.* **Biota Minas**: diagnóstico do conhecimento sobre a biodiversidade no Estado de Minas Gerais, subsídios ao Programa Biota Minas. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2009, p. 160-175.

GIL-SANTANA, H. R.; FERREIRA, R. L. A new species of *Dohrnemesa* and a new species of *Polauchenia* from Brazil (Hemiptera: Heteroptera: Reduviidae: Emesinae). **Zootaxa**, Auckland, v. 4338, n. 2, p. 201-240, out. 2017.

HENRIQUES-JUNIOR, G. P. **Arqueologia regional da Província Cárstica do Alto São Francisco**: um estudo das tradições ceramistas Una e Sapucaí. 2006, 79p. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

HERNANDES, F. A.; BERNARDI, L. F. O.; FERREIRA, R. L. Snout mites from caves in Brazil, with description of a new species (Acari: Trombidiformes: Bdellidae). **Journal of Natural History**, v. 45, n. 13-14, p. 799-812, abr. 2011.

HUPPERT, G. *et al.* Effects of tourist development on caves and karst. *In*: WILLIAMS, P. W. (Ed.). **Karst terrains**: environmental changes and human impact. Cremlingen-Destedt: Catena-Verlag, 1993, p. 251-268, (Catena Supplement, 25).

ICMBio. **Oficina de Cavernas Turísticas – Parte II**. Plano de Ação Nacional para a Conservação do Patrimônio Espeleológico nas Áreas Cársticas da Bacia do Rio São Francisco – PAN Cavernas do São Francisco. Relatório Final. Brasília/DF, março 2014. 85p.

ICMBio. **Plano de Ação Nacional para a Conservação do Patrimônio Espeleológico nas Áreas Cársticas da Bacia do Rio São Francisco**. CAVALCANTI, L. F. *et al.* (Org.). Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 140 p.: il. color; 24 cm. (Série Espécies Ameaçadas, 27), 2012.

INIESTA, L. F. M.; FERREIRA, R. L. New species of *Pseudonannolene* Silvestri, 1895 from Brazilian limestone caves with comments on the potential distribution of the genus in South America (Spirostreptida: Pseudonannolenidae). **Zootaxa**, Auckland, v. 3846, n. 3, p. 361-397, ago. 2014.

INIESTA, L. F. M.; FERREIRA, R. L. Two new species of *Pseudonannolene* Silvestri, 1895 from Brazilian limestone caves (Spirostreptida: Pseudonannolenidae): syntopy of a troglophilic and a troglotrophic species. **Zootaxa**, Auckland, v. 3702, n. 4, p. 357-369, ago. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/pains/historico>. Acesso em: 30 jul. 2021.

JAFFÉ, R. *et al.* Reconciling Mining with the Conservation of Cave Biodiversity: a quantitative baseline to help establish conservation priorities. **PLOS ONE**, San Francisco, v. 11, n. 12, p. 1-16, dez. 2016.

KURY, A. B.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A. The first cave-dwelling Spinopilar Mello-Leitão 1940 (Opiliones Gonyleptidae Tricommatainae), described from a Brazilian cave. **Tropical Zoology**, Firenze, v. 21, n. 2, p. 259-267, nov./dez. 2008.

LIENHARD, C.; FERREIRA, R. L. New species of *Psyllipsocus* from Brazilian caves (Psocodea: 'Psocoptera': Psyllipsocidae). **Revue suisse de Zoologie**, Genebra, v. 121, n. 2, p. 211-246, jun. 2014.

LIENHARD, C.; FERREIRA, R. L. Three new species of *Psyllipsocus* (Psocodea: 'Psocoptera': Psyllipsocidae) from Brazilian caves with description of a novel structure interpreted as a male accessory genital organ. **Revue suisse de Zoologie**, Genebra, v. 120, n. 3, p. 421-443, set. 2013.

LUCON, T. N. *et al.* Utilização do mapeamento hidroquímico para avaliação da qualidade das águas superficiais da Bacia do Rio São Miguel, Minas Gerais. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 26, n. 1, p. 31-42, jul. 2018.

MACHADO, S. F.; FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Aspects of the population ecology of *Goniosoma* sp. (Arachnida Opiliones Gonyleptidae) in limestone caves in southeastern Brazil. **Trop. Zool.**, v. 16, p. 13-31, jul. 2003.

MENEGASSE, L. N.; GONÇALVES, J. M.; FANTINEL, L. M. Disponibilidades hídricas na província cárstica de Arcos-Pains-Doresópolis, Alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil. **Rev. Águas Subterrâneas**, n. 16, p. 1-19, dez. 2002.

PECK, S. B. Climatic change and the evolution of cave invertebrates in the Grand Canyon, Arizona. **National Speleological Society Bulletin**, v. 42, p. 53-60, 1980.

PELLEGRINI, T. G. *et al.* *Coarazuphium lundii* (Carabidae: Zuphiini), a new Brazilian troglobitic beetle, with the designation of a neotype for *C. pains* Álvares & Ferreira, 2002. **Zootaxa**, Auckland, v. 4878, n. 2, p. 287-304, nov. 2020.

PELLEGRINI, T. G.; FERREIRA, R. L.; VIEIRA, L. The first troglobitic species of *Perigona* Castelnau, 1835 endemic from Southeastern Brazil (Carabidae, Perigonini). **European Journal of Taxonomy**, v. 806, p. 113-127. 2022.

PEREIRA, D. L. *et al.* Adapting the EPIK method to Brazilian Hydro(geo)logical context of the São Miguel watershed to assess karstic aquifer vulnerability to contamination. **Journal of South American Earth Sciences**, n. 90, p. 191-203, mar. 2019.

PRETE, P. H.; BRESCOVIT, A. D. A new species of *Cuacuba* (Araneae, Theridiosomatidae) from Brazilian caves. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 55, p. 109-115, dez. 2019.

PROUS, X.; FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Ecotone delimitation: epigeal hypogean transition in cave ecosystems. **Austral Ecology**, Carlton, 29, n. 4, p. 374-382, ago. 2004.

RABELO, L. M.; SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R. L. Epigean and hypogean drivers of Neotropical subterranean communities. **Journal of Biogeography**, v. 48, n. 3, p. 1-14, dez. 2020.

RATTON, P. A.; FERREIRA, R. L.; POMPEU, P. S. **Fish community of a small karstic Neotropical drainage and its relationship with the physical habitat**. Marine and Freshwater Research, v. 69, n. 8, p. A-1, 2018.

SANTOS, T. **Primeiras abordagens ecológicas de anfíbios e répteis em cavernas do Brasil**. 2017. 42p. Dissertação (Mestrado em Biologia de Vertebrados) – Programa de Pós-Graduação em Biologia de Vertebrados, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas), Belo Horizonte.

SILVA, M. B. da; GNASPINI, P. A systematic revision of Goniosomatinae (Arachnida: Opiliones: Gonyleptidae), with a cladistic analysis and biogeographical notes. **Invertebrate Systematics**, v. 23, p. 530-624, jan. 2009.

SILVA-NETO, A. M. DA S. *et al.* Checklist and identification key to Brazilian species of *Triplocania* Roesler (Psocodea: Psocoptera: Psocomorpha: Ptiloneuridae), with four new cavedwelling species. **Zootaxa**, Auckland, v. 4938, n. 5, p. 537-558, mar. 2021.

SIMÕES, M. H.; SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R. L. Cave physical attributes influencing the structure of terrestrial invertebrate communities in Neotropics. **Subterranean Biology**, v. 16, p. 103-121, nov. 2015.

SOCIEDADE EXCURSIONISTA ESPELEOLÓGICA. **Projeto Arcos Pains Espeleologia – Proape: área cárstica de Pains**. Relatório Técnico. Ouro Preto, 549p. 2012.

SOUZA, M. F. V. R.; FERREIRA, R. L. Two new troglobiotic palpigrades (Palpigradi: Eukoeneniidae) from Brazil. **Zootaxa**, Auckland, v. 4171, n. 2, p. 246-258, set. 2016.

SOUZA-SILVA, M. **Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na Mata Atlântica brasileira**. 2008. 225 p. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R. L. **The first two hotspots of subterranean biodiversity in South America**. Subterranean Biology, v. 19, p. 1-21, jul. 2016.

SOUZA-SILVA, M. *et al.* **Transitory aquatic taxocenosis in two neotropical limestone caves**. Revista Brasileira de Espeleologia, Brasília, v. 2, n. 1, p. 29-41, ago. 2012.

VASCONCELOS, A. C. O.; GIUPPONI, A. P. L.; FERREIRA, R. L. A new species of *Charinus* from Minas Gerais State, Brazil, with comments on its sexual dimorphism (Arachnida: Amblypygi: Charinidae). **The Journal of Arachnology**, v. 42, p. 155-162, ago. 2014.

ZAMPAULO, R. A. **Diversidade de Invertebrados cavernícolas na província espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG): subsídios para a determinação de áreas prioritárias para conservação**. 2010. 190p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.



Sítio Arqueológico Posse Grande. Foto: Ataliba Coelho.



CAPÍTULO 7

ARQUEOLOGIA PRÉ-COLONIAL DA REGIÃO CÁRSTICA DE PAINS

EDWARD KOOLE

1. INTRODUÇÃO

A disciplina de arqueologia quer conhecer melhor a história da humanidade a partir do estudo de todo e qualquer tipo de evidência material produzido pelas populações humanas pretéritas. O trabalho do arqueólogo consiste em localizar, escavar, registrar, analisar e interpretar esses vestígios dentro de uma referência espacial e temporal. No presente Capítulo, apresenta-se um quadro resumido da arqueologia pré-colonial do carste de Pains. Descreve-se o conhecimento arqueológico que se tem atualmente, no ano de 2021 *anno Domini* (a.D.), relativo ao período anterior à chegada dos primeiros colonizadores de origem europeia à região, ou seja, tudo o que ocorreu antes de cerca de 1600 a.D. Esse período, conhecido como período pré-colonial, ou “pré-histórico” se considerarmos a ausência de fontes escritas como documentação, representou um intervalo cronológico prolongado com, pelo menos, 10 milênios de duração, ou cerca de 95% da história da presença humana no território que se transformou em Brasil.

A pesquisa arqueológica começa frequentemente, antes ou depois da formulação das questões que se pretende investigar, pelo problema de onde procurar pelos vestígios. A importância arqueológica do carste de Pains, constituído por centenas de cavidades, reside principalmente no fenômeno de que seus abrigos naturais sob rocha concentraram diversas atividades humanas durante longos intervalos no período pré-colonial, produzindo, assim, de forma intencional ou não, um acúmulo significativo e variado de evidências arqueológicas em um mesmo local, relativamente bem preservadas nos seus pisos sedimentares, protegidas das intempéries e de intervenções humanas posteriores. Os abrigos naturais representam, portanto, locais circunscritos na paisagem e relativamente fáceis de encontrar e delimitar e importantes para estabelecer a cronologia de ocupação regional graças à formação de uma estratigrafia com camadas sedimentares sucessivas em um mesmo local, apesar de não representarem os únicos locais onde são encontrados sítios pré-coloniais na região, existindo também dezenas deles a céu aberto.

A variedade de vestígios pré-coloniais que foram deixados no carste de Pains é relativamente grande, abrangendo desde arte rupestre, cerâmica, material lítico lascado e polido/picoteado/lascado, artefatos de osso, madeira e concha, restos faunísticos e vegetais, carvões e sepultamentos humanos. A partir das suas semelhanças e diferenças formais, espaciais e temporais as evidências mais marcantes são agrupadas pelos arqueólogos, com o intuito de organizar o material e dar maior clareza às suas possíveis relações ou associações, em fases e tradições. Fases são agrupamentos menores enquanto as tradições são mais abrangentes; uma ou mais fases podem compor uma tradição, por exemplo. No carste de Pains foram reconhecidos vários elementos de tradições estabelecidas para outras partes do Brasil, como as tradições *Una*, *Aratu-Sapucaí* e *Tupiguarani* para a cerâmica, as tradições *Planalto* e *São Francisco* para a arte rupestre e as tradições *Umbu* e *Itaparica* para o material lítico lascado. Em relação à presença de sepultamentos, o carste de Pains apresenta características semelhantes à região de Lagoa Santa.

Além dessa classificação geral, busca-se também, a partir das evidências arqueológicas e sua configuração espacial, por padrões (ou repetições) que podem revelar traços comportamentais das populações pré-coloniais, como a maneira de usar o espaço nos abrigos naturais, a forma de sepultar os mortos, a sua mobilidade regional, etc.

Apesar das diferenças regionais, algumas delas expressivas, o período pré-colonial apresenta uma tendência fundamental em todo o Brasil e no resto do continente americano também: trata-se da transformação de um modo de subsistência baseado na caça, coleta e pesca em um que gira em torno da produção agrícola que, mesmo que mantendo a caça, coleta e pesca, apresenta mudanças significativas em relação ao primeiro. Isso significa que grupos chamados “caçadores-coletores” (mais antigos) são substituídos no

registro arqueológico por grupos “agricultores-ceramistas” (mais recentes), uma transformação que vem acompanhada de sinais inconfundíveis, como mudanças na alimentação, nas ferramentas e utensílios utilizados, na localização e dimensões dos acampamentos e/ou aldeias, na expressão artística e na maneira de sepultar os mortos. É possível, portanto, distinguir claramente pelo menos dois grandes momentos no período pré-colonial para o território brasileiro, uma divisão com implicações temporais e espaciais que também foi constatada na região aqui em foco. O presente Capítulo foi, por essa razão, subdividido em duas partes principais, apresentadas em ordem cronológica de aparição no registro arqueológico, ou seja, do mais antigo ao mais recente: uma primeira parte abordando os caçadores-coletores, seguida por uma segunda parte descrevendo a ocupação dos agricultores-ceramistas.

Um problema que não será tocado aqui, mas que representa atualmente uma das grandes questões científicas a serem esclarecidas na arqueologia brasileira é onde e como que esse processo de transformação “neolítica” se manifestou inicialmente, seja no atual território brasileiro ou fora dele, de que maneira evoluiu e como se espalhou para atingir regiões do interior do Brasil como o carste de Pains, substituindo a cultura material do grupo anterior. O termo “neolítico” foi cunhado ainda no século XIX para designar o período na pré-história em que se adotou a agricultura, posterior ao “paleolítico”, período dos caçadores-coletores.

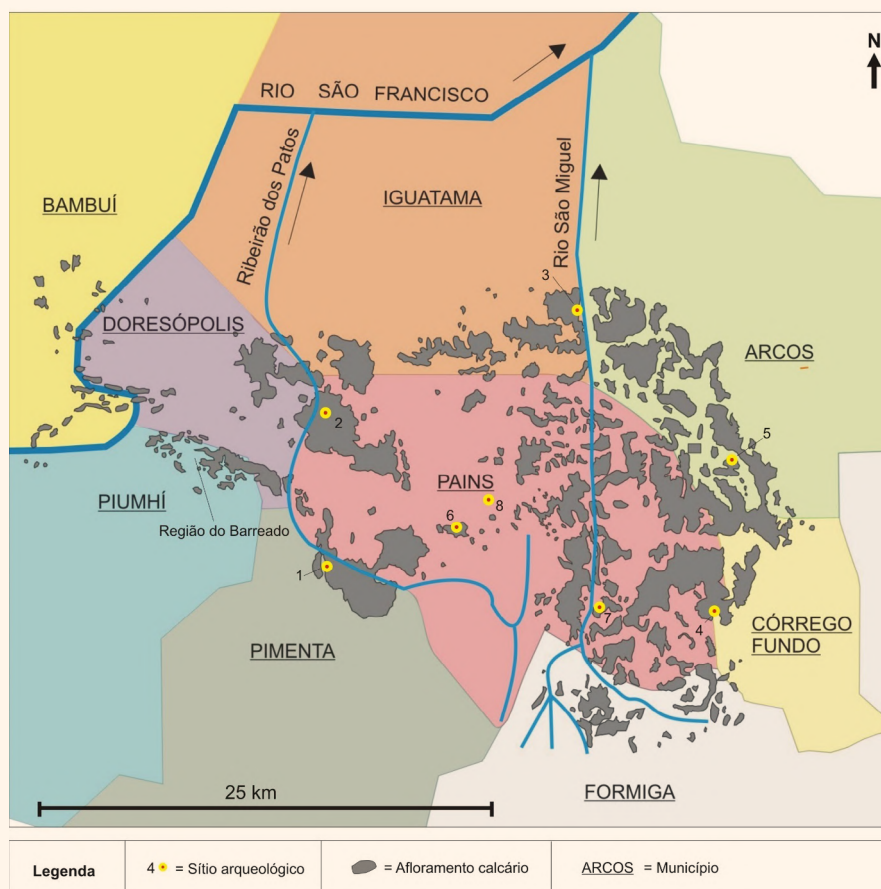


Figura 1 – Mapa esquemático do carste de Pains com a localização dos principais sítios mencionados no texto: (1) Gruta do Marinheiro; (2) Loca do Suin; (3) Gruta da Matinha; (4) Abrigo Lagoa do Retiro; (5) Lapa da Posse Grande; (6) Gruta da Perdição I; (7) Gruta Mané do Juquinha; (8) sítio Engenho de Serra. Os sítios Buracão dos Bichos e do Inhamé, também referidos no texto, não constam aqui porque se encontram fora dos limites do presente mapa. Fonte: Elaboração própria.

2. O PERÍODO DOS CAÇADORES-COLETORES

Esta parte do Capítulo, que descreve a ocupação caçadora-coletora, baseia-se principalmente em dois estudos acadêmicos desenvolvidos ao longo de 15 anos, entre 1999 e 2014, no carste de Pains (KOOLE, 2007, 2014), quando foram feitos levantamentos e registros de sítios e escavados quatro sítios sob abrigo natural, totalizando 28 m² de escavações arqueológicas. Os sítios que receberam intervenções foram a *Loca do Suin* (6 m²), a *Gruta do Marinheiro* (20 m²), a *Gruta da Matinha* (1 m²) e o *Abrigo Lagoa do Retiro* (1 m²). Durante os anos iniciais, quando ocorreu a descoberta da maioria dos sítios conhecidos, essas pesquisas foram possíveis graças aos trabalhos de consultoria arqueológica, em função do licenciamento ambiental para diversas empresas locais, em áreas espalhadas por todo o carste de Pains, inclusive na região do Córrego do Barreado, à colaboração do grupo de espeleologia de Pains (EPA) e aos voluntários, principalmente de São Paulo, Belo Horizonte e Pains, que participaram das escavações.

Os grupos caçadores-coletores podem ser caracterizados em uma generalização abrangente e sucinta, como comunidades relativamente pequenas de pessoas, sem representações escritas (ágrafas), talvez um conjunto de algumas (ou mais) famílias nucleares, incluindo anciões e agregados, que:

- Ocupavam e exploravam determinado território;
- Podiam se subdividir em grupos menores (nucleares) ou se agregar a outras comunidades semelhantes formando grupos maiores (tribais), possivelmente com uma frequência sazonal, mas também ocasional, como em caso de guerra, por exemplo;
- Utilizavam, para seu sustento, em uma economia de subsistência bastante elementar (não “produziam” mas “colhiam”), os alimentos que eram caçados, coletados e pescados em extensões de terra relativamente amplas;
- Não faziam uso de vasos cerâmicos e nem obtinham sua alimentação pelo cultivo de plantas domesticadas;
- O manejo das matas, favorecendo espécies úteis em detrimento de outras, pode ter ocorrido;
- Sabe-se também que caçavam preferencialmente mamíferos de pequeno e médio porte.

As pesquisas arqueológicas mais intensivas no carste de Pains são relativamente recentes (últimos 50 anos), entretanto a primeira menção a evidências pré-coloniais na região recebeu-se do Barão von Eschwege (1979), ainda no início do século XIX. Acompanhando a retirada e o beneficiamento de salitre a partir do solo encontrado em cavernas, ele identificou ossadas humanas, além de restos de ossos de animais. De fato, hoje se sabe que os sepultamentos encontrados nas cavidades do carste de Pains representam uma das evidências mais significativas associadas à ocupação caçadora-coletora dessa região, ao lado da arte rupestre (gravuras e pinturas), os instrumentos e refugio de pedra lascada e restos fragmentários de animais e plantas. Essas evidências são encontradas, com exceção dos paredões ou lajes com arte rupestre, misturadas no solo dos pisos das cavidades: em camadas pulverulentas cinza e/ou branca nas áreas abrigadas protegidas, em um ambiente mais estável; e em camadas marrom-escuro nas partes desabrigadas na boca ou em frente dos abrigos, atingidas pelas águas das chuvas. Esses pacotes arqueológicos, que podem chegar a mais de 1 metro de espessura, por vezes

intercalados por uma ou outra camada de origem natural (colúvio amarelo e/ou vermelho), foram constituídos predominantemente pelo acúmulo de fogueiras colocadas umas em cima das outras por ocupações intensivas durante longos intervalos de tempo, formando depósitos sedimentares relativamente espessos de origem antrópica. Um vestígio bastante comum, devido à abundância de fogueiras sobrepostas, é o carvão, uma fonte importante para a obtenção de datações radiocarbônicas e para o estabelecimento de uma cronologia de ocupação.

3. CRONOLOGIA: ESTRATIGRAFIA E DATAÇÕES RADIOCARBÔNICAS

Os dados para a contextualização temporal ou cronológica das evidências, um aspecto essencial na pesquisa arqueológica por compor o quadro de referência para a análise e interpretação, se originam de duas fontes complementares:

- O estudo da estratigrafia, a sucessão das diferentes camadas, permite uma datação “relativa”, seguindo a regra geral de que o que está por cima é mais recente do que está por baixo; as camadas podem, no entanto, estarem perturbadas por atividades humanas e/ou naturais (buracos de animais ou raízes, por exemplo), ou até apresentando uma sequência invertida em certas circunstâncias;
- As datações radiocarbônicas, obtidas a partir de matéria orgânica encontrada nas escavações, como carvões ou fragmentos de colágeno nos ossos, representam as datações “absolutas” que fornecem um intervalo de tempo para mais e para menos de uma data central. Como esses intervalos de tempo são relativamente pequenos para datas que são frequentemente muito antigas, chega-se a uma precisão satisfatória. Pode-se, dessa forma, obter idades indiretas para os vestígios arqueológicos que se encontram em uma certa camada que foi datada por uma amostra de carvão, ou diretas, quando se trata de um sepultamento que teve um de seus ossos datado, por exemplo. Os resultados são fornecidos por laboratórios especializados a partir de um processo físico-químico que utiliza as propriedades do isótopo radioativo do Carbono, o C14, presente em amostras orgânicas, para calcular o momento aproximado da morte do organismo e é possível graças ao ritmo constante em que a quantidade de C14 diminui em um organismo, decaindo pela metade a cada 5.730 anos a partir de sua morte. ±

Apresenta-se aqui as 15 datações absolutas para os quatro sítios supracitados que foram escavados, sendo que apenas duas foram obtidas a partir de colágeno de ossos humanos (nº 2 e 3 na Figura 2), o restante proveniente de carvões. Utiliza-se a sigla “AP” que significa “Antes do Presente”.

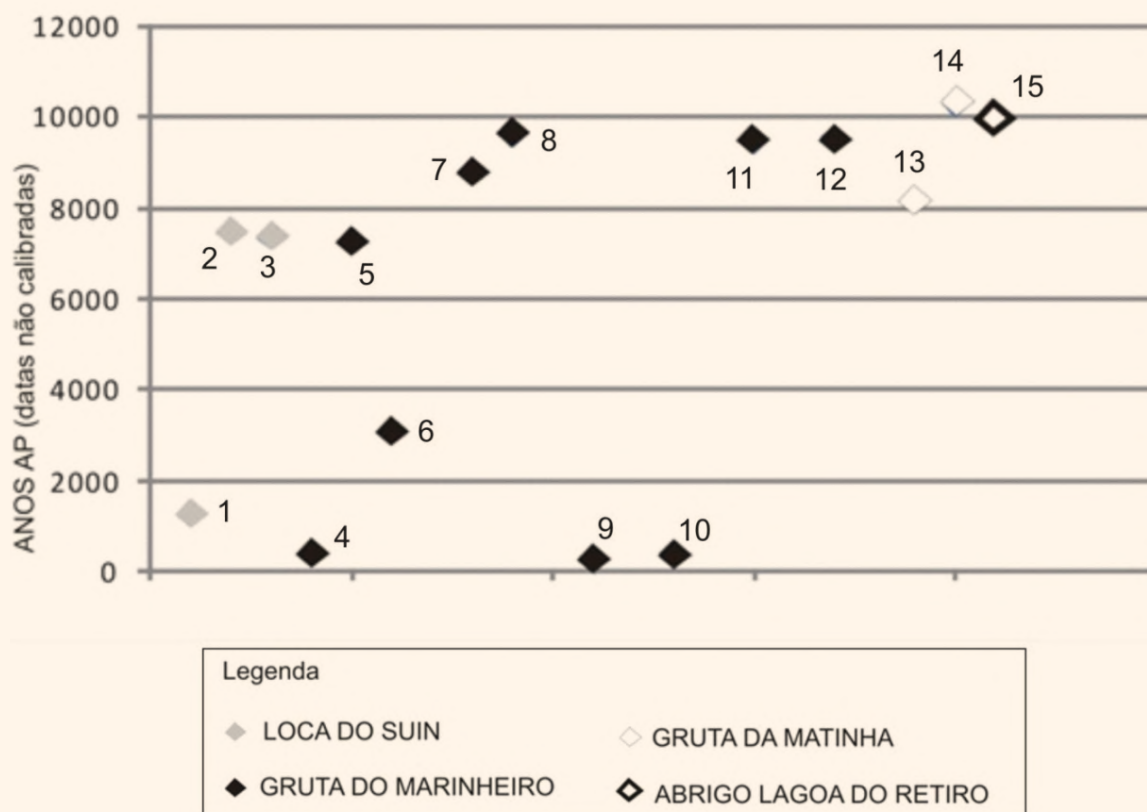


Figura 2 – Relação de 15 datas radiocarbônicas não calibradas obtidas em quatro cavidades naturais localizadas no carste de Pains. Legenda numeração: 1: 1.270 ± 40 anos AP; 2: 7.460 ± 50 anos AP; 3: 7.350 ± 50 anos AP; 4: 400 ± 25 anos AP; 5: 7.250 ± 30 anos AP; 6: 3.100 ± 50 anos AP; 7: 8.780 ± 35 anos AP; 8: 9.610 ± 60 anos AP; 9: 270 ± 30 anos AP; 10: 400 ± 30 anos AP; 11: 9.460 ± 40 anos AP; 12: 9.510 ± 40 anos AP; 13: 8.150 ± 30 anos AP; 14: 10.290 ± 35 anos AP; 15: 9.950 ± 35 anos AP. (Fonte: Koole, 2014).

Nota-se, como ocorre também para a região de Lagoa Santa (ARAÚJO *et al.*, 2012), um intervalo de quase 4 mil anos no Holoceno médio, entre cerca de 7.250 e 3.100 anos AP (nº 5 e 6 na Figura 2) sem datação absoluta alguma, tendo em mente que as amostras de carvão não foram coletadas apenas em níveis superficiais e profundos, mas também em níveis intermediários. Vislumbra-se também uma acumulação maior de depósitos no Holoceno antigo, entre cerca de 10.290 e 7.250 anos AP, sugerindo atividades mais intensivas nos abrigos durante esse intervalo por parte dos caçadores-coletores. Algumas datas que remetem ao período posterior dos agricultores-ceramistas foram coletadas na porção superior das estratigrafias (nº 1, 4, 9 e 10 na Figura 2) e servem para assinalar os limites da ocupação caçadora-coletora. Exemplos de estratigrafias, que fornecem uma datação relativa, serão apresentados na descrição e contextualização da cultura material abaixo.

4. OCUPAÇÃO DOS ESPAÇOS NOS ABRIGOS E MOBILIDADE REGIONAL

Um padrão (ou repetição) da localização dos vestígios e estruturas nos quatro sítios escavados, assim como informação de outros abrigos com material lítico em superfície, permitiu identificar alguns traços compor-

tamentais de como o espaço dos abrigos era utilizado pelos caçadores-coletores, ou seja, onde determinadas atividades eram preferencialmente realizadas. Essas características coincidem, em grande medida, com o que foi levantado, em um exercício de analogia, na bibliografia sobre o uso de abrigos por comunidades caçadoras-coletoras modernas da Austrália e da África e horticultoras em expedições de caçada na Papua Nova Guiné (GORECKI, 1991; NICHOLSON; CRANE, 1991; PARKINGTON; MILLLS, 1991; WALTHALL, 1998), e foram resumidas na seguinte citação:

A ocupação dos abrigos naturais por caçadores-coletores móveis era estruturada e as atividades conduzidas dentro deles altamente padronizadas. A utilização desses abrigos era normalmente restrita ao período de tempo inclemente, estações frias e/ou úmidas. O uso residencial desses sítios era geralmente de curta duração e restrito aos caçadores masculinos ou a grupos forrageiros familiares. As atividades nesses abrigos incluíam dormir (em determinados locais), a preparação das refeições, cozinhar e manutenção das ferramentas. Cozinhar e manutenção dos equipamentos aconteciam usualmente no centro do abrigo, próximo à linha de gotejamento d'água (WALTHALL, 1998, p. 226-227).

Um elemento que se pode acrescentar para os caçadores-coletores do carste de Pains é a localização dos seus sepultamentos nos abrigos, correspondendo às áreas de dormir, frequentemente localizadas próximo a uma parede no fundo do abrigo.

Em termos de mobilidade, observou-se que os caçadores-coletores frequentavam todos os ambientes e nichos topográficos do carste de Pains, devido à identificação de sítios em abrigos naturais nesses diferentes locais. Isso ocorreu desde a calha dos principais córregos, o Ribeirão dos Patos e o Rio São Miguel, em alguns trechos com lagoas fluviais, em um ambiente lacustre, às margens de córregos secundários como o Barreado, por exemplo, na base de maciços calcários situados no interflúvio, assim como nos patamares superiores dos afloramentos calcários. Entretanto, com grande probabilidade, não se limitavam ao ambiente do carste e percorriam largas extensões de território, explorando os recursos alimentares vegetais e animais e aproveitando, no percurso, para se abastecer de diferentes tipos de matérias-primas que utilizavam para confeccionar instrumentos lascados. Artefatos de quartzito, matéria-prima exógena ao carste, provavelmente introduzida a partir da região de Furnas, ao sul, onde se pode encontrar essa matéria-prima em abundância, são encontrados em sítios dentro do carste, em forma de instrumentos retocados e refugo, inclusive pontas de projétil. Por outro lado, pontas de projétil muito parecidas com aquelas da região de Pains são encontradas na região de Furnas. Essas evidências são indicadores da alta mobilidade de tais grupos e de possíveis relações de troca e afinidade com outros grupos caçadores-coletores, principalmente com aqueles ao sul do carste de Pains, mas não somente.

5. CULTURA MATERIAL E SEU CONTEXTO

A melhor forma de entender o quadro geral de ocupação para o período dos caçadores-coletores do carste de Pains é por meio da variação tipológica do material lítico lascado, seu contexto espacial e temporal, e sua relação (ou falta de relação ou associação) com outros tipos de vestígios. Apesar das limitações da análise lítica (KOOLE, 2007, 2014), e graças a mudanças bruscas na estratigrafia, foi possível identificar três momentos distintos de ocupação, chamados aqui de “Horizontes”, combinando o contexto arqueológico com a variabilidade lítica de três setores escavados, dois deles situados na Gruta do Marinheiro (Escavações 3 e 4) e um na Gruta da Matinha (Escavação 1). A característica principal que representa o estilo de cada

horizonte é, mais importantemente, o tipo de instrumento lascado, mas também a matéria-prima utilizada e a dimensão das lascas (tamanho geral da indústria lítica).

O período dos caçadores-coletores no carste de Pains não foi, portanto, homogêneo, apesar do último horizonte – o Horizonte 3 – predominar. Esse horizonte, mais recente, ou seja, situado acima dos Horizontes 1 e 2, separado deles estratigraficamente, representa a ocupação caçadora-coletores mais densa e duradoura do carste de Pains, e a única associada a enterramentos humanos. Os Horizontes 1 e 2 têm, comparativamente, depósitos menos espessos, principalmente o Horizonte 1, o mais antigo dos três. A seguir, apresenta-se cada horizonte em ordem cronológica, ou seja, do mais antigo ao mais recente, com destaque para os três principais elementos que distinguem cada horizonte, que são os tipos de instrumentos lascados, as suas preferências por determinadas matérias-primas, encontradas no carste de Pains ou fora dele, e o tamanho geral da indústria. As matérias-primas endógenas são quartzo, calcário silicificado e sílex preto, enquanto as exógenas são quartzo, quartzito, variedades de sílex, argilitos e materiais ferruginosos.

GRUTA DA MATINHA: Escavação 1 (1m²)

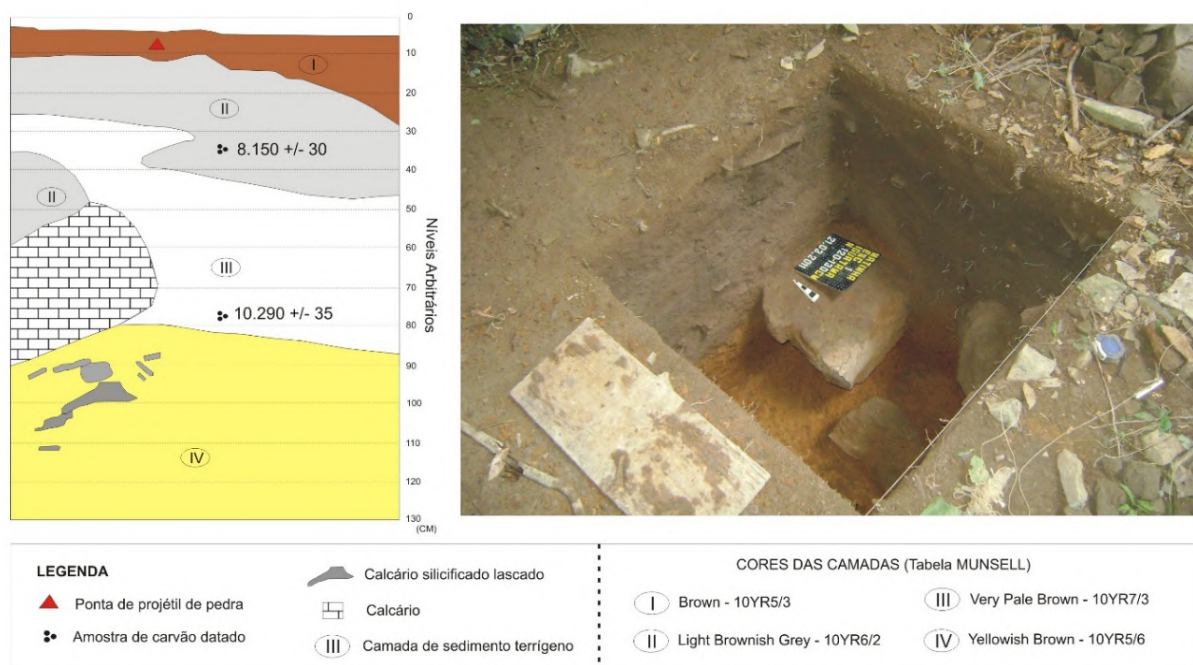


Figura 3 – Perfil e foto da Escavação 1 da Gruta da Matinha com a localização, na Camada IV, do material lítico pertencente ao Horizonte 1, além de duas datações obtidas para esse setor. Fonte: Koole, 2014.

O Horizonte 1 foi identificado em apenas um local, na Escavação 1 (1 m²) da Gruta da Matinha, setor situado um pouco para dentro da linha de gotejamento em uma cavidade da extremidade norte do carste de Pains. Esse horizonte, que se limita à Camada IV, a mais profunda da Escavação 1, revelou dezenas de artefatos líticos lascados em posição sub-horizontal ou oblíqua, juntos debaixo de um matacão de calcário e remetendo a um período anterior a 10.290 anos AP (Figura 3). Nenhum carvão, nem os sedimentos cinza ou branco pulverulentos, que são remanescentes típicos de fogueiras, e que podem ser encontrados nas Camadas II e III acima, foram detectados na Camada IV, apenas um solo homogêneo de cor amarelada. Pela posição do material lítico, é provável que as peças foram colocadas no local de forma proposital, juntas em um buraco no chão debaixo de uma pedra, em uma espécie de *cache* (esconderijo).

O material lítico, todas as peças de uma mesma matéria-prima que pode ser encontrada dentro do carste de Pains, o calcário silicificado, em forma de lascas e instrumentos, representa toda a amostra material pertencente ao chamado “Horizonte 1”. É verdade que a matéria-prima dos artefatos é similar aos blocos naturais, de tamanhos variados, que também foram encontrados na mesma camada. Entretanto, não há dúvidas de que as transformações observadas nas peças lascadas sejam de origem humana. Esse achado apresentou principalmente lascas (55 peças) e fragmentos de lasca (95 peças) e, mais significativo, sete instrumentos lascados, todos com algum retoque, agrupados nos seguintes tipos: duas facas unifaciais, uma faca bifacial, dois raspadores com cabo de preensão e dois furadores com cabo de preensão. Então, o que se pode dizer desses instrumentos olhando para suas formas e matéria-prima?

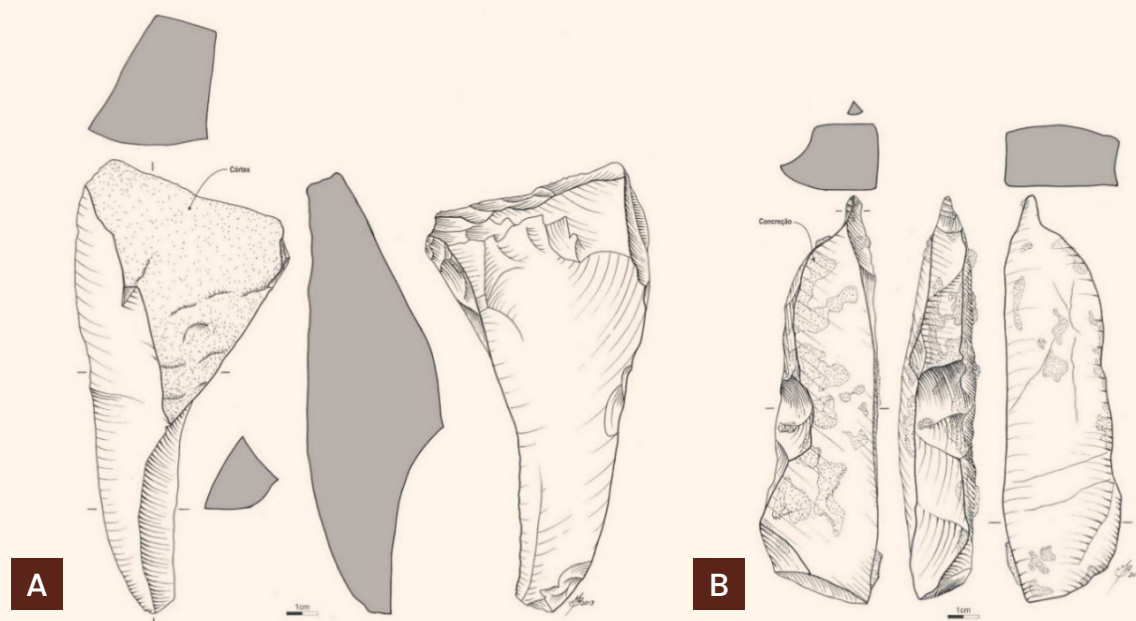


Figura 4 – Desenhos de um raspador (A) e um furador (B), ambos com um cabo para preensão e feitos de calcário silicificado, provenientes da Camada IV da Escavação 1 do sítio Gruta da Matinha. Fonte: Koole, 2014. Desenhos: Marcos Brito.

Os instrumentos são relativamente grandes e pesados, cabem bem na mão, podem ser utilizados diretamente, sem a necessidade da colocação de cabos de madeira ou outro material para preensão. Cada ferramenta parece ser capaz de realizar apenas uma tarefa (cortar, raspar ou perfurar), em contraste com instrumentos multifuncionais. Não se observou lascamento por pressão, só percussão uni e bifacial e, finalmente, foram todos feitos de calcário silicificado local, não a melhor matéria-prima para lascas, mas bastante resistente e dura (Figura 4).

Nenhum desses instrumentos apresenta características que possam ser enquadrados em alguma indústria lítica conhecida, entretanto, instrumentos lascados de calcário em camadas profundas são encontrados em alguns sítios abrigados de outras regiões cársticas do Brasil, como no Abrigo de Santa Elina no Mato Grosso, por exemplo. Aqui os instrumentos e refugo, que são atribuídos ao final do Pleistoceno, representam uma indústria lítica onde predomina o calcário que se encontra abaixo de instrumentos plano-convexos na estratigrafia, ou seja, precedem a tradição Itaparica (VIALOU, 2005).

Como o Horizonte 1 anterior, o Horizonte 2 aparece apenas em um local que foi escavado, na Escavação 4 (4 m²), posicionada em uma área seca em uma das quatro entradas da Gruta do Marinheiro, uma cavidade ampla localizada no centro-sul do carste de Pains, nas proximidades de Vila Costina.

A estratigrafia da Escavação 4 apresenta uma clara sucessão de cinco camadas (Figura 5), todas com uma textura predominantemente argilosa. Evidências arqueológicas estão presentes nas quatro camadas superiores, assim como na porção superior da Camada V, a mais profunda de todas, uma camada escura e bem compactada que, por sua maior parte, é estéril e preenchida por blocos de calcário de tamanhos variados. As camadas que representam o Horizonte 2 são a Camada IV e a parte superior da Camada V. Essas camadas não foram diretamente datadas, mas tem-se uma data mínima de 9.510 ± 40 anos AP obtida no fundo da Camada II. A Camada III, de origem predominantemente natural (colúvio), se encontra por cima de ambas, separando-as das camadas mais superficiais, as Camadas I e II, que apresentam elementos do Horizonte 3 – como pontas de projétil e sepultamentos – e material cerâmico de uma ocupação posterior. Uma análise lítica mais detalhada foi feita para o Quadrante NE (1 m²) da Escavação 4, apresentando 2.092 peças de refugo (5,8 kg), além de 12 instrumentos.

GRUTA DO MARINHEIRO: Escavação 4 (4m²)



Figura 5 – Fotos da Escavação 4 da Gruta do Marinheiro com 4 m² (esquerda) e o perfil da parede norte (direita). Fonte: Koole, 2014. Fotos: Cyro Soares.

O material lítico das Camadas IV e V, as mais profundas e mais densas camadas da Escavação 4, apresentou predominantemente microlascas e lascas pequenas de quartzito que são, no entanto, em média, um pouco maiores do que aquelas do Horizonte 3. Mesmo sendo o quartzito a matéria-prima mais abundante, quartzo, calcário silicificado e sílex local e exógeno estavam também presentes, existindo aqui, portanto, uma diversidade maior de matérias-primas do que no Horizonte 1, provenientes tanto de dentro do carste de Pains quanto de fora dele. Coincidentemente, os instrumentos de quartzito representam seis dos oito instrumentos lascados encontrados nessas camadas, sendo os outros dois de quartzo e sílex exógeno, compreendendo os seguintes tipos: três raspadores unifaciais trapezoidais, dois raspadores unifaciais alongados, uma faca bifacial e duas facas unifaciais. Nenhuma ponta de projétil de pedra, apenas uma de osso, foi encontrada nas Camadas IV e V. Especialmente importante foram os dois raspadores unifaciais alongados, também conhecidos como plano-convexos ou lesmas, instrumentos típicos da tradição Itaparica, uma cultura material do Holoceno inicial do Brasil Central que, em alguns locais, pode ter perdurado ao longo do Holoceno (BUENO, 2007; CALDERÓN, 1969; FOGAÇA, 2001; LOURDEAU, 2010; SCHMITZ, 1987).

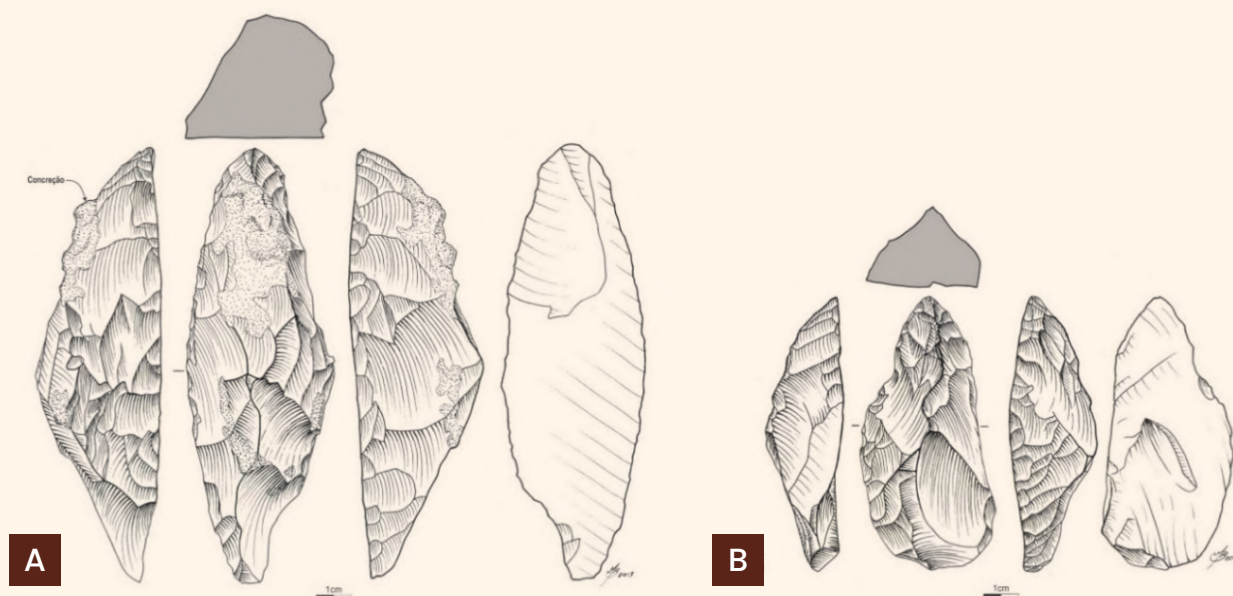


Figura 6 – Plano-convexos encontrados no carste de Pains, retirados da Camada V na Escavação 4 da Gruta do Marinheiro (A) e da superfície do sítio Gruta da Perdição II (B). Fonte: Koole, 2014. Desenhos: Marcos Brito.

O plano-convexo pode ser caracterizado como um instrumento unifacial, padronizado, portátil, de formato alongado a muito alongado, de manutenção, ou seja, para o trabalho em madeira, osso ou outro material, multifuncional, representando um raspador lateral e terminal, com gumes lineares, côncavos e/ou convexos, com o potencial de ser usado como núcleo (reserva de lascas), pode ter sido utilizado montado preso a um cabo de madeira (para apreensão), feito frequentemente de uma lasca espessa de arenito silicificado, quartzito ou sílex. Alguns outros poucos plano-convexos também foram encontrados no carste de Pains, porém, em superfície, o que não permitiu atribuí-los uma datação absoluta ou relativa, um deles descoberto no sítio rupestre Gruta da Perdição I, com pinturas da tradição Planalto. É possível que em Lagoa Santa também exista um horizonte com plano-convexos anterior à cultura paleoíndia associada ao Complexo Lagoa Santa, como testemunha a descoberta de um plano-convexo no fundo da escavação na Lapa Grande de Taquaraçu (ANGELES FLORES *et al.*, 2016).

O Horizonte 3 representa a ocupação caçadora-coleitora que deixou a maior quantidade de evidências em contexto arqueológico no carste de Pains, com os depósitos mais espessos e encontrada, mesmo que apresentando alguma variabilidade no material lítico, principalmente no uso de matérias-primas, em, pelo menos, 25 sítios sob abrigo e a céu aberto, com datações radiocarbônicas situadas entre 10.290 ± 35 e 3.100 ± 50 anos AP. Pelo fato de o carste de Pains não ser especialmente rico em arte rupestre, foi graças à presença superficial de material lítico lascado no piso dos abrigos que foi possível identificar a maioria dos sítios arqueológicos pertencentes aos grupos caçadores-coletores, depois atribuídos ao Horizonte 3. Esse horizonte aparece, portanto, desde a superfície até 70 cm a 90 cm de profundidade, e pode ser visto em todos os sítios que foram escavados aqui, ou seja, na Loca do Suin, na Gruta da Matinha, no Abrigo Lagoa do Retiro e na Gruta do Marinheiro.

O setor escolhido para caracterizar o material lítico do Horizonte 3 foi a Escavação 3 – sul da Gruta do Marinheiro, representando a metade sul (5 m²) de uma trincheira de 5 m por 2 m situada no limite da área abrigada e atingindo, em média, 80 cm em profundidade. Esse setor representa o mais denso do Horizonte

3 com uma média de 389 peças líticas lascadas por 0,1 m³. Nesse setor, todas as evidências arqueológicas foram atribuídas ao Horizonte 3, um depósito homogêneo, marrom-escuro e bem compactado, contendo 13.552 peças de refugo (33,8 kg) e 65 instrumentos inteiros, variando em termos quantitativos, mas mantendo uma homogeneidade qualitativa, tanto em termos tipológicos quanto de matéria-prima, com uma densidade maior nos níveis intermediários associada a uma data de 8.780 ± 35 anos AP. Essa homogeneidade, com uma densidade maior nos níveis intermediários, também ocorre com os restos faunísticos encontrados aqui, uma amostra de 223 fragmentos ósseos (44 g).

No setor Escavação 3 – sul, como em outros setores que remetem ao Horizonte 3, existe a predominância de quartzo e sílex preto local, e em um caso também calcário silicificado. Juntos, essas três matérias-primas sempre perfazem mais de 70% das amostras desse horizonte. Enquanto o quartzo pode ser encontrado tanto dentro como fora do carste de Pains, o sílex preto e o calcário silicificado são endógenos. Em números menores, mas sempre presentes, estão as matérias-primas exógenas, como quartzito e variedades de sílex, atingindo 28% e 15%, respectivamente, das amostras do setor em questão. Além desses cinco grupos maiores, pequenas quantidades de argilitos e rochas ferruginosas também estão presentes, ou seja, observa-se uma diferença clara em termos de matéria-prima com relação ao Horizonte 2, onde predomina o quartzito, e ao Horizonte 1, constituído exclusivamente de calcário silicificado.

Das 5.820 lascas inteiras (10 kg) do setor Escavação 3 – sul, 90% são compostos por microlascas e lascas pequenas, demonstrando o tamanho reduzido da indústria, em média ainda menores do que as do Horizonte 2. As microlascas estão fortemente associadas ao quartzo (55% das lascas de quartzo) e quartzito (45% das lascas de quartzito), as duas matérias-primas preferidas para a fabricação de pontas de projétil. A maioria dos 113 núcleos são núcleos bipolares de quartzo (77 peças) ou núcleos uni e bipolares de quartzo (12 peças), todos de tamanho reduzido.

Esse setor tem instrumentos uni e bifaciais, com a predominância de pontas de projétil bifaciais, perfazendo 44 das 65 peças (quase 70%), encontradas em praticamente todo o nível arbitrário, dos 10 cm aos 80 cm de profundidade, junto com dezenas de outros fragmentos de pedúnculos, partes mesiais e as extremidades fragmentadas de pontas. A maioria das pontas foram confeccionadas a partir de lascas de quartzo e lascas e plaquetas de quartzito. Somente uma ponta de sílex preto local foi detectada, uma matéria-prima preferida para instrumentos mais simples, como raspadores e facas. Outros tipos de instrumentos bifaciais nesse setor foram algumas facas (7 peças). Os instrumentos unifaciais (14 peças) não são padronizados, apresentando três tipos principais: a faca, raspador lateral e raspador trabalhado em todos os lados, tendo formatos trapezoidal e alongado. Nenhum deles, entretanto, apresentou a morfologia padronizada do plano-convexo encontrado no Horizonte 2 associado à tradição Itaparica.

Enquanto mais de 100 peças inteiras ou fragmentadas de pontas de projétil foram encontradas na Gruta do Marinheiro, outros sítios líticos apresentam uma densidade bem menor de pontas de projétil, com duas (Gruta da Matinha), uma (Abrigo Lagoa do Retiro) ou nenhuma ponta de projétil (Loca do Suin). Isso se deve provavelmente à intensidade da ocupação e às diferentes funções dos sítios com vestígios atribuídos ao Horizonte 3, um problema que pode ser explorado no futuro em outras pesquisas na região.

À primeira vista, as características do Horizonte 3 parecem bem similares, em termos de indústria lítica, à tradição Umbu, uma tradição duradoura da porção Sul e Sudeste do Brasil, entre cerca 11.555 e 220 anos AP, tendo na produção intensiva de pontas de projétil uma de suas principais características (DIAS, 2003; MILLER, 1987). Por outro lado, com relação aos sepultamentos e ao contexto cronológico, esse horizonte se parece muito com a cultura paleoíndia de Lagoa Santa.

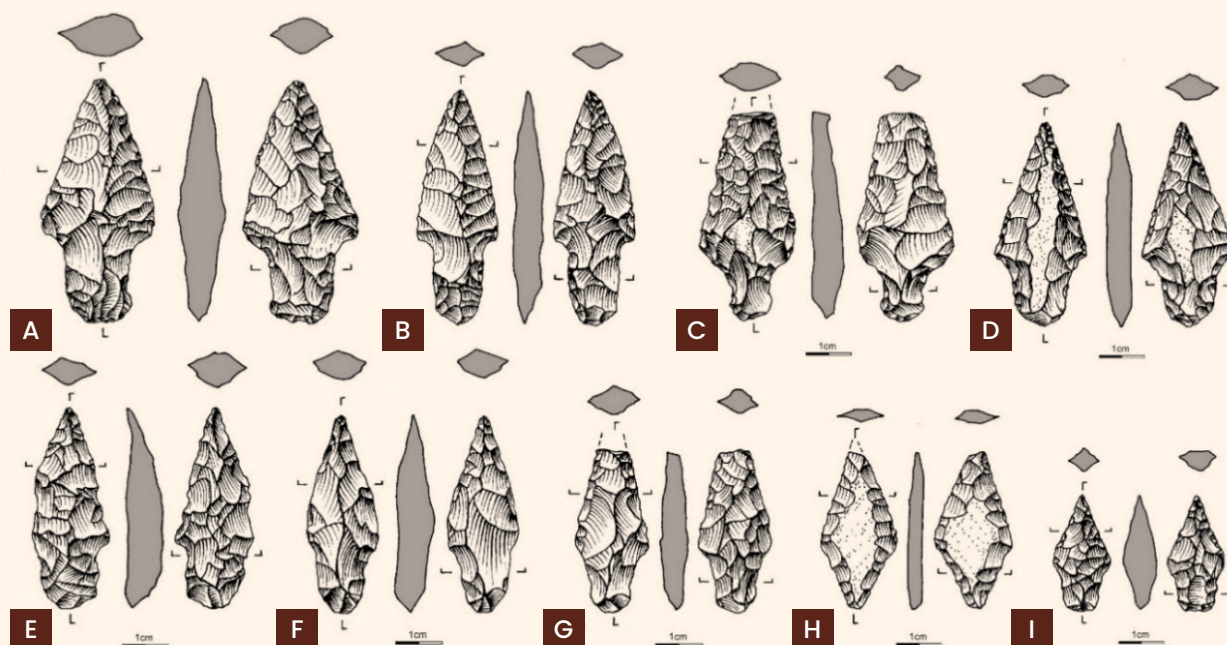


Figura 7 – Desenhos de pontas de projétil da Gruta do Marinheiro (B, C, D, E, F, G, H e I), com exceção de uma (A), a maior delas, encontrada na região do Barreado, em uma ocorrência isolada a céu aberto. Fonte: Koole, 2014 e 2007. Desenhos: Marcos Brito.

A região de Pains apresenta pelo menos seis sítios conhecidos, todos em cavidade natural, com pelo menos 11 sepultamentos identificados para o período dos caçadores-coletores, tanto primários quanto secundários. Esses são apenas os que se encontrou até agora, mas suspeita-se que representam apenas a “ponta do *iceberg*” e que a quantidade real de sepultamentos de caçadores-coletores na região seria muito maior, tendo em vista a quantidade de abrigos e cavernas com as condições mínimas necessárias, tais como as dimensões do abrigo natural, a presença de depósitos arqueológicos e a localização favorável na paisagem. Em termos de cronologia, apenas dois sepultamentos da Loca do Suin foram datados, ambos com cerca de 7.400 anos AP. Trata-se do final do Holoceno inicial e se encaixa bem no padrão encontrado para as muitas dezenas de sepultamentos do carste de Lagoa Santa.

Em relação aos sepultamentos do carste de Pains, observa-se também, como em Lagoa Santa, uma preferência para os locais na parte totalmente abrigada, protegidos da chuva, frequentemente próximo às paredes do fundo do abrigo. No que concerne ao contexto vertical, encontram-se em geral próximo à superfície do piso, podendo aflorar, mas, na maioria dos casos, começam a aparecer entre 20 cm a 50 cm de profundidade. Finalmente, no que diz respeito à maneira de enterrar os mortos, foi possível distinguir uma variedade de padrões já identificados para os sepultamentos nas Lapas das Boleiras e do Santo da região de Lagoa Santa (STRAUSS, 2010). Entre os casos, observam-se para a região de Pains, por exemplo, sepultamentos secundários com mais de um indivíduo (múltiplos), a individualização de certas partes (crânio e dentes), o alinhamento dos ossos longos em frente do crânio, a cremação e sepultamentos primários em decúbito lateral.

A região, apesar de apresentar tanto pinturas quanto gravuras, tem uma baixa densidade de sítios de arte rupestre se comparada com outras regiões cársticas de Minas Gerais. Seis sítios rupestres são conhecidos pelo autor, sendo que um apenas com gravuras – a Gruta do Marinheiro – e cinco apenas com pinturas. Três

sítios, com características bastante distintas, serão descritos aqui, que são: Lapa da Posse Grande, Gruta da Perdição I e Gruta do Marinheiro.

A Lapa da Posse Grande, situada no município de Arcos, representa o sítio mais significativo em termos de número de figuras pintadas (algumas dezenas). As pinturas apresentam uma mistura de elementos das tradições São Francisco e Planalto, envolvendo um predomínio do tema naturalista planáltico, caracterizado por zoomorfos, com um acabamento à maneira sãofranciscana, caracterizado por contornos vermelhos e preenchimento de amarelo (chapado), ou seja, bícromicos. Apresenta também antropomorfos com esse mesmo acabamento, um deles relativamente grande e com os braços erguidos, a figura mais emblemática do sítio (PROUS, 1989).

A Gruta da Perdição I representa um sítio situado em um abrigo na entrada de uma gruta localizada no patamar superior de um grande maciço calcário que se encontra, relativamente isolado, no interflúvio do Rio São Miguel e Ribeirão dos Patos, na parte central do carste. Sobre um teto plano inclinado para dentro da cavidade existe um painel com cerca de 10 figuras monocromáticas e naturalistas de animais, vermelhas, com preenchimento em linhas, e de uma figura humana esquemática em amarelo. Os tipos de animais identificados são “clássicos” para as pinturas da tradição Planalto, como a associação entre o veado e o peixe, além de tatus.

As pinturas não parecem apresentar sobreposições como se o painel tivesse sido pintado em uma única vez ou em poucas visitas dos mesmos grupos. A falta de um acúmulo significativo de solos antrópicos parece indicar nessa mesma direção, um lugar possivelmente menos frequentado, talvez devido à própria localização isolada da gruta. Apesar de o abrigo praticamente não apresentar solo em superfície, dominado por uma laje de rocha calcária, foi encontrado, em uma pequena depressão próximo ao fundo do abrigo, entre um amontoado de blocos de calcário misturados a um solo pulverulento e acinzentado, um plano-convexo de um sílex amarelado, de origem exógena (Figura 6 - B).

Na Gruta do Marinheiro, existem gravuras que, segundo Jacome e Panachuk (2003), que fizeram um decalque dessas figuras (Figura 8), apresentariam semelhanças com a fáceis Montalvânia, do norte de Minas Gerais, que representam uma temática muito semelhante àquela encontrada na região do Rio Cochá no extremo norte do estado de Minas Gerais. Caracterizam-se por grafismos antropomorfos filiformes registrados em suportes sub-horizontais pouco visíveis que apresentam um brilho peculiar que é ressaltado pelo contraste entre o baixo relevo (claro) e o fundo (escuro).

Referente ao período dos caçadores-coletores, não foram identificadas variações significativas no que concerne ao consumo de fauna em geral, apenas onde determinadas *Classes* de animais estão mais ou menos presentes, o que pode estar relacionado a um viés de conservação. Nos locais mais protegidos, por exemplo, são encontrados mais ossos de peixe, em geral mais frágeis, do que nas áreas mais expostas às intempéries, na linha de goteira.

Pelas análises dos vestígios de osso e de concha, transparece que tinham preferência por determinados tipos de animais, principalmente mamíferos de pequeno e médio porte, como cervídeo, tatu, caititu, rato, preá, gambá, cachorro-do-mato, tamanduá-bandeira e paca, e *Gastropoda* (caramujo gigante) e que consumiam também, em menores quantidades, aves, peixes e répteis. Entre os peixes, foi interessante notar a predominância, nos sítios, de fragmentos de ossos de peixes da *Ordem* dos *Siluriformes*. Os Siluriformes compreendem um grupo de peixes formado por cerca de 34 famílias e mais de 2400 espécies, englobando um grande número de formas popularmente conhecidas como peixes-couro, cascudos, acaris, etc.

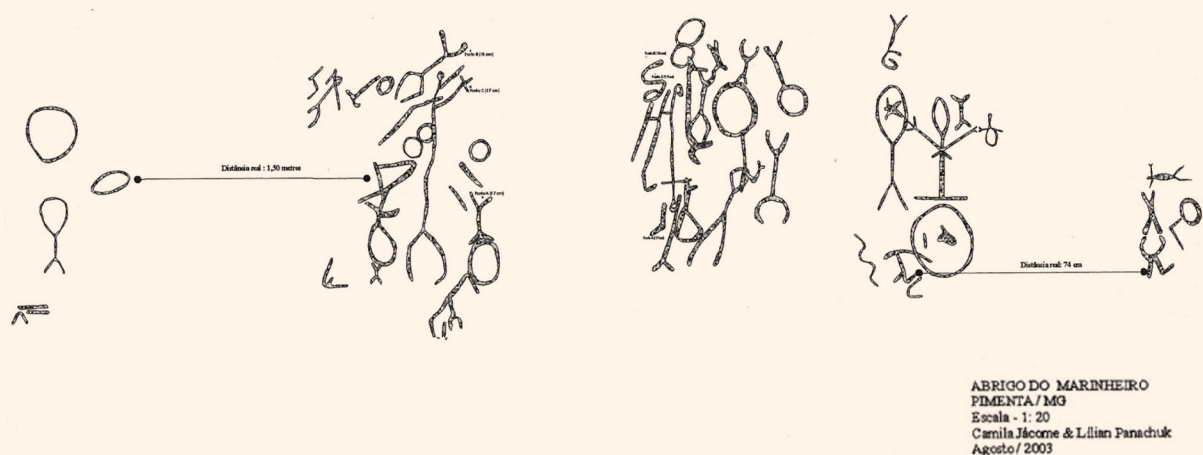


Figura 8 – Desenho das figuras gravadas em uma laje oblíqua, localizada em uma das entradas da Gruta do Marinheiro, onde predominam figuras “antropomorfos filiformes”. Fonte: Koole, 2014. Desenho: Camila Jácome e Lillian Panachuk.

6. O PERÍODO DOS AGRICULTORES-CERAMISTAS

Posteriormente aos caçadores-coletores, o carste de Pains foi ocupado, a partir de cerca de 1,8 mil anos AP, por grupos pré-coloniais (ou pré-históricos) que já praticavam a agricultura de plantas domesticadas e fabricavam e utilizavam utensílios cerâmicos, suas características mais marcantes (mas não as únicas), e, por isso, chamados de “agricultores-ceramistas” ou “horticultores-ceramistas”. Sabe-se que plantavam milho, tabaco e algodão no carste de Pains, seja graças a evidências diretas, como espigas de milho encontradas nas escavações do sítio Mané do Juquinha, ou por indícios indiretos, como a presença de cachimbos para fumar tabaco e fusos para fiar algodão em vários sítios da região. Complementavam a produção de alimentos com a caça, coleta e pesca.

Como se trata de um período mais recente que o período anterior dos caçadores-coletores e que perdurou até pouco antes da chegada dos colonizadores de origem europeia na região, uma maior variedade e quantidade de vestígios foi preservada e encontrada, tanto a céu aberto quanto nas cavidades.

Essa segunda parte do capítulo baseia-se principalmente na dissertação de mestrado desenvolvida por Gilmar Henriques no carste de Pains na primeira metade dos anos 2000 (HENRIQUES, 2006), mas também em resultados obtidos por pesquisas da década de 1970, quando o Instituto de Arqueologia Brasileira (IAB), com sede no Rio de Janeiro, e o Setor de Arqueologia (UFMG), de Belo Horizonte, realizaram trabalhos de campo na região. Outras fontes de informação foram os trabalhos de consultoria arqueológica, intensificados nas últimas duas décadas em função do incremento da quantidade de empresas ligadas à exploração do calcário. As excursões de campo do Espeleogruppo Pains (EPA) permitiram também localizar dezenas de novos sítios.

Uma contribuição importante para o cenário cultural de Pains e região foi a inauguração do Museu Arqueológico do Carste do Alto São Francisco (MAC) em 2010, idealizado por Gilmar Henriques e apoiado financeiramente pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan) e pela prefeitura de Pains, contando ainda com a ajuda de profissionais e voluntários de Pains, Belo Horizonte e São Paulo (Figura 9).

Nas instalações do MAC, os vestígios do carste de Pains podem ser vistos em exposição, encontrados na reserva técnica e/ou analisados em um laboratório pertencente ao museu.



Figura 9 – A frente do Museu Arqueológico do Carste do Alto São Francisco – MAC (esquerda) e a réplica de um mastodonte que se encontra nas proximidades do museu (direita). Fonte: <https://mac-asf.blogspot.com/2011/09/agenda-cultural-em-pains.html> e Edward Koole.

7. CARACTERÍSTICAS GERAIS

Antes de entrar em maiores detalhes sobre os sítios e a cultura material e seu contexto, cabem aqui alguns pontos de esclarecimento sobre características gerais dos grupos agricultores-ceramistas do carste de Pains.

Um primeiro elemento a assinalar é a associação forte desses grupos pré-históricos, pela localização geográfica do carste de Pains, e baseado em estudos históricos e linguísticos dos povos autóctones do Brasil (URBAN, 1998), com o tronco linguístico Macro-Jê. Esse tronco representa um extenso agrupamento de várias línguas nativas com uma origem em comum, que ocupava como área nuclear o Planalto Central Brasileiro, possivelmente entre os rios São Francisco e Araguaia, e que se estendia para leste, atingindo a costa do Nordeste e até o Sul do Brasil (Jê meridionais). Está certo que não se tem uma confirmação dessa hipótese porque pouco se sabe dos grupos indígenas que habitavam o carste de Pains no período de contato inicial com os europeus, fora uma denominação genérica e pouco reveladora atribuída a eles: a “nação Cataguá” (HENRIQUES, 2006). Entretanto, essa perspectiva parece ser bem plausível levando em conta também a cultura material predominante durante esse período no carste de Pains, assunto do próximo item.

O segundo elemento refere-se, portanto, à cultura material encontrada no carste de Pains, representada principalmente pelos artefatos cerâmicos, que é dominada pela chamada tradição Aratu-Sapucai, apresentando uma cerâmica com uma forte associação com os grupos Jê e que será tratada separadamente abaixo. Outro indício nesse sentido são alguns artefatos líticos polidos, os machados “semilunares” ou “em âncora”, também típicos dos grupos Jê. Uma segunda tradição arqueológica – a Tupiguarani – está presente no carste de Pains, mas até agora apenas os fragmentos de um único vaso é conhecido pelo autor, da variedade com decoração pintada, ou seja, não representa uma pene-

tração significativa na região, podendo indicar relações de intercâmbio com grupos situados fora do carste. Sítios da tradição Tupiguarani são conhecidos ao sul, na região do Lago de Furnas, e ao norte e nordeste do carste de Pains, ao longo da calha do Rio São Francisco. Uma terceira tradição, a Una, foi assinalada para a região do carste de Pains (HENRIQUES, 2006), entretanto não existem dados conclusivos: as peças cerâmicas que aparentam semelhanças com essa tradição estão associadas, em contexto arqueológico, à tradição Aratu-Sapucaí e têm datas recentes demais para poderem se enquadrar na cronologia adotada para a tradição Una, com datas mais antigas, como aquela obtida para a Gruta do Gentio II (Unaí/MG) com 3.490 ± 120 anos AP, uma data com cerca de 1.500 anos a mais que a data inicial de ocupação dos agricultores-ceramistas no carste de Pains (Tabela 1). A cultura material da tradição Una estaria associada a agricultores incipientes cujos vestígios são encontrados em ambientes cavernícolas em várias áreas cársticas do Sudeste e do Centro-Oeste. A cerâmica representa o elemento diagnóstico dessa tradição “caracterizada pela ausência de qualquer decoração (a não ser em Goiás), por dimensões pequenas [...] e formas globulares” (PROUS, 2019, p. 467).

Levando-se em consideração os dois elementos acima, pode-se dizer que a cultura material do período dos agricultores-ceramistas, apesar de apresentar uma variabilidade interna significativa (descrita abaixo), pode ser atribuída praticamente a uma única cultura arqueológica pré-histórica com uma forte conexão material com os grupos Jê. Isso não impede que uma variedade relativamente grande de tipos de sítios seja atribuída a ela, composta, como se verá adiante, por sítios na entrada e/ou no interior de cavidades, até mesmo isolados dentro de maciços, assim como sítios de casas subterrâneas e aldeias maiores a céu aberto.

Uma terceira característica geral está relacionada à subsistência dos grupos agricultores-ceramistas, que tinham uma forte conexão com o ambiente do Cerrado em suas variadas formas. Como representavam contingentes maiores de pessoas que os grupos caçadores-coletores, necessitavam adotar medidas adicionais, além da caça, pesca e coleta, que permitissem assegurar um fornecimento mais contínuo de alimentos, que foram:

- *A produção de alimentos*: entre uma variedade de plantas cultivadas pelos povos nativos do Cerrado, como amendoim, algodão, tabaco, variedades de tubérculos, etc. destaca-se a importância do milho, considerado um “*staple food*”, ou seja, um alimento básico da dieta, aquele que está sempre presente, importante por si só, ou em combinação com outro alimento, para garantir a segurança alimentar (seria como o arroz e o feijão para nós). Não existe ainda comprovação arqueológica de que os agricultores-ceramistas pré-históricos do carste de Pains faziam farinha a partir da mandioca “brava”, comum entre os grupos nativos de origem amazônica, como os grupos de língua Tupi-guarani, por exemplo. O principal indício arqueológico para isso, além da ausência dos próprios restos vegetais desse tubérculo nos pacotes sedimentares escavados, é a ausência de assadores feitos de cerâmica, grandes pratos utilizados na produção da farinha;
- *O armazenamento de alimentos*: os grãos eram armazenados em grandes vasos de cerâmica, funcionando como “silos”, protegendo-os da umidade e de animais, prolongando assim a sua vida útil. Esses vasos eram às vezes reaproveitados como urnas funerárias.

Em termos de caça, coleta e pesca, nota-se, em comparação com os grupos caçadores-coletores, uma gama maior de animais no cardápio, apresentando também a bivalve de água doce, sapos, macacos, teiús e até felinos (KOOLE, 2014).

8. CRONOLOGIA DE OCUPAÇÃO: DATAÇÕES RADIOCARBÔNICAS

A cronologia geral para as evidências desse período foi estabelecida a partir de oito datações radiocarbônicas (datações “absolutas”) de amostras de carvão provenientes de cinco sítios do Carste de Pains – Buracão dos Bichos, Loca do Suin, Mané do Juquinha, Engenho de Serra e Gruta do Marinheiro – apontando para uma ocupação situada entre 1.840 ± 90 e 400 ± 25 anos AP (Tabela 1). Trata-se de um período com cerca de 1.500 anos de duração, entretanto, com evidências mais expressivas a partir de 1.270 ± 40 anos AP. Esse intervalo mais denso em vestígios arqueológicos teria seus limites temporais, utilizando o nosso calendário, entre os anos de 680 a.D. e 1600 a.D. aproximadamente. Com exceção do sítio Engenho de Serra, todos os outros sítios datados encontram-se em cavidade.

Tabela 1 – Relação das datações radiocarbônicas do carste de Pains para o período dos agricultores-ceramistas.

Sítio	Município	Data Radiocarbônica (anos AP)	Código Laboratório
Mané do Juquinha	Pains	480 ± 60	Beta 193754
Mané do Juquinha	Pains	610 ± 50	Beta 193755
Engenho de Serra	Pains	830 ± 40	Beta 210727
Buracão dos Bichos	Piumhi	1000 ± 90	SI 2369
Loca do Suin	Pains	1270 ± 40	Beta 210726
Buracão dos Bichos	Piumhi	1840 ± 90	SI 2368
Gruta do Marinheiro	Pimenta	400 ± 25	UGAMS 15110
Gruta do Marinheiro	Pimenta	400 ± 30	Beta 337001

Fonte: Koole, 2007.

9. SÍTIOS E CONTEXTO ARQUEOLÓGICO

A quantidade de sítios conhecidos para esse período no carste de Pains chega a mais de duas centenas e podem ser encontrados em números significativos, e com dimensões variadas, tanto nas cavidades quanto a céu aberto, em praticamente todos os recantos do carste e do seu entorno. Para a detecção da maioria desses sítios, não foi necessário realizar escavações, uma vez que apresentam, em geral, fragmentos cerâmicos em superfície, acompanhados nas cavidades frequentemente por restos faunísticos (osso e concha), instrumentos de pedra, osso e/ou madeira, e cinzas de estruturas de combustão (fogueiras) que se destacam do piso natural.

Uma diferença importante a notar entre os sítios em cavidade e a céu aberto são seus respectivos estados de conservação. Enquanto os vestígios e estruturas dos sítios em cavidade ficaram mais bem preservados, os sítios a céu aberto foram submetidos a alterações significativas por atividades agropecuárias diversas desde o século XVIII quando a região começou a ser ocupada permanentemente por colonos de origem europeia: o arado, ou outro implemento agrícola, rasga sulcos na terra, hoje em dia podendo atingir 60 cm de profundidade, em preparação ao plantio, “moendo” as peças cerâmicas e destruindo o contexto ar-

queológico, misturando os solos, etc. A espessura das camadas arqueológicas nos sítios a céu aberto gira em torno de até 40 cm, podendo apresentar concentrações de terra preta, o que denota um acúmulo de matéria orgânica, e começando próximo à superfície. Apesar disso, ocasionalmente, algumas peças cerâmicas mais inteiriças são recuperadas em sítios a céu aberto, encontradas por fazendeiros durante o trabalho na lavoura, muitas vezes percebidas depois de um estrondo provocado pela quebra da tampa de um vaso durante a aragem. Algumas peças dessas foram obtidas no sítio Engenho de Serra (Pains) e no sítio do Inhame (Iguatama). Em ambos os locais foram retiradas grandes urnas funerárias: enquanto as duas urnas do sítio Engenho de Serra estão expostas na mostra permanente da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), ± na região do Corumbá (Arcos), a urna do sítio do Inhame encontra-se no MAC de Pains. A seguir, umas informações adicionais sobre esses sítios.

O sítio do Inhame representa um sítio a céu aberto situado logo ao norte do carste de Pains, provavelmente comportando uma antiga aldeia, e está assentado sobre uma colina suave pouco acima da várzea do Rio São Francisco, ladeado por um afluente menor deste. A implantação desse sítio representa um caso típico de aldeia associada à tradição Aratu-Sapucaí, em geral situada em vales abertos, em elevações na confluência de um córrego menor, fornecendo água para consumo, e um rio maior com recursos aquáticos mais significativos.

No caso do sítio Engenho de Serra, trata-se de duas casas subterrâneas, uma maior e outra menor, em local a céu aberto, no alto de uma colina no interflúvio das sub-bacias do Rio São Miguel e Ribeirão do Patos, no centro do carste de Pains. Como os estratos de calcário encontram-se aqui enterrados debaixo de pacotes de solo, foi necessário realizar escavações para a confirmação de que se tratava realmente de casas subterrâneas e não de dolinas, a despeito da associação com as urnas encontradas no local. Confirmou-se, mediante intervenções (HENRIQUES, 2006), que eram estruturas que foram escavadas pelo homem e ainda estavam associadas a fragmentos cerâmicos pré-históricos e carvões, um destes enviado para datação radiocarbônica e recebendo uma data de 830 ± 40 anos AP, ou seja, entre 1.230 e 1.280 a.D. em anos calêndricos (datas calibradas). As casas subterrâneas do sítio Engenho de Serra, associadas a duas urnas da tradição Aratu-Sapucaí, apontam para uma conexão com a região Sul do País, onde essas estruturas são mais frequentes e aparecem associadas às tradições cerâmicas Taquara/Itararé. Outras casas subterrâneas foram (apenas) mencionadas nos anos 1970 pelo Setor de Arqueologia em uma área ao norte do carste de Pains, mas a pesquisa não foi adiante.

O que se observa para os sítios cerâmicos localizados em cavidades naturais, e que parece ser singular ao período dos agricultores-ceramistas, é que podem extrapolar, em contraste com os sítios do período dos caçadores-coletores, a entrada da cavidade para atingir também o seu interior com uma iluminação natural fraca ou quase ausente. Esse fenômeno foi observado na Gruta do Marinheiro, por exemplo, onde fogueiras do salão interno apresentaram apenas vestígios associados aos grupos agricultores-ceramistas (KOOLE, 2007). Em alguns casos, buscaram lugares de difícil acesso no interior de cavidades, e até em locais isolados em abrigos no meio dos maciços. Encontrar, depois de subir e descer insistentemente por entre diáclases no interior de um extenso maciço calcário, um pequeno abrigo com apenas um vaso cerâmico quebrado em superfície ao lado de alguns fragmentos de ossos de animais, levanta a questão: o que essas peças estão fazendo longe de tudo em um local como esse? Provavelmente nunca vamos saber, entretanto, está claro que, além de sítios mais permanentes a céu aberto, sejam eles aldeias situadas na confluência de rios e córregos (como o sítio do Inhame) ou casas subterrâneas no alto de colinas (como o sítio Engenho de Serra), os grupos agricultores-ceramistas produziram uma variedade de outros sítios menores e mais temporários e/ou sazonais, aproveitando frequentemente a comodidade dos abrigos naturais oferecidos pelo carste de Pains, principalmente quando situados próximo a recursos exploráveis como cursos de água ou lagoas.

O sítio mais emblemático de uma ocupação efetiva do interior de uma cavidade é o sítio Mané do Juquinha, situado próximo à calha atual do Rio São Miguel na parte centro-sul do carste de Pains. O local, de acesso relativamente difícil e onde predomina a penumbra, iluminado apenas por algumas aberturas no teto (claraboias), representa um acampamento de grupos de agricultores-ceramistas com várias estruturas de combustão cinzas em superfície, com até 5 cm de espessura, acompanhadas por concentrações significativas de ossos de peixes e mamíferos, conchas de moluscos bivalves, algumas espigas de milho e dezenas de fragmentos cerâmicos (Figura 10). A ocupação se deu no final do período pré-histórico, entre cerca 1.300 e 1.470 a.D. e o pacote arqueológico pode ter sido produzido por repetidas visitas ao longo desse intervalo relativamente curto (HENRIQUES, 2006).

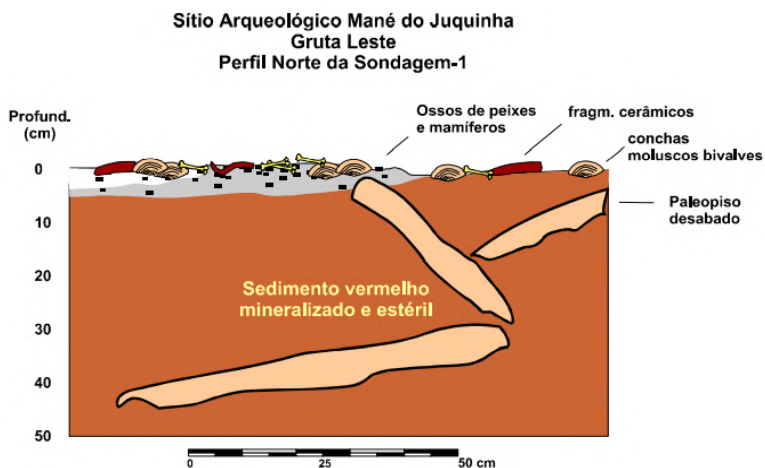


Figura 10 – Estratigrafia no sítio Mané de Juquinha (esquerda), e o mesmo sítio com bandeirinhas amarelas e vermelhas indicando, respectivamente, fragmentos cerâmicos e restos faunísticos. Fonte: Henriques, 2006. Foto: Cyro Soares.

Outra situação que ocorre também, talvez mais frequentemente do que imaginamos, é que sítios em cavidades poderiam ser uma extensão de sítios a céu aberto quando estes se encontravam cercados por afloramentos calcários: as cavidades próximo à ocupação principal a céu aberto poderiam ter sido utilizadas como um abrigo propriamente dito ou como área de descarte (“lixeria”), por exemplo, ou seja, existem situações em que o sítio arqueológico é composto por uma área a céu aberto e uma parte em cavidade. Mas, infelizmente, como foi mencionado acima sobre o estado de conservação dos sítios a céu aberto, a parte do sítio que se encontra a céu aberto está frequentemente já toda destruída, comportando poucas concentrações de fragmentos cerâmicos “moídos” em superfície, restando apenas, em uma condição de preservação pouco melhor, os vestígios arqueológicos nas cavidades que representariam um prolongamento desses sítios a céu aberto.

Além de acampamentos temporários ou extensões de sítios a céu aberto, não está ainda claro se usavam as cavidades também para enterramentos humanos. Até agora nenhum sepultamento em cavidade que pode ser atribuído a esse período é conhecido pelo autor, com exceção talvez de três casos na porção sul do carste de Pains. Aqui, em três cavidades, ossos humanos foram colocados em nichos em cima de blocos calcários ou pisos estalagmíticos, ou seja, representariam “sepultamentos” secundários superficiais. O interessante é notar que não se encontram distante um do outro e que apresentam características semelhantes. Esses ossos foram preliminarmente atribuídos ao período dos agricultores-ceramistas, entretanto nenhum estudo mais aprofundado foi realizado para confirmar essa possibilidade (Figura 11).



Figura 11 – Vaso cerâmico inteiriço encontrado no interior afótico de uma cavidade na região da Fazenda São Lourenço (Pains), uma peça que se encontra atualmente exposta no MAC de Pains (esquerda) (Foto: Edward Koole) e restos de um esqueleto humano depositado no nicho de uma cavidade situada na porção centro-sul do município de Pains (direita). (Foto: Cyro Soares).

10. A TRADIÇÃO ARATU-SAPUCAÍ: A CULTURA MATERIAL

A tradição arqueológica Aratu-Sapucaí, a cultura material predominante no carste de Pains para o período dos agricultores-ceramistas, foi definida no âmbito do Programa Nacional de Pesquisas Arqueológicas (Pronapa) a partir de pesquisas nos estados da Bahia e Minas Gerais na segunda metade dos anos 1960. Essa caracterização colocou em evidência a presença de uma cultura material relativamente homogênea, presente em diferentes partes do Brasil Central e Nordeste do País no período pré-histórico mais recente. O elemento diagnóstico dessa tradição está associado à variabilidade dos vasilhames cerâmicos, que pode, de forma resumida, ser caracterizada da seguinte maneira:

Cerâmica de tipologia simples, sem decoração interna ou externa; morfologia dos vasilhames predominando os contornos simples, com formas em meia calota, hemisféricas, ovóides, elipsóides e periformes, presença de vasos geminados; grandes urnas periformes chegando a 1 metro de diâmetro, podendo servir como receptáculo funerário ou como recipiente de armazenagem (SOARES, 2013, p. 62).

Para conseguir realizar uma descrição adequada da cultura material, no caso aqui dos fragmentos cerâmicos, seja em forma de pedaços de paredes, bordas ou fundos (bases) de vasilhames, uma variedade de atributos são analisados para cada peça, sendo os principais os seguintes: forma, dimensões, espessura, técnica de manufatura, tratamento de superfície, presença ou ausência de engobo, cor superficial, tipo de queima, variedade de antiplástico utilizado, inclinação das paredes e bordas, formato dos lábios e tipos de bases. As bordas representam as peças mais informativas porque a partir delas pode-se fazer uma reconstituição do diâmetro da boca e do formato do vasilhame. A seguir, algumas das características observadas para a cerâmica do carste de Pains (HENRIQUES, 2006; PROUS, 1992, 2019):

- As formas e as dimensões das peças estão diretamente relacionadas à sua função, seja para cozinhar, armazenar, transportar ou servir líquidos e alimentos;
- Com relação à inclinação das paredes, as paredes abertas em geral eram utilizadas para cozinhar e servir, enquanto as fechadas eram utilizadas para cozinhar, mas também para transportar e armazenar líquidos e alimentos;
- O tratamento da superfície também está ligado à função dos vasos, notando-se uma impermeabilização da superfície de peças que serviam para cozinhar ou transportar líquidos, estas últimas apresentando também um gargalo para melhor reter o líquido (Figura 12). A utilização de engobo (camada fina de argila) branco e vermelho foi notada em várias peças;
- A manufatura das peças maiores era feita por meio de roletes de argila colocados um em cima do outro e depois alisados; peças menores eram geralmente modeladas;
- As espessuras dos vasos variam de poucos milímetros até 4 cm, em geral acompanhando as suas respectivas dimensões;
- O tipo de queima é o resultado de uma combinação de oxidação (ambiente rico em oxigênio) e redução (ambiente pobre em oxigênio) e em geral é pouco homogêneo apresentando partes negras (reduzidas) e claras (oxidadas);
- O antiplástico, grânulos de maior espessura do que a argila utilizada na manufatura dos vasos e que serve como “liga” para as peças não racharem na hora da queima, é predominantemente mineral (quartzo, caco moído, areia, etc.), mas carvão também foi utilizado;
- As bases (fundos) dos vasilhames são predominantemente arredondadas, tanto que as peças precisavam de algum tipo de escoramento para ficarem em pé, seja graças a um buraco no chão, seja utilizando suportes, como pedras ou fragmentos de cupinzeiro, por exemplo.

A tradição Aratu-Sapucaí está associada a novas técnicas de transformação da pedra – o polimento e picoteamento – além do lascamento. O lascamento por percussão apresenta-se sob uma forma rudimentar, sem retoques. O material lítico desses grupos inclui lascas de quartzo não retocadas e lâminas polidas de variadas formas e dimensões, inclusive semilunares (PROUS, 1992). As ferramentas de pedra são mais pesadas do que no período anterior, dos caçadores-coletores, provavelmente ligadas à derrubada de matas para a abertura de roças e o plantio. Instrumentos de osso, como espátulas e furadores, por exemplo, também podem ser atribuídos ao período dos agricultores-ceramistas (Figuras 12, 13, 14 e 15).



Figura 12 – Fotos de vasos cerâmicos atribuídos à tradição Aratu-Sapucaí: os dois vasos da esquerda, ambos com bordas introvertidas, representam vasilhames menores de paredes mais finas, provavelmente utilizados na preparação de alimentos; os dois vasos com gargalo na foto da direita tinham como finalidade o transporte e o armazenamento de líquidos; todas essas peças são da região do lago de Furnas, ao sul do carste de Pains (Coleção: Antônio Adauto). Foto: Cyro Soares.

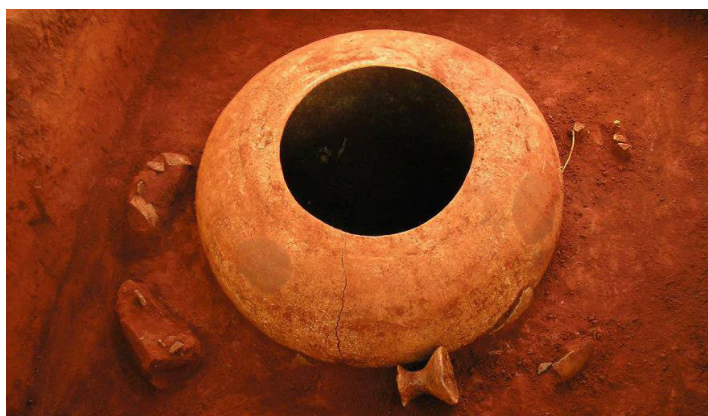


Figura 13 – Fotos mostrando grandes urnas e vasos cerâmicos atribuídos à tradição Aratu-Sapucaí: os vasos da esquerda são da região do lago de Furnas, ao sul do carste de Pains (Coleção: Antônio Adauto) Foto: Cyro Soares; a urna na foto da direita, acompanhada por um “cálice” e contendo fragmentos de ossos, foi escavada no sítio do Inhame, município de Iguatama, ao norte do carste de Pains, e se encontra atualmente no Museu do Carste do Alto São Francisco (MAC) com sede na cidade de Pains. Foto: Camila Jácome/Adriano Leão.



Figura 14 – Lâminas de machado polido/picoteadas encontradas dentro do carste de Pains confeccionadas a partir de uma variedade de matérias-primas (esquerda); a foto da direita mostra uma lâmina de machado semilunar (ou em âncora) proveniente do município de Iguatama. Fotos: Cyro Soares.



Figura 15 – Um fuso de cerâmica (esquerda) e um furador de osso (direita), ambos encontrados no sítio Paiol de Milho, município de Pains.

11. CONCLUSÕES

O presente capítulo descreveu, de forma sucinta, a arqueologia pré-histórica do carste de Pains, uma extensa área cárstica situada no alto vale do Rio São Francisco, no centro-oeste do estado de Minas Gerais. A apresentação foi dividida em duas principais partes por ordem de aparição no registro: uma primeira abordando o período dos caçadores-coletores, mais antigo, e uma segunda parte falando do período dos agricultores-ceramistas, mais recente.

O período dos caçadores-coletores apresenta uma variedade de evidências arqueológicas, como arte rupestre, restos faunísticos, carvões, sepultamentos e material lítico lascado. Este último tipo de vestígio, em combinação com o contexto cronológico e especial, permitiu distinguir três momentos de ocupação, dois mais antigos e menos perceptíveis (Horizontes 1 e 2) e um mais recente (Horizonte 3), este mais significativo porque apresenta uma maior densidade e variedade de evidências e uma abrangência espacial e temporal marcante dentro do carste de Pains.

O período dos agricultores-ceramistas é caracterizado por uma principal cultura cerâmica, a tradição Aratu-Sapucai, que junto com dados históricos e linguísticos, indica uma conexão com os grupos Jê cujos descendentes ainda podem ser encontrados no Brasil de hoje. Apesar dessa tradição predominar, uma variedade de sítios podem ser encontrados referentes esse período no carste de Pains, desde sítios a céu aberto, representando aldeias e casas subterrâneas, até sítios na entrada e no interior de cavidades, em geral acampamentos temporários, alguns desses podendo ser uma extensão de sítios a céu aberto. Descobriu-se aqui, portanto, uma associação direta entre a tradição Aratu-Sapucai, casas subterrâneas e a utilização intensiva das cavidades naturais, inclusive locais pouco iluminados.

Um fato interessante é que tanto para o período dos caçadores-coletores quanto para o dos agricultores-ceramistas, existem elementos materiais que apontam para uma conexão com a região Sul do País e, no que se refere à cronologia de ocupação e aos sepultamentos do período dos caçadores-coletores, também com a região cárstica de Lagoa Santa.

REFERÊNCIAS

ANGELES FLORES, R. *et al.* Before Lagoa Santa: micro-remain and technological analysis in a lithic artifact from the Itaparica industry. **Journal of Lithic Studies**, v. 3, n. 1, 2016, p. 6-29.

ARAÚJO, A.; NEVES, W.; KIPNIS, R. Lagoa Santa Revisited: an overview of the chronology, subsistence and the material culture of paleoindian sites in eastern central Brazil. **Latin American Antiquity**, v. 23, n. 4, 2012, p. 533-550.

BUENO, L. Variabilidade tecnológica nos sítios líticos do Lajeado, médio Rio Tocantins. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, Suplemento 4, Universidade de São Paulo, 2007, 215 p.

CALDERÓN, V. Nota prévia sobre a arqueologia das regiões central e sudoeste do Estado da Bahia, Pro-napa. Resultados preliminares do 2º ano (1966-1967). **Publicações avulsas**, Museu Emílio Goeldi, Belém, 1969, v. 19, p. 135-147.

DIAS, A. S. **Sistemas de Assentamento e Estilo Tecnológico:** uma proposta interpretativa para a ocupação pré-colonial do alto Vale do Rio Sinos, Rio Grande do Sul, Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 2003.

ESCHWEGE, W. L. von. Ocorrência de salíferas e de combustíveis: salitre. **Pluto Brasiliensis**, v. 2. Belo Horizonte: Ed. Itatiaia, São Paulo: Ed. USP, 1979, p.189-194.

FOGAÇA, E. **Mãos para o pensamento.** Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

GORECKI, P. Horticulturalists as hunter-gatherers: rock shelter usage in Papua New Guinea. **Ethnoarchaeological Approaches to Mobile Campsites**. GAMBLE, C. S.; BOISMIER, W. A. (Ed.) International Monographs in Prehistory, Ann Arbor, Michigan, 1991, p. 237-262.

HENRIQUES, G. **Arqueologia Regional da Província Cárstica do Alto São Francisco:** um estudo das tradições ceramistas Una e Sapucaí. Dissertação (Mestrado) – MAE/USP, São Paulo, 2006, 89p.

JACOME, C.; PANACHUK, L. Arte rupestre no alto curso do Rio São Francisco: aportes iniciais. **Sociedade de Arqueologia Brasileira**, São Paulo, 2003. ±

KOOLE, E. **Caracterização arqueológica dos grupos caçadores-coletores a partir da análise de sete elementos e suas implicações para a pré-história da Região Cárstica do Alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil:** cronologia, tecnologia lítica, subsistência (fauna), sepultamentos, mobilidade, uso do espaço em abrigos naturais e arte rupestre. Tese (Doutorado) – MAE/USP, 2014, 564p.

KOOLE, E. **Pré-história da Província Cárstica do Alto São Francisco, Minas Gerais:** a indústria lítica dos caçadores-coletores arcaicos. Dissertação (Mestrado) – MAE/USP, São Paulo, 2007, 140p.

LOURDEAU, A. **Le Technocomplexe Itaparica:** définition techno-fonctionnelle des industries à pieces façonnées unifaciellement à une face plane dans le centre et le nord-est du Brésil pendant la transition Pléistocène-Holocène et l'Holocène ancien. Tese (Doutorado) – Université Paris Ouest Nanterre La Défense, 2010, 477p.

MILLER, E. T. Pesquisas arqueológicas paleoindígenas no Brasil ocidental. **Estudios Atacameños**, n. 8, 1987, p. 39-64.

NICHOLSON, A.; CRANE, S. Desert Camps: analysis of australian aboriginal proto-historic campsites. **Ethnoarchaeological Approaches to Mobile Campsites**. GAMBLE, C. S.; BOISMIER, W. A. (Ed.) International Monographs in Prehistory, Ann Arbor, Michigan, 1991, p. 263-354.

PARKINGTON, J.; MILLS, G. From Space to Place: the architecture and social organization of Southern African mobile communities. **Ethnoarchaeological Approaches to Mobile Campsites**. GAMBLE, C. S.; BOISMIER, W. A. (Ed.) International Monographs in Prehistory, Ann Arbor, Michigan, 1991, p. 355-370.

PROUS, A. **Arqueologia Brasileira:** a pré-história e os verdadeiros colonizadores. Editores Archaeo e Canini & Caniato Editorial (Tantatinta Editorial), Cuiabá, Mato Grosso, 2019, 880p.

PROUS, A. **Arqueologia Brasileira**, Editora UnB, 1992.

PROUS, A. Arte Rupestre Brasileira: uma tentativa de classificação. **Revista Pré-História**, São Paulo, 1989, n. 7, p. 7-31.

SCHMITZ, P. I. Caçadores antigos no sudoeste de Goiás. **Estudios Atacameños**, n. 8, 1987, p.17-37.

SOARES, J. Discutindo a tradição Aratu: proposta de um modelo de dispersão e implantação nas zonas de tensão ecológica. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, São Paulo, n. 23, 2013, p. 61-77.

STRAUSS, A. **As práticas mortuárias na região de Lagoa Santa**: um estudo de caso do sítio Lapa do Santo. Dissertação (Mestrado) – IB/USP, São Paulo, 2010.

URBAN, G. A história da cultura brasileira segundo as línguas nativas. **História dos Índios do Brasil**. CUNHA, M. C. da (org.), Companhia das Letras/Fapesp/SMC, 1998, p. 87-102.

VIALOU, Á. **Pré-história do Mato Grosso**: Santa Elina, v. 1. Editora da Universidade de São Paulo, 2005, p.167-187.

WALTHALL, J. A. Rockshelters and Hunter-Gatherer Adaptation to the Pleistocene/Holocene Transition. **American Antiquity**, v. 63, n. 2, p. 223-238, 1998.



Ossos fossilizados de mastodonte. Acervo do Museu de História Natural da PUC Minas. Foto: Ataliba Coelho.

The image features a collection of fossilized bones and teeth, likely from a large mammal, arranged diagonally across the left side of the frame. The fossils are light-colored, ranging from off-white to light brown, and show various textures and shapes, including a long, slender bone and several larger, more complex fragments. Some fragments have handwritten labels, such as 'HCL 18559/11'. The background is a solid dark blue-grey color.

CAPÍTULO 8

PALEONTOLOGIA DO QUATERNÁRIO COM ÊNFASE NA REGIÃO CÁRSTICA DE PAINS

ALEX HUBBE

1. INTRODUÇÃO

A paleontologia (do grego palaios = antigo;ontos = ser; logos = estudo) é a ciência que estuda a história da vida na Terra desde tempos tão remotos quanto três ou quatro bilhões de anos atrás (Figura 1). As peças-chave para todas as descobertas paleontológicas são os fósseis. São eles que nos permitem enxergar e entender o passado da Terra. Um fóssil nada mais é, segundo a legislação brasileira, do que qualquer evidência de organismos com uma idade superior a 11 mil anos e preservados em sistemas naturais, como nos sedimentos em cavernas. No entanto, se o organismo for extinto, não existe limite inferior de idade. Os fósseis podem ser tanto restos de organismos (e.g., um osso de mamífero (Figura 2), uma concha de molusco ou de um organismo unicelular), quanto vestígios (e.g., uma pegada de um dinossauro).

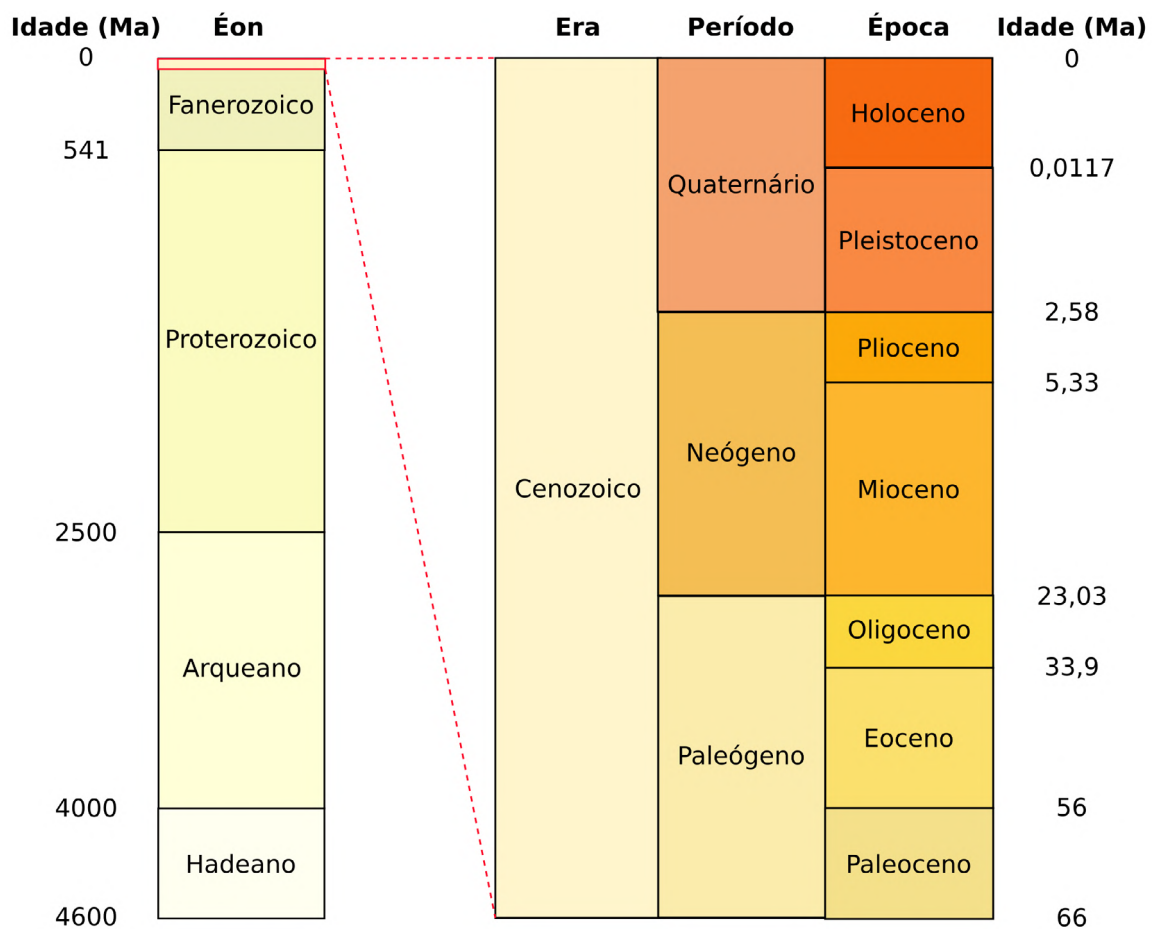


Figura 1 – Escala do tempo geológico desde a origem da Terra há 4,6 bilhões de anos até o presente com destaque para o Cenozoico. Para dar a real dimensão do que significa um bilhão, se alinharmos 1 bilhão de bolas de futebol (22 cm de diâmetro) na linha do Equador, seria possível dar aproximadamente 5,5 voltas ao redor da Terra.

Por meio do estudo dos fósseis, a paleontologia nos conta, por exemplo, que desde o início da grande diversificação da vida multicelular, há cerca de 541 milhões de anos (Figura 1), a Terra passou por pelo menos cinco grandes eventos de extinção em massa. Durante esses eventos, estima-se que ao menos 75% das espécies viventes na época se extinguíram em um intervalo de tempo relativamente curto (*i.e.*, menos de 2 milhões de anos). Também sabemos que na última dessas grandes extinções, a 66 milhões de anos atrás (Figura 1), praticamente todas as linhagens de dinossauros se tornaram extintas. Sobreviveram apenas as aves que representam uma fração da diversidade outrora observada naquele grupo. A paleontologia

também é capaz de mostrar a fantástica série de adaptações observadas durante a evolução das espécies, como na transição do ambiente terrestre para o aquático ao longo da evolução das baleias. Diga-se de passagem, a contribuição da paleontologia ao conhecimento humano não se limita apenas a questões biológicas. Ela é fundamental para a divisão dos 4,6 bilhões de anos de história da Terra em intervalos de tempo discretos, a chamada escala do tempo geológico (Figura 1). Ela também contribui para a compreensão das mudanças climáticas e da deriva dos continentes ao longo do tempo (BENTON; HARPER, 2009).

Este capítulo tem o objetivo principal de apresentar as descobertas paleontológicas realizadas na região cárstica de Pains com ênfase nos achados do Quaternário (Figura 1). Ele também pretende contextualizar os achados paleontológicos da região diante do conhecimento atual sobre a paleontologia do Quaternário.



Figura 2 – Restos de lhama extinta (*Palaeolama maior*) descobertos por Peter Lund na Lapa da Escrivânia N.5, no carste de Lagoa Santa, MG. Acervo do Museu Zoológico de Copenhague. Foto: Luís B. Piló.

2. LUND, CAVERNAS E A PALEONTOLOGIA NO BRASIL

A paleontologia brasileira como disciplina científica surgiu pelo estudo de fósseis encontrados em cavernas. Sua origem remonta aos trabalhos do dinamarquês Peter Wilhelm Lund (1801-1880). Após uma passagem pelo Brasil entre 1825 e 1829, Lund se estabeleceu em definitivo no País em 1833. Um fato curioso sobre a vida de Lund, e marcante para o começo da paleontologia nacional, é que se não fosse um encontro ao acaso em 1835 com seu conterrâneo, Peter Claussen, talvez Lund não tivesse se tornado um paleontólogo. Na época do encontro com Claussen, Lund estava interessado em botânica e as vivências de Claussen em paleontologia o fizeram mudar de foco. No mesmo ano de seu encontro com Claussen, Lund passou a residir na cidade de Lagoa Santa, Minas Gerais, onde viveu até a sua morte (CARTELLE, 2020). E foram as cavernas da região cárstica de Lagoa Santa (aproximadamente 200 km de distância de Pains) que fizeram de Lund e do carste de Lagoa Santa conhecidos para muito além da pacata cidade. Seu trabalho foi tão grandioso que não passou despercebido pelo notório naturalista inglês Charles Darwin, que menciona os trabalhos de Lund em seu famoso livro “A origem das espécies” (DARWIN, 1859).

Nos primeiros 10 anos de sua permanência na região (1835-1845), Lund foi um paleontólogo incansável. Ele pesquisou e recolheu material em mais de 800 grutas da região (MARSHALL *et al.*, 1984; PAULA COUTO, 1953). A coleção formada por Lund é um dos registros mais importantes acerca da fauna do Quaternário brasileiro (KIPNIS, 1998). Com base nos aproximados 12 mil fósseis coletados por ele, foram identificadas aproximadamente 120 espécies viventes e 30 espécies extintas de mamíferos distribuídas em diversos grupos, como os morcegos, marsupiais, tatus, roedores e carnívoros (CARTELLE, 2012). Colocando em perspectiva, o número de espécies viventes representadas no registro fóssil coletado por Lund equivale a 17% de todas as espécies viventes conhecidas de mamíferos brasileiros (PAGLIA *et al.*, 2012). Entre os inúmeros achados feitos por Lund, coube a ele descrever algumas das espécies mais emblemáticas da fauna extinta do final do Quaternário, como o tigre-dentes-de-sabre (*Smilodon populator* Lund, 1842) e a gigantesca preguiça terrestre *Eremotherium laurillardi* Lund, 1842 (Figuras 3 e 4). Após esse produtivo período de atividades, Lund nunca mais trabalhou com paleontologia (CARTELLE, 2020). As razões que o fizeram abandonar a área precocemente são tema de discussão. Ao que tudo indica, a falta de recursos, como alegado pelo próprio Lund, foi fundamental em sua decisão (LUNA FILHO, 2007).

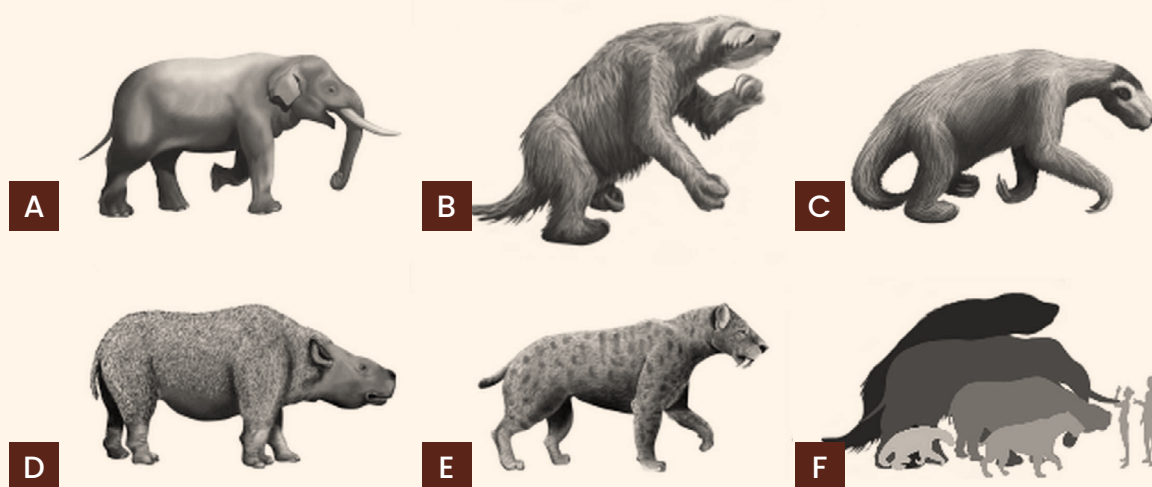


Figura 3 – Reconstituição artística de diferentes espécies da fauna extinta do Quaternário. A. Mastodonte (*Notiomastodon platensis*); B. Preguiça gigante (*Eremotherium laurillardi*); C. Preguiça terrestre (*Nothrotherium maquinense*); D. Toxodonte (*Toxodon platensis*); E. Tigre-dentes-de-sabre (*Smilodon populator*); e F. Escala das espécies em relação a uma mulher e um homem de 1,70 m e 1,80 m, respectivamente. Desenho: Mark Hubbe.



Figura 4 – Crânio de tigre-dentes-de-sabre (*S. populator*) descoberto por Peter Lund em caverna da região de Lagoa Santa; acervo do Museu de História Natural de Paris (*Jardin des Plantes*). Foto: Luís B. Piló.

3. A IMPORTÂNCIA DAS CAVERNAS CARBONÁTICAS PARA A PALEONTOLOGIA DO QUATERNÁRIO

A quantidade de fósseis coletados por Lund nas cavernas da região cárstica de Lagoa Santa evidencia o incrível potencial das cavernas desenvolvidas em rochas carbonáticas para a preservação de fósseis quaternários. Não por acaso, esses ambientes são uma das principais janelas para a nossa compreensão sobre o Quaternário brasileiro (CARTELLE, 2020). Essa preservação ocorre em função da presença de carbonato de cálcio (CaCO_3) nas rochas nas quais as cavernas se formaram. O CaCO_3 é responsável por neutralizar a acidez das águas percolantes e dos sedimentos no interior das cavernas. Na ausência dessa neutralização, essencialmente qualquer resto de animal que por ventura fosse depositado dentro de uma caverna seria degradado rapidamente. Assim, em cavernas formadas em rochas não carbonáticas, mesmo que um animal venha a morrer em seu interior, seus restos serão via de regra rapidamente degradados em função da acidez do meio.

4. A REGIÃO CÁRSTICA DE PAINS NO CONTEXTO DA PALEONTOLOGIA DO QUATERNÁRIO

Atualmente a região cárstica de Pains apresenta o maior número de cavernas carbonáticas cadastradas no Brasil (Capítulo 6). Apesar disso, é notória a raridade de fósseis encontrados no interior das cavernas da região, ainda mais se comparados aos mais de 12 mil fósseis coletados na região cárstica de Lagoa Santa. Na região de Pains foi coletada aproximadamente uma dezena de fósseis, que estão depositados na coleção do Museu de Ciências Naturais da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (ALBERDI; PRADO; CARTELLE, 2002). Além desse material, foram reportados, mas não coletados, poucos fósseis em três outras cavernas da região (ESCHWEGE, 2011; MORATO; BAPTISTA; FARIA, 2003; MORATO; SENA, 2009).

Essa discrepância na abundância de fósseis entre as regiões de Pains e Lagoa Santa é intrigante. Ela provavelmente não está relacionada à diferença na quantidade de trabalho de exploração entre as regiões, já que ambas foram extensamente exploradas. Assim, se a região de Pains apresentasse grande abundância de fósseis, muito provavelmente esses teriam sido encontrados em uma quantidade maior do que a que temos hoje (ALBERDI; PRADO; CARTELLE, 2002; MORATO; BAPTISTA; FARIA, 2003; MORATO; SENA, 2009). Isso sugere que a diferença entre as áreas reflete características inerentes às duas regiões cársticas. Infelizmente, a explicação para essa divergência ainda é um enigma e merece ser melhor estudada. Investigações relacionadas ao tema certamente se beneficiarão da disponibilização de cavernas para estudo em áreas de compensação de mineradoras atuantes na região. De qualquer forma, essa discrepância na abundância de fósseis também explicita como a formação de depósitos fossilíferos em cavernas pode ser bastante complexa. Muitos aspectos influenciam na quantidade e na qualidade dos fósseis encontrados em seu interior, como, por exemplo, a posição da entrada da caverna em relação ao relevo, ou a própria morfologia de seus condutos (AULER *et al.*, 2006; HADDAD-MARTIM *et al.*, 2017).

Embora em termos quantitativos a região cárstica de Pains não se destaque, ela supera a de Lagoa Santa e qualquer outro depósito fossilífero no Brasil em um aspecto: foi de lá que saiu o crânio mais completo de um mastodonte adulto encontrado no Brasil (Figuras 3 e 5) (ALBERDI; PRADO; CARTELLE, 2002; MOTHÉ, comunicação pessoal). Apesar de fósseis de mastodonte terem sido encontrados desde os tempos de Lund e sejam comuns em depósitos quaternários de boa parte do Brasil (SIMPSON; PAULA COUTO, 1957), crânios relativamente completos são extremamente raros nesses depósitos. Existem apenas três achados conhecidos. Além desse encontrado em Pains, um crânio foi encontrado na região cárstica de Lagoa Santa (SIMPSON; PAULA COUTO, 1957) e outro em Rondônia (MOTHÉ, comunicação pessoal).

Encontrar um crânio bem preservado nos permite conhecer mais a fundo a morfologia do animal. Se o registro fóssil fosse uma história contada em um livro, encontrar o esqueleto inteiro e articulado do animal seria o mesmo que ler um bom livro sobre a biologia da espécie. Já encontrar apenas partes desse animal (um osso ou fragmento de ossos, ou ossos desarticulados), seria como ler trechos desconexos do livro.

O imponente crânio de Pains foi encontrado na Loca do Angá (Figuras 6 e 7) junto a ossos articulados (um úmero, um rádio e uma ulna) e desarticulados (um rádio, uma ulna fragmentada e um fragmento de úmero) dos membros anteriores, cinco ossos do punho, um osso do membro posterior (uma tíbia) e alguns fragmentos de costelas (Figuras 8, 9 e 10) (ALBERDI; PRADO; CARTELLE, 2002; VILABOIM, comunicação pessoal). Essa caverna apresenta dois condutos que bifurcam a partir da entrada, e os fósseis foram encontrados no conduto mais extenso (Figura 7). Eles estavam ao menos parcialmente expostos em superfície e incrustados em uma fina capa formada de calcita e argila (Figura 9) (ALBERDI; PRADO; CARTELLE, 2002).

De acordo com Alberdi *et al.* (2002), os fósseis encontrados em Pains teriam a idade do Pleistoceno final. Essa idade foi determinada a partir da premissa de que todos os fósseis dentro de cavernas são sincrônicos e datados do final do Pleistoceno. No entanto, essa premissa não se sustenta com base em evidências atuais fundamentadas em datações absolutas (*i.e.*, idades expressas em anos antes do presente). A partir de datações diretas pelo método do carbono 14 em colágeno presente em fósseis e também de datações mínimas pelo método do Urânio/Tório em cristais de calcita presentes em espeleotemas envolvendo fósseis, sabe-se que é impossível determinar uma idade confiável para um fóssil encontrado em cavernas carbonáticas brasileiras sem a realização de datações absolutas. Primeiro, fósseis dentro de uma mesma caverna – e mesmo considerando um único depósito fossilífero – podem ter idades distintas (AULER *et al.*, 2006; HADDAD-MARTIM *et al.*, 2017; HUBBE; AULER, 2012), refutando a ideia de sincronismo na morte e deposição dos fósseis. Segundo, a datação de fósseis encontrados em cavernas brasileiras mostrou que eles podem ter idades variando do Holoceno até superiores a 300 mil anos, o que corresponde ao Pleistoceno médio e refuta a ideia de que os fósseis encontrados em cavernas apresentam idades do Pleistoceno final (AULER *et al.*, 2006), ou seja, até que novos estudos sejam realizados sobre a cronologia específica do mastodonte encontrado em Pains, o mais adequado é considerá-lo de idade Quaternária.

Os fósseis encontrados em Pains pertencem ao mastodonte *Notiomastodon platensis* Owen, 1840, a única espécie de proboscídeos conhecida no Brasil (MOTHÉ; AVILLA; COZZUOL, 2013, p. 201). Os fósseis de *N. platensis* encontrados até a atualidade datam do Pleistoceno e indicam que a espécie habitou quase a totalidade da América do Sul. Apenas parte da Venezuela, da Amazônia brasileira, da Guiana, Guiana Francesa e Suriname não apresenta registros de fósseis (MOTHÉ *et al.*, 2017).



Figura 5 – Crânio de *Notiomastodon platensis* encontrado na Gruta do Angá, Pains. O crânio encontra-se em vista aproximadamente lateral. À esquerda, observa-se o alvéolo onde ficava inserida a presa. Na parte inferior, observa-se a fileira de molares. Mais ou menos ao centro da foto encontra-se a região na qual se inseria o globo ocular (fica à direita do forame infraorbital). Foto: Ataliba Coelho.



Figura 6 – Dolina onde se localiza uma das entradas da Gruta do Angá, local da descoberta dos fósseis do mastodonte. Foto: Pedro Henrique da Silva Assunção.



Figura 7 – Planta baixa da caverna onde foram encontrados os fósseis de mastodonte na região cárstica de Pains. A seta vermelha destaca a localização onde os fósseis foram encontrados. A caverna foi batizada originalmente como Loca do Angá, mas foi cadastrada no Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas como Gruta do Mastodonte. Fonte: Guano Espeleo.

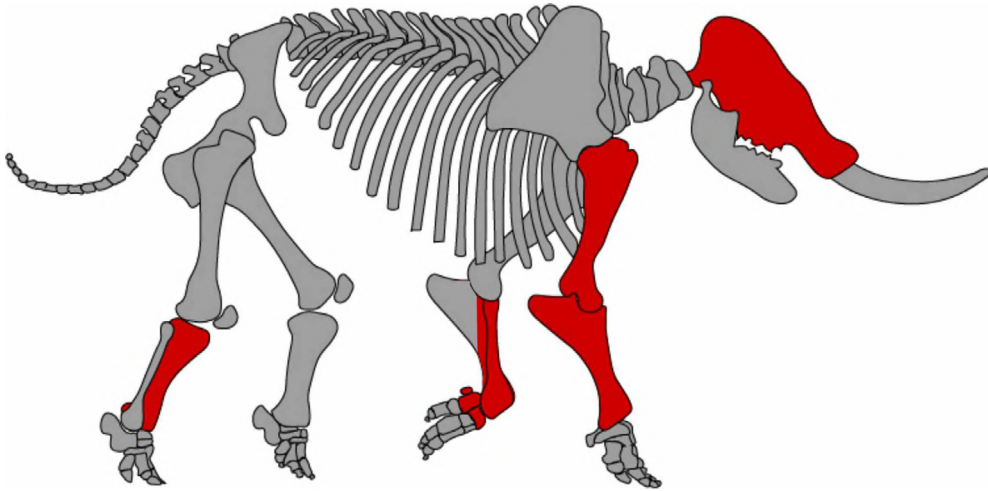


Figura 8 – Esqueleto do *Notiomastodon platensis* em cinza com ossos encontrados na Gruta do Angá destacados em vermelho. Não estão representados na figura os fragmentos de costelas e do úmero esquerdo. Desenho: Mark Hubbe.



Figura 9 – Ossos articulados do membro anterior direito do mastodonte encontrados na Gruta do Angá. À esquerda, os ossos no processo de remoção durante as escavações. À direita, os ossos após o processo de curadoria em laboratório. Foto (esquerda): arquivo do Museu de Ciências Naturais da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Foto (direita): Ataliba Coelho.

N. platensis poderia chegar a 6,5 toneladas, o que é comparável à massa dos maiores elefantes atuais, o elefante africano da savana (LARRAMENDI, 2015), que são os representantes vivos da ordem Proboscidea e devem ser considerados como primos relativamente distantes dos mastodontes. *N. platensis* era considerado herbívoro de hábitos alimentares generalistas. Em outras palavras, os animais eram capazes de se alimentar tanto de gramas quanto de partes de árvores e arbustos. Para determinar a dieta da espécie, as paleontólogas e os paleontólogos realizaram ao longo dos anos diferentes análises – isótopos estáveis, microdesgaste dentário, análises morfofuncionais, entre outras (MOTHÉ *et al.*, 2017). Essas são apenas algumas das técnicas que a paleontologia lança mão para recuperar informações sobre espécies extintas. Para ilustrar a diversidade de princípios por trás desses métodos, explico de forma bastante simplificada a análise de isótopos estáveis do carbono 13 (^{13}C) e do carbono 12 (^{12}C) e de microdesgaste dentário. Tenham em mente que, embora o princípio geral seja relativamente simples, a correta execução dos métodos e interpretação dos resultados não é trivial.

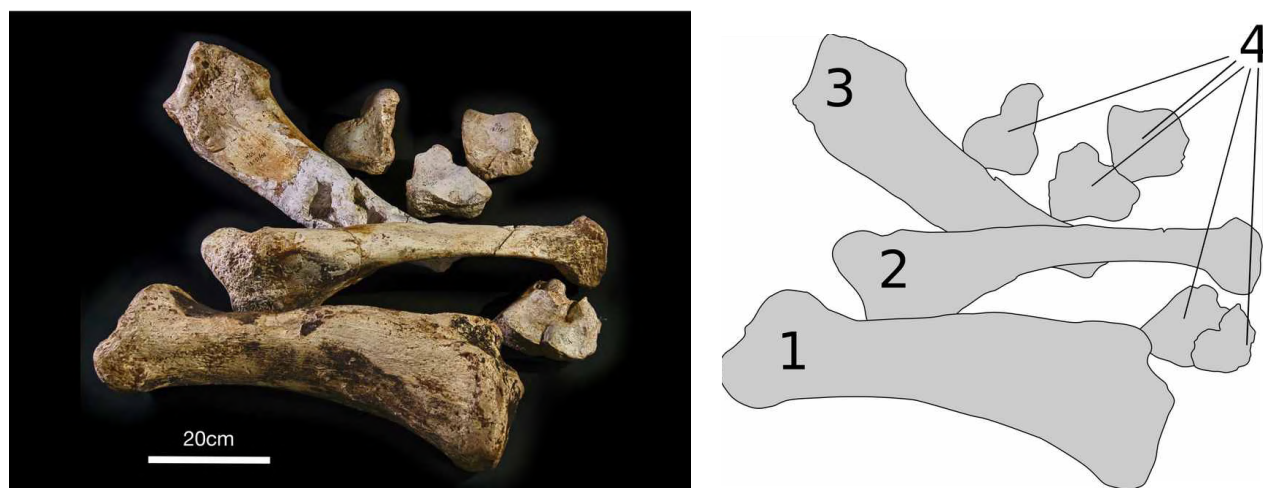


Figura 10 – Ossos do mastodonte encontrados na Gruta do Angá. 1: tíbia direita; 2: rádio esquerdo; 3: ulna esquerda fragmentada; e 4: ossos do punho esquerdo. Foto: Ataliba Coelho. Desenho: Mark Hubbe.

A análise de isótopos estáveis se baseia no fato de que diferentes tipos de plantas (como gramíneas de clima quente e árvores) incorporam em seus tecidos quantidades diferentes dos isótopos estáveis do carbono. Assim, as diferentes dietas dos animais levam a diferentes ingestas de isótopos estáveis de carbono, o que resulta na incorporação de diferentes proporções de cada tipo de isótopo em seus ossos. Portanto, basta quantificar a razão entre os dois isótopos nos fósseis para saber os tipos de plantas que faziam parte da dieta de uma espécie (Figura 11). Já o microdesgaste dentário se baseia no fato de que diferentes tipos de alimentos geram padrões diferentes de desgaste microscópico na superfície dos dentes (Figura 12). Por exemplo, uma dieta rica em gramíneas tende a deixar uma série de estrias paralelas na superfície dos dentes. Já animais que se alimentam de partes mais duras dos vegetais, tendem a gerar uma quantidade maior de depressões nessa superfície. Logo, ao identificar o padrão do microdesgaste dentário, é possível inferir a dieta da espécie.

Retornando à biologia dos mastodontes brasileiros, alguns autores defendem que a espécie constituía manadas com estrutura populacional semelhante às manadas dos elefantes atuais (MOTHÉ; AVILLA; WINCK, 2010). Essa inferência foi baseada em uma descoberta fascinante realizada em Araxá, Minas Gerais, distante aproximadamente 160 km de Pains. Durante a construção de um hotel, foi encontrado, na década de 1940, um sítio paleontológico a céu aberto apresentando fósseis de ao menos 47 indivíduos de *N. platensis* (MOTHÉ; AVILLA; WINCK, 2010). Tamanha abundância de indivíduos serviu de base para Mothé e colaboradores realizarem suas inferências sobre a proporção de indivíduos adultos, juvenis e infantes em uma suposta população da espécie.

No entanto, a paleontologia muitas vezes se faz nos detalhes. Para poder estudar a estrutura populacional de uma espécie extinta, é importante determinar se o registro fóssil representa de forma satisfatória uma população (*i.e.*, animais de uma mesma espécie que interagiram). Para tanto, é preciso determinar se os indivíduos viveram na mesma área em um mesmo intervalo de tempo. Ali é bastante provável que os fósseis representem indivíduos que viviam nas imediações, dada a ausência de marcas nos fósseis que sugiram transporte de longas distâncias após a morte do animal (SIMPSON; PAULA COUTO, 1957). Por outro lado, as características tanto dos fósseis encontrados quanto dos sedimentos do depósito sugerem que nem todos os indivíduos representados no depósito coexistiram no tempo (MAYER *et al.*, 2018). Dessa forma, não se pode dizer que aqueles 47 indivíduos refletem de forma precisa aspectos populacionais da espécie (KIDWELL; FLESSA, 1996). Até que se tenham mais dados sobre a formação daquele depósito, esses fósseis

não nos permitem fazer nenhum tipo de inferência sobre a estrutura populacional da espécie e nem, portanto, de comportamentos derivados dessas inferências.

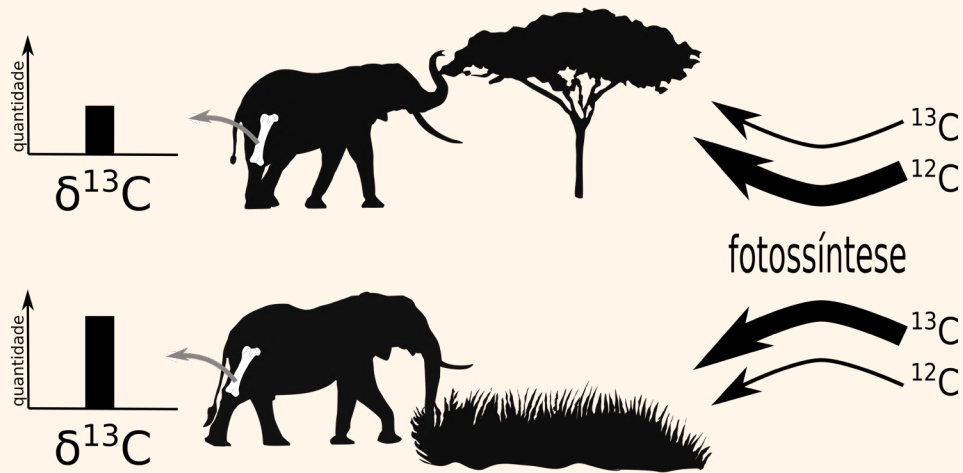


Figura 11 – Esquema simplificado da análise de isótopos estáveis do carbono para inferências sobre a dieta de animais. As setas à direita estão exageradas para representar a diferença na incorporação dos isótopos, pois, a rigor, o ^{12}C é sempre incorporado em maior quantidade por ser mais abundante.

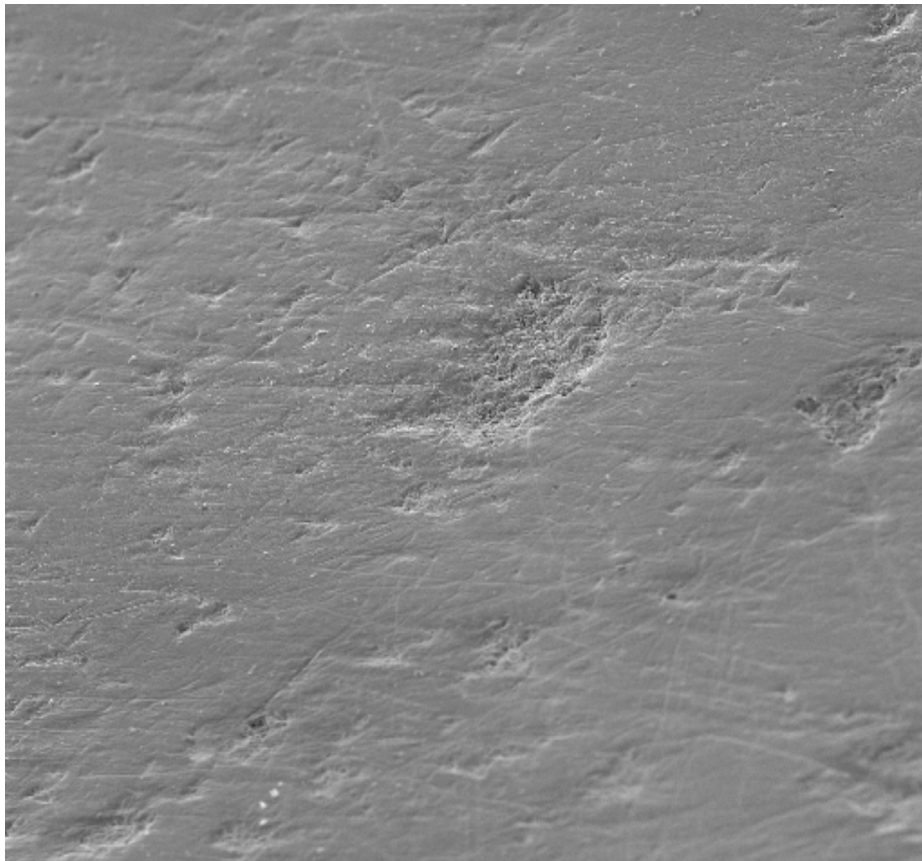


Figura 12 – Exemplo de superfície de um dente apresentando microdesgaste dentário. Magnificação de 500x. Foto: Alex Hubbe.

Uma curiosidade sobre os mastodontes encontrados no Brasil, e na América do Sul como um todo, é que a história deles por aqui foi bastante breve e recente, se considerarmos que a linhagem dos Proboscidea surgiu na África há aproximadamente 78 milhões de anos e o grupo existe por lá até a atualidade (BININDA-EMONDS *et al.*, 2007). Por aqui, o grupo viveu somente durante aproximadamente os últimos 2,5 milhões de anos, se extinguindo em algum momento entre o final do Pleistoceno e o início Holoceno (BARNOSKY; LINDSEY, 2010). A explicação para esse padrão está na história geológica das Américas. A América do Sul foi durante a maior parte do Cenozoico (Figura 1) uma grande ilha isolada das demais massas de terra continentais. Apenas em torno de 2,8 milhões de anos que ela se conectou à América do Norte por meio do soerguimento do istmo do Panamá. Só a partir daí que a América do Sul se tornou acessível aos mastodontes (SIMPSON, 1980; WOODBURNE, 2010) que já habitavam as terras mais ao norte.

5. A FAUNA EXTINTA DO QUATERNÁRIO TARDIO

Embora o registro fóssil da região cárstica de Pains seja bastante limitado, sabe-se pelos fósseis encontrados em outras partes do País que os mastodontes não foram os únicos gigantes que viveram em território nacional ao longo do Quaternário. Eles fizeram parte de uma fauna bastante peculiar e exuberante de abrangência global que se extinguiu na América do Sul ao longo do Pleistoceno final e do início do Holoceno (Figura 1) (BARNOSKY; LINDSEY, 2010; HUBBE, A.; HUBBE, M.; NEVES, 2013). Essa fauna ganhou notoriedade sob a alcunha de megafauna, dado que a maior parte dos animais que se extinguíram apresentava porte considerável (KOCH; BARNOSKY, 2006). No entanto, espécies de porte menor também se tornaram extintas. Dois exemplos dessas espécies que ocorreram no Brasil foram a paca extinta *Cuniculus rugiceps* Lund, 1837 (MAYER *et al.*, 2016) e o morcego vampiro extinto *Desmodus draculae* Morgan, Linares e Ray, 1988 (TRAJANO; VIVO, 1991). Portanto, evitarei usar o termo megafauna e adotarei aqui o termo mais abrangente de fauna extinta do Quaternário tardio, que vem sendo usado cada vez com mais frequência.

Não é o escopo deste capítulo revisitar todo o esplendor dessa fauna que ocorreu no território nacional e na América do Sul. Mesmo porque existe literatura aprofundada sobre o tema (CARTELLE, 2012; PAULA COUTO, 1979; SIMPSON, 1980). Aqui aproveito para pontuar questões e curiosidades sobre alguns grupos dessa fauna deslumbrante.

Um grupo que habitou o Brasil durante o Quaternário e que, ao contrário dos mastodontes, apresentava uma grande diversidade de espécies no Brasil era o das preguiças terrestres (CARTELLE, 2020; CARTELLE *et al.*, 2019; CARTELLE; IULIIS; FERREIRA, 2009; IULIIS; PUJOS; CARTELLE, 2009; LOPES *et al.*, 2017; LOPES; PEREIRA, 2019). Cerca de dez espécies de preguiças viveram em território nacional, e essas apresentavam grande variação de tamanho entre si. Enquanto a menor delas, *Nothrotherium maquinense* Lund, 1839 (Figura 3) era do tamanho aproximado de uma ovelha, no outro extremo encontravam-se *E. laurillardi* e *Megatherium americanum* Cuvier, 1796 que podiam atingir até aproximadamente 6 m de comprimento da ponta da cabeça até o final da cauda (CARTELLE, 2012; PUJOS, 2006).

As preguiças terrestres são consideradas herbívoras. As espécies apresentavam hábitos alimentares variados. Algumas se alimentavam de forma pouco seletiva abocanhando grandes quantidades de alimento, e outras eram seletivas, escolhendo de forma precisa partes específicas dos vegetais como brotos em galhos. A alimentação, a depender da espécie, incluía entre gramíneas e plantas herbáceas até partes de árvores e arbustos (BARGO; TOLEDO; VIZCAINO, 2006; BARGO; VIZCAINO, 2008; MELO FRANÇA *et al.*,

2015). Embora não tenha ocorrido no Brasil, existiu até preguiças que se alimentavam de vegetação marinha! O gênero de preguiça *Thalassocnus* Muizon e McDonald, 1995 viveu na costa do Peru e Chile entre o Mioceno e o Plioceno (Figura 1) e era semiaquático (CANTO *et al.*, 2008; MUIZON *et al.*, 2004). A inferência para esse hábito foi feita por meio de estudos da morfologia que sugerem hábito semiaquático e do fato de que fósseis foram encontrados em um contexto de ambiente marinho próximo à costa. Para *M. americanum* há uma proposição um tanto controversa de que a espécie poderia se alimentar também de carne (FARINA; BLANCO, 1996). Segundo os autores, a anatomia do membro anterior sugere que ele otimizava a velocidade em vez da força de extensão, o que seria condizente com diferentes cenários para o consumo de carne, seja como um caçador ou como um carnicheiro. Em relação ao comportamento das preguiças terrestres, é provável que algumas espécies eram capazes de escavar tocas (LOPES *et al.*, 2017). Também foi proposto que *E. laurillardii* formava manadas (CARTELLE; BOHORQUEZ, 1982). No entanto, pela mesma razão discutida anteriormente em relação aos mastodontes, essa interpretação é contestável (HUBBE; AULER, 2012; MAYER *et al.*, 2018).

Ao contrário dos mastodontes que chegaram à América do Sul apenas no Pleistoceno, a história evolutiva das preguiças tem íntima relação com nosso continente. Embora os fósseis mais antigos do grupo tenham sido encontrados no Eoceno (Figura 1) da Antártica (CARLINI; SCILLATO-VANE, 2004), a diversificação do grupo ocorreu majoritariamente por aqui (CARTELLE, 2012; SIMPSON, 1980; WOODBURN, 2010).

Outro grupo que, assim como as preguiças, teve sua história evolutiva fortemente relacionada à América do Sul foi o dos notoungulados. A história do grupo se iniciou por aqui ainda antes que a das preguiças, durante o Paleoceno (Figura 1). Por outro lado, ao contrário dos mastodontes e preguiças que apresentam parentes relativamente próximos na atualidade (os elefantes e as preguiças arborícolas, respectivamente), toda a história evolutiva dos notoungulados, escrita ao longo de muitos milhões de anos, deixou de existir com a extinção das últimas espécies no Quaternário (BUCKLEY, 2015; WELKER *et al.*, 2015). Na verdade, os notoungulados fazem parte de um grande e diversificado grupo de mamíferos, os ungulados nativos da América do Sul, que não apresenta nenhuma linhagem próxima a eles nos dias atuais (SIMPSON, 1980).

O notoungulado mais notório é o imponente *Toxodon platensis* Owen, 1837 (Figura 3). O primeiro exemplar da espécie foi encontrado na Argentina por ninguém mais, ninguém menos que Charles Darwin. Essa espécie era herbívora, de hábitos generalistas, e tinha o tamanho de um bisão-americano ou um rinoceronte-negro. Uma questão que ainda gera discussão acerca da biologia da espécie é se ela teria hábitos semiaquáticos, como os hipopótamos modernos. As análises do esqueleto do animal geram resultados conflitantes, com partes do esqueleto apontando hábitos semiaquáticos e partes apontando hábitos terrestres (MACFADDEN, 2005). Já análises recentes de isótopos estáveis do oxigênio 18, apontam que a espécie seria terrestre (LOPES *et al.*, 2013).

Outro destaque dessa fauna singular foi o emblemático tigre-dentes-de-sabre (*Smilodon populator*). Ele foi o maior predador terrestre existente no Quaternário brasileiro, o maior felino da América do Sul e um dos maiores que já existiram. Seus caninos superiores em formato de sabre podiam atingir aproximadamente 25 cm de comprimento (Figura 4). Os indivíduos mais robustos da espécie podiam chegar aos 400 kg, enquanto um leão muito grande atinge cerca de 250 kg (BOCHERENS *et al.*, 2016; CHRISTIANSEN; HARRIS, 2005). A espécie se distribuiu de forma ampla pelo continente sul-americano e ocorreu em boa parte do Brasil (MANZUETTI *et al.*, 2018). Assim como os mastodontes, eles chegaram à América do Sul apenas após a conexão por terra entre as Américas e habitaram o continente sul-americano entre o Pleistoceno e provavelmente o início do Holoceno (BOCHERENS *et al.*, 2016; HUBBE, A.; HUBBE, M.; NEVES, 2013). Considerado um predador de emboscada, aguardava camuflado na paisagem a passagem

de suas presas para então atacá-las. Alimentava-se de animais de grande porte, como cavalos e preguiças terrestres. Ainda se discute a possibilidade de a espécie ter vivido em bandos, como os leões atuais (BOCHERENS *et al.*, 2016). Já seu nome popular é incorreto, visto que na verdade não eram tigres, mas sim um primo distante dos tigres e dos demais felinos atuais (PAIJMANS *et al.*, 2017).

6. A EXTINÇÃO DA FAUNA NO QUATERNÁRIO TARDIO

Atualmente não restam dúvidas de que a extinção é o caminho natural para todas as espécies. Sabemos, por exemplo, que uma espécie existe geralmente por entre 1 e 5 milhões de anos (ALROY; KOCH; ZACHOS, 2000; FOOTE, 2007; LIOW *et al.*, 2008; LIOW; STENSETH, 2007) e que as espécies viventes são uma fração ínfima de todas as formas de vida que já habitaram o planeta (BENTON; HARPER, 2009). No entanto, a aceitação de que extinções são um fato é relativamente recente. Até o final do século XVIII, os argumentos a favor de que as espécies se extinguem estavam pautados em fósseis de espécies relativamente pequenas, como moluscos. Essas ideias confrontavam o paradigma vigente à época de que as formas de vida eram obras do Criador e, portanto, perfeitas e não passíveis do fracasso da extinção. Para os defensores do criacionismo, era bastante simples refutar a ideia de extinção embasada nas evidências a partir de fósseis relativamente pequenos. O argumento era que as espécies não estavam extintas, mas sim eram difíceis de serem encontradas em função de seus tamanhos reduzidos.

Tudo começou a mudar quando foram descritas duas espécies extintas de mamíferos de grande porte em 1796 (CUVIER, 1796a, 1796b), sendo uma delas um exemplar da preguiça gigante, *M. americanum*. A partir de então, não era mais possível refutar a extinção das espécies com o argumento de que elas estavam vivas e não foram encontradas. Tal descoberta acelerou o processo da aceitação de que extinções eram realidade (para mais detalhes ver GRAYSON, 1984).

O que ainda gera muita discussão até os dias de hoje no meio científico são as causas de muitas das extinções observadas no registro fóssil. Em particular, eventos de extinção que concentram uma quantidade atípica de espécies se extinguindo em um intervalo de tempo relativamente curto. A extinção do Quaternário tardio é uma delas. Ela está longe de ser categorizada como uma extinção em massa (BARNOSKY *et al.*, 2011), mas ainda assim impactou de forma contundente a diversidade de mamíferos do final do Quaternário (KOCH; BARNOSKY, 2006). Na América do Sul, 52 gêneros de mamíferos com mais de 44 kg (83%) extinguiram-se ao longo de alguns milhares de anos, além de tantas outras espécies de porte menor (BARNOSKY; LINDSEY, 2010; KOCH; BARNOSKY, 2006).

Existem diferentes hipóteses buscando explicar a extinção do Quaternário tardio (KOCH; BARNOSKY, 2006). No geral, elas se dividem em três vertentes (Tabela 1). Uma que defende que as mudanças climáticas foram a principal causa da extinção. Outra que argumenta que os seres humanos são os responsáveis pelo fenômeno. E uma terceira que sustenta que um efeito combinado entre mudanças climáticas e ação humana foi responsável pelo desaparecimento dessa fauna. O fato é que ainda estamos longe de atingir um consenso sobre a causa, ou causas, desse processo de extinção. No entanto, é evidente que ele foi complexo. Por exemplo, um estudo recente (LORENZEN *et al.*, 2011) utilizou amostras de DNA extraído de fósseis para reconstruir a história demográfica de algumas espécies e testar o impacto das mudanças climáticas e da presença humana em suas extinções. A pesquisa concluiu que, para algumas espécies, como o rinoceronte lanudo, mudanças climáticas isoladamente seriam suficientes para explicar suas extinções,

enquanto para outras espécies, como o bisão da estepe, a combinação de mudanças climáticas e ação antrópica seria o cenário mais plausível para as extinções observadas.

Não é só a compreensão desse processo de extinção que fascina os pesquisadores. Entender as consequências desta para a fauna e flora que resistiram e continuam viventes até hoje também é foco de pesquisas. As interações (diretas ou indiretas) entre espécies animais e vegetais resultam na formação dos ecossistemas. Quando grande quantidade de espécies é removida dos ecossistemas em intervalos de tempo relativamente curtos (como é o caso da extinção do Quaternário tardio), os desdobramentos são igualmente grandes (GALETTI *et al.*, 2017). Um exemplo relativamente simples é o pequi, planta que apresenta frutos outrora dispersos pela fauna extinta do Quaternário tardio, e que hoje em dia não apresenta dispersores de tamanho suficiente na fauna vivente. Na ausência de seus dispersores de grande porte, o pequi e outras plantas com história semelhante perderam a capacidade de dispersar suas sementes de forma eficiente, o que reduziu, por exemplo, sua variabilidade genética (GUIMARÃES JÚNIOR; GALETTI; JORDANO, 2008). Outras consequências menos óbvias foram alterações na temperatura local em função da alteração no albedo (*i.e.*, poder de reflexão da luz solar de uma superfície) decorrente de mudanças na cobertura vegetal desencadeadas pela extinção dos mamíferos de grande porte (DOUGHTY; WOLF; FIELD, 2010).

Tabela 1 – Alguns exemplos de hipóteses propostas para explicar a extinção do Quaternário tardio. Essas hipóteses estão agrupadas em função do principal fator relacionado à causa das extinções (coluna à esquerda).

Fator	Hipótese	Descrição
Ambiental	Catástrofe	Um exemplo seria mudança climática rápida
	Perda de Habitat	Fragmentação ou perda de habitat em função de mudanas climáticas
Ação Humana	Perda de Habitat	Fragmentação ou perda de habitat em função de ação humana
	Introdução de Predador	Predação por espécies introduzidas, como cachorros, gatos, ratos, entre outros
	Caça	Perda de espécies em função de caça
Ambiental + Ação Humana	Mega-herbívoros-Chave	Mudanças climáticas e ação humana alteram a abundância e diversidade de mamíferos de grande porte fundamentais para a manutenção do funcionamento dos ecossistemas
	Mudanças climáticas e Caça	Declínio populacional em virtude da perda de habitat devido às mudanças climáticas e à pressão de caça

7. OUTROS FÓSSEIS ENCONTRADOS NA REGIÃO CÁRSTICA DE PAINS

Durante o Proterozoico (Figura 1), a região cárstica de Pains era um ambiente majoritariamente de mares rasos. Naqueles mares viviam as formas de vida típicas daqueles tempos, os organismos unicelulares. Entre aqueles organismos viviam colônias de cianobactérias que formavam estromatólitos. Ao contrário dos microrganismos que são constituídos de partes moles e dificilmente preservam no registro fóssil, os estromatólitos preservam relativamente fácil e podem ser observados nas rochas da região cárstica de Pains (Figura 13) (BITTENCOURT *et al.*, 2015; VASCONCELOS *et al.*, 2020). Inclusive, estromatólitos encontrados na Austrália e datados de aproximadamente 3,5 bilhões de anos representam uma das evidências mais sólidas sobre a antiguidade da vida (VAN KRANENDONK *et al.*, 2008).

A formação dos estromatólitos é fascinante. Eles se formam a partir de sucessivos eventos de deposição de sedimentos sobre colônias de cianobactérias. Essas colônias formam “tapetes” pegajosos, devido à secreção de muco pelas cianobactérias, que aprisionam sedimentos em sua superfície. Com isso, uma camada de sedimento se forma sobre o “tapete” e a colônia cresce verticalmente, formando um novo tapete sobre essa recém-depositada camada de sedimentos. Esse processo se repete ao longo do tempo, e o resultado final é a formação de sucessivas camadas sedimentares sobrepostas: os estromatólitos. Outra possibilidade para a formação dos estromatólitos é que em vez dos grãos serem aprisionados pelo muco, a colônia de cianobactérias causa uma alteração química no seu entorno, que favorece a precipitação de carbonato de cálcio. Assim, ao longo do tempo formam-se camadas sucessivas de carbonato de cálcio.



Figura 13 – Estromatólitos convexos encontrados em rochas aflorantes na região cárstica de Pains. Foto: Jonathas S. Bittencourt.

8. ACHEI UM FÓSSIL. O QUE FAZER?

Aqui convém retomar a analogia do registro fóssil como uma história contada em um livro. Nesse livro, no entanto, não são apenas os fósseis que contam a história. Todo o entorno dos fósseis, como os sedimentos, ou se o depósito se formou dentro de uma caverna ou em uma paleolagoa são fundamentais para entendermos a história como um todo. O fato de os fósseis estarem articulados ou espalhados, fragmentados ou íntegros, entre outros aspectos, também traz informação fundamental para a plena compreensão da história registrada no depósito fossilífero. E como se não bastasse o fato desse livro ter perdido páginas, muitas vezes as páginas encontradas estão misturadas e sem numeração. Assim, para maximizarmos a compreensão da história, precisamos recuperar todo o espectro de informações que o registro fossilífero provê. Recuperar essa história ou compreender o limite do nosso entendimento sobre ela é fundamental para realizarmos de forma confiável muitas das análises e inferências da paleontologia (BENTON; HARPER, 2009).

Para podermos reunir o maior número de páginas e, assim, entender a história da forma mais acurada possível, é preciso realizar uma pesquisa científica minuciosa por equipe multidisciplinar. Portanto, caso você não seja um profissional qualificado para esse trabalho e encontre um fóssil, o procedimento a ser adotado é simples. Em primeiro lugar, para não comprometer a história registrada no depósito fossilífero, não se deve encostar em absolutamente nada. Quando se encosta em um fóssil sem os devidos cuidados, é como se estivéssemos rasgando páginas do livro e jogando-as fora. Em segundo lugar, tire fotos dos achados, preferencialmente com escala. Por último, procure entrar em contato o quanto antes com alguma instituição de pesquisa e/ou ensino que apresente algum profissional da área de paleontologia e que seja, preferencialmente, próxima ao local dos achados. Exemplos dessas instituições são universidades públicas e museus. O quanto antes se contatar um especialista para dar início aos procedimentos de estudo dos fósseis, melhor. A região cárstica de Pains protagoniza um exemplo do porquê isso é importante. Em levantamento espeleológico para uma empresa de mineração, foram encontrados fósseis de preguiça terrestre. No entanto, a demora em todo o processo até conseguir permissão para escavá-los culminou na impossibilidade de localizar a caverna posteriormente (MORATO; BAPTISTA; FARIA, 2003), ou seja, a não ser que esses fósseis sejam encontrados novamente, ocorreu a perda de muitas páginas do livro sobre os raros fósseis da região.

9. CONCLUSÕES

A região cárstica de Pains tem o maior número catalogado de cavernas em rochas carbonáticas do Brasil. Curiosamente, ela registra baixíssima ocorrência de fósseis Quaternário. Essa raridade nos fósseis da região é merecedora de mais estudos já que em cavernas formadas nas mesmas rochas, mas na região cárstica de Lagoa Santa, os fósseis são abundantes. Apesar disso, ela se destaca no cenário paleontológico brasileiro pelo achado do crânio adulto de mastodonte mais completo do Brasil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço o convite dos editores Luís B. Piló e Jocy Cruz. Não teria escrito este capítulo não fosse a generosa contribuição de Dimila Mothé sobre os mastodontes brasileiros e de André Gomide Vasconcelos

sobre a paleontologia do Quaternário brasileiro e da região de Pains. Agradeço também a Mark Hubbe pelos desenhos, a Luciano Vilaboim, Jonathas S. Bittencourt, Pedro Henrique da Silva Assunção, Luís B. Piló e Ataliba Coelho pelas fotos utilizadas no capítulo, a Flávio Scalabrini Sena por disponibilizar a planta baixa da Loca do Angá e a Castor Cartelle e Luciano Vilaboim pelo acesso à coleção paleontológica do Museu de Ciências Naturais da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais e pela assessoria com os fósseis de Pains. Por último, o texto foi substancialmente melhorado em função das leituras de versões prévias feitas por André Gomide Vasconcelos, Olívia Mendonça-Furtado e os editores.

REFERÊNCIAS

ALBERDI, M. T.; PRADO, J. L.; CARTELLE, C. El Registro de Stegomastodon (Mammalia, Gomphotheriidae) en el Pleistoceno Superior de Brasil. **Revista Española de Paleontología**, v. 17, n. 2, p. 217-235, 2002.

ALROY, J.; KOCH, P. L.; ZACHOS, J. C. Global climate change and North American mammalian evolution. **Paleobiology**, v. 26, n. sp4, p. 259-288, 2000.

AULER, A. S. *et al.* U-series dating and taphonomy of Quaternary vertebrates from Brazilian caves. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 240, n. 3-4, p. 508-522, 2006.

BARGO, M. S.; TOLEDO, N.; VIZCAINO, S. F. Muzzle of South American Pleistocene ground sloths (Xenarthra, Tardigrada). **Journal of Morphology**, v. 267, n. 2, p. 248-263, fev. 2006.

BARGO, M. S.; VIZCAINO, S. F. Paleobiology of Pleistocene ground sloth (Xenarthra, Tardigrada): biomechanics, morphogeometry and ecomorphology applied to the masticatory apparatus. **Ameghiniana**, v. 45, n. 1, p. 175-196, 2008.

BARNOSKY, A. D. *et al.* Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? **Nature**, v. 471, n. 7336, p. 51-57, 3 mar. 2011.

BARNOSKY, A. D.; LINDSEY, E. L. Timing of Quaternary megafaunal extinction in South America in relation to human arrival and climate change. **Quaternary International**, v. 217, n. 1-2, p. 10-29, 2010.

BENTON, M. J.; HARPER, D. A. T. **Introduction to Paleobiology and the Fossil Record**. Chichester: Wiley-Blackwell, 2009.

BININDA-EMONDS, O. R. P. *et al.* The delayed rise of present-day mammals. **Nature**, v. 446, n. 7135, p. 507-512, 29 mar. 2007.

BITTENCOURT, J. S. *et al.* O registro fóssil das coberturas sedimentares do cráton do São Francisco em Minas Gerais. **Geonomos**, 31 dez. 2015.

BOCHERENS, H. *et al.* Paleobiology of sabretooth cat *Smilodon populator* in the Pampean Region (Buenos Aires Province, Argentina) around the Last Glacial Maximum: insights from carbon and nitrogen stable isotopes in bone collagen. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 449, p. 463-474, maio 2016.

BUCKLEY, M. Ancient collagen reveals evolutionary history of the endemic South American 'ungulates'. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 282, n. 1806, p. 20142671, 7 maio 2015.

CANTO, J. *et al.* The aquatic sloth *Thalassocnus* (Mammalia, Xenarthra) from the late Miocene of north-central Chile: biogeographic and ecological implications. **Journal of Vertebrate Paleontology**, v. 28, n. 3, p. 918-922, 2008.

CARLINI, A. A.; SCILLATO-VANE, G. J. The oldest Megalonychidae (Xenarthra: Tardigrada); phylogenetic relationships and an emended diagnosis of the family. **Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen**, p. 423-443, 2004.

CARTELLE, C. Pleistocene mammals of the Cerrado and Caatinga of Brazil. In: EISENBERG, J. F.; REDFORD, K. H. (Ed.). **Mammals of the Neotropics – The Central Neotropics**. Chicago: University of Chicago Press, 1999. p. 27-46.

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

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

CARTELLE, C. Cave Paleontology in the Lagoa Santa Karst. In: S. AULER, A.; PESSOA, P. (Ed.). **Lagoa Santa Karst**: Brazil's iconic karst region. Cave and Karst Systems of the World. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 209-225.

CARTELLE, C.; BOHORQUEZ, G. A. *Eremotherium laurillardii* Lund, 1842: Parte I. Determinação específica e dimorfismo sexual. **Iheringia**, v. 7, p. 45-63, 1982.

CARTELLE, C.; IULIIS, G.; FERREIRA, R. L. Systematic revision of tropical Brazilian Scelidotheriine sloths (Xenarthra, Mylodontoidea). **Journal of Vertebrate Paleontology**, v. 29, p. 555-566, 2009.

CHRISTIANSEN, P.; HARRIS, J. M. Body Size of *Smilodon* (Mammalia: Felidae). **Journal of Morphology**, v. 266, p. 369-384, 2005.

CUVIER, G. Notice sur le squelette d'une très-grande espèce de quadrupède inconnue jusqu'à présent, trouvé au Paraguay, et déposé au cabinet d'histoire naturelle de Madrid. **Magasin Encyclopédique**, v. 1, p. 303-310, 1796a.

CUVIER, G. Memoire sur les espèces d'elephans tant vivantes que fossiles. **Magasin Encyclopédique**, v. 3, n. 440-445, 1796b.

DARWIN, C. R. **On the origin of the species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life**. London: John Murray, 1859.

DOUGHTY, C. E.; WOLF, A.; FIELD, C. B. Biophysical feedbacks between the Pleistocene megafauna extinction and climate: the first human-induced global warming? *Biophysical Feedbacks of Extinctions*. **Geophysical Research Letters**, v. 37, n. 15, p. n/a-n/a, ago. 2010.

ESCHWEGE, W. L. **Pluto brasiliensis**. Senado Federal, Conselho Editorial, Brasília, 2011.

FARINA, R. A.; BLANCO, R. E. Megatherium, the stabber. **Proceedings of the Royal Society of London**, v. 263, p. 1725-1729, 1996.

FOOTE, M. Symmetric waxing and waning of marine invertebrate genera. **Paleobiology**, v. 33, n. 4, p. 517-529, 2007.

GALETTI, M. *et al.* Ecological and evolutionary legacy of megafauna extinctions. **Biological Reviews**, v. 93, n. 2, p. 845-862, 2017.

GRAYSON, D. K. **Nineteenth-century explanations of Pleistocene extinctions**: a review and analysis. [s.l: s.n.].

GUIMARÃES JÚNIOR, P. R.; GALETTI, M.; JORDANO, P. Seed Dispersal Anachronisms: rethinking the fruits extinct megafauna ate. **Plos One**, v. 3, n. 3, p. e1745, 3 maio 2008.

HADDAD-MARTIM, P. M. *et al.* Quaternary depositional facies in cave entrances and their relation to landscape evolution: the example of Cuvieri Cave, eastern Brazil. **Catena**, v. 157, p. 372-387, out. 2017.

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

HUBBE, A.; HUBBE, M.; NEVES, W. A. The Brazilian megamastofauna of the Pleistocene/Holocene transition and its relationship with the early human settlement of the continent. **Earth-Science Reviews**, v. 118, p. 1-10, 2013.

IULIIS, G.; PUJOS, F.; CARTELLE, C. A new ground sloth (Mammalia: Xenarthra) from the Quaternary of Brazil. **Comptes Rendus Palevol**, v. 8, n. 8, p. 705-715, 2009.

KIDWELL, S. M.; FLESSA, K. W. The quality of the fossil record: populations, species, and communities. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 24, n. 1, p. 433-464, 1996.

KIPNIS, R. Early hunter-gatherers in the Americas: perspectives from central Brazil. **Antiquity**, v. 72, n. 277, p. 581-592, set. 1998.

KOCH, P. L.; BARNOSKY, A. D. Late Quaternary Extinctions: state of the debate. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 37, n. 1, p. 215-250, dez. 2006.

LARRAMENDI, A. Proboscideans: shoulder height, body mass and shape. **Acta Palaeontologica Polonica**, 2015.

LIOW, L. H. *et al.* Higher origination and extinction rates in larger mammals. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 16, p. 6097-6102, 22 abr. 2008.

LIOW, L. H.; STENSETH, N. C. The rise and fall of species: implications for macroevolutionary and macroecological studies. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 274, n. 1626, p. 2745-2752, 7 nov. 2007.

LOPES, R. P. *et al.* Late middle to late Pleistocene paleoecology and paleoenvironments in the coastal plain of Rio Grande do Sul State, Southern Brazil, from stable isotopes in fossils of *Toxodon* and *Stegomastodon*. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 369, p. 385-394, 2013.

LOPES, R. P. *et al.* *Megaichnus* igen. nov.: giant paleoburrows attributed to extinct cenozoic mammals from South America. **Ichnos**, v. 24, n. 2, p. 133-145, 3 abr. 2017.

LOPES, R. P.; PEREIRA, J. C. On the presence of *Megatherium* Cuvier, 1796 (*Xenarthra*, *Pilosa*) in fossiliferous deposits of the Coastal Plain of Southern Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 22, n. 1, p. 38-52, 2019.

LORENZEN, E. D. *et al.* Species-specific responses of Late Quaternary megafauna to climate and humans. **Nature**, v. 479, n. 7373, p. 359-364, 2011.

LUNA FILHO, P. E. Peter Wilhelm Lund: o auge das suas investigações científicas e a razão para o término das suas pesquisas. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. 2007.

MACFADDEN, B. J. Diet and habitat of toxodont megaherbivores (Mammalia, Notoungulata) from the late Quaternary of South and Central America. **Quaternary Research**, v. 64, p. 113-124, 2005.

MANZUETTI, A. *et al.* First record of *Smilodon fatalis* Leidy, 1868 (Felidae, Machairodontinae) in the extra-Andean region of South America (late Pleistocene, Sopas Formation), Uruguay: taxonomic and paleobiogeographic implications. **Quaternary Science Reviews**, v. 180, p. 57-62, 15 jan. 2018.

MARSHALL, L. G. *et al.* **Mammals and stratigraphy**: geochronology of the continental mammal-bearing Quaternary of South America. [s.l.] Laboratoire de paléontologie des vertébrés de l'Ecole pratique des hautes études, 1984.

MAYER, E. L. *et al.* Reassessment of a large extinct species of *Cuniculus* Brisson, 1762 (Rodentia: Caviomorpha) from the Quaternary of Brazil: taxonomic, biogeographic and taphonomic remarks. **Acta Palaeontologica Polonica**, v. 61, n. 4, p. 743-758, 2016.

MAYER, E. L. *et al.* The dominance of an extant gregarious taxon in an attritional accumulation: taphonomy and palaeoecological implications. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 505, p. 73-85, 15 set. 2018.

MELO FRANÇA, L. *et al.* Review of feeding ecology data of Late Pleistocene mammalian herbivores from South America and discussions on niche differentiation. **Earth-Science Reviews**, v. 140, p. 158-165, 2015.

MORATO, L.; BAPTISTA, M. C.; FARIA, L. E. A ocorrência de *Nothrotherium* (Mammalia: Edentata) em Pains (MG): um fóssil perdido pela burocracia? **Paleontologia em Destaque**, v. 44, p. 56, 2003.

MORATO, L.; SENA, F. S. De volta a Éden: ocorrência de Didelphidae em caverna do município de Pains (Minas Gerais). **Paleontologia em Destaque**, v. 62, 2009.

MOTHÉ, D. *et al.* Sixty years after 'The mastodonts of Brazil': the state of the art of South American proboscideans (Proboscidea, Gomphotheriidae). **Quaternary International**. Quaternary Proboscideans: Papers in Memory of Larry D. Agenbroad. v. 443, p. 52-64, 2 jul. 2017.

MOTHÉ, D.; AVILLA, L. S.; COZZUOL, M. A. The south American gomphotheres (Mammalia, Proboscidea, Gomphotheriidae): taxonomy, phylogeny, and biogeography. **Journal of Mammalian Evolution**, v. 20, n. 1, p. 23-32, 2013.

MOTHÉ, D.; AVILLA, L. S.; WINCK, G. R. Population structure of the gomphothere *Stegomastodon waringi* (Mammalia: Proboscidea: Gomphotheriidae) from the Pleistocene of Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 82, n. 4, p. 983-996, dez. 2010.

MUIZON, C. D. *et al.* The evolution of feeding adaptations of the aquatic sloth *Thalassocnus*. **Journal of Vertebrate Paleontology**, v. 24, n. 2, p. 398-410, 11 jun. 2004.

PAGLIA, A. P. *et al.* Lista Anotada dos Mamíferos do Brasil. 2. ed. Annotated Checklist of Brazilian Mammals. **Occasional papers in conservation biology**, v. 6, p. 1-82, 2012.

PAIJMANS, J. L. A. *et al.* Evolutionary History of Saber-Toothed Cats Based on Ancient Mitogenomics. **Current Biology**, v. 27, n. 21, p. 3330-3336.e5, 6 nov. 2017.

PAULA COUTO, C. **Paleontologia Brasileira**: mamíferos. Rio de Janeiro: Instituto Nacional do Livro, 1953.

PAULA COUTO, C. **Tratado de Paleomastozoologia**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1979.

PUJOS, F. *Megatherium celendinense* sp. nov. from the Pleistocene of the Peruvian Andes and the phylogenetic relationships of megatheriines. **Palaeontology**, v. 49, n. 2, p. 285-306, 2006.

SIMPSON, G. G. **Splendid isolation**: the curious history of South American mammals. [s.l.: s.n.].

SIMPSON, G. G.; PAULA COUTO, C. The mastodonts of Brazil. **Bulletin of the AMNH**, v. 112, article 2. 1957.

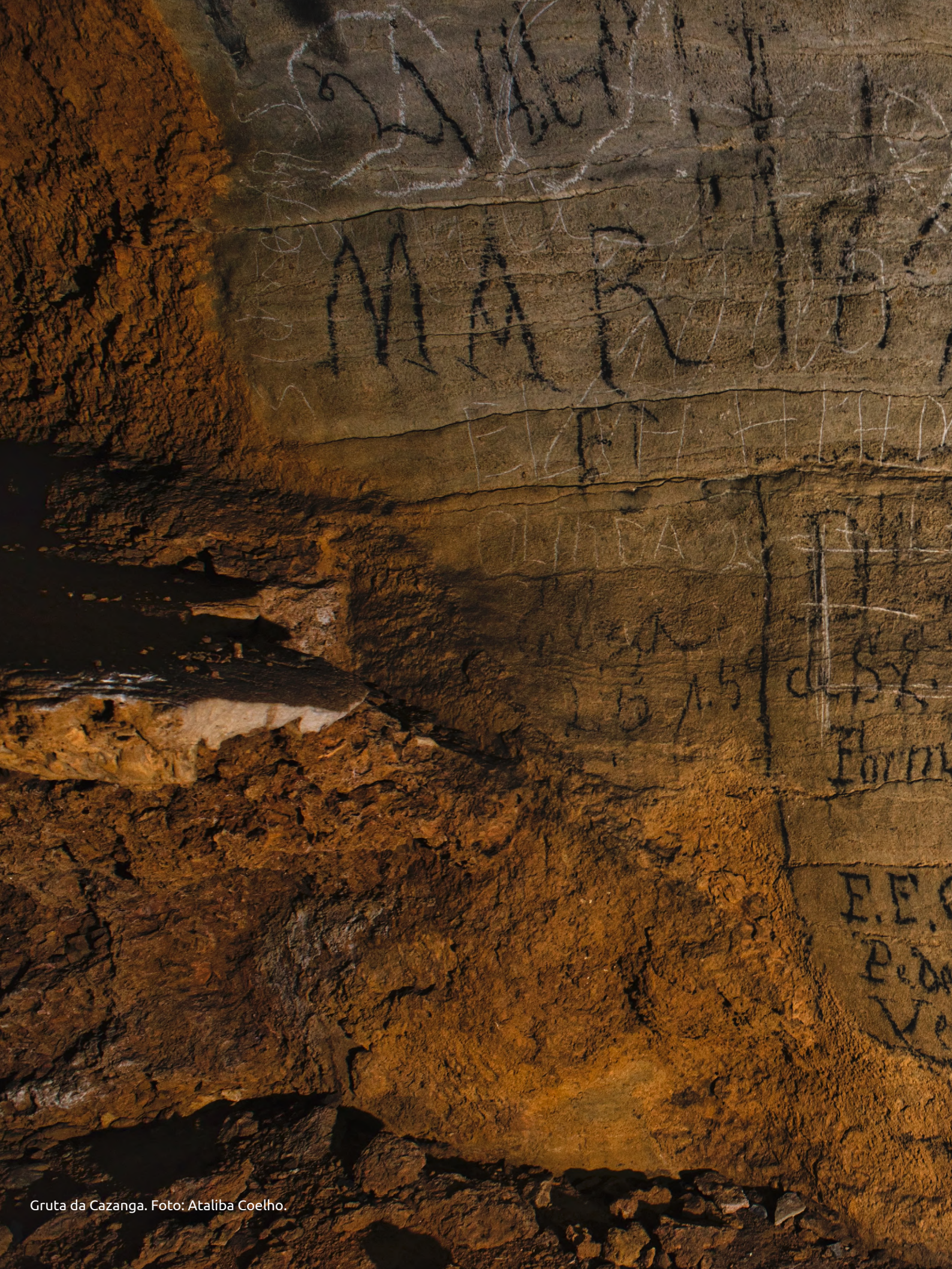
TRAJANO, E.; VIVO, M. *Desmodus draculae* Morgan, Linares, and Ray, 1988, reported for southeastern Brasil, with paleoecological comments (Phyllostomidae, Desmodontinae). **Mammalia (Paris)**, v. 55, n. 3, p. 456-459, 1991.

VAN KRANENDONK, M. J. *et al.* Geological setting of Earth's oldest fossils in the ca. 3.5 Ga Dresser Formation, Pilbara Craton, Western Australia. **Precambrian Research**, v. 167, n. 1-2, p. 93-124, 2008.

VASCONCELOS, A. G. *et al.* Stromatolites in Caves in Southeastern Brazil and their Importance to Geoconservation. **Geoheritage**, v. 12, n. 48, 2020.

WELKER, F. *et al.* Ancient proteins resolve the evolutionary history of Darwin's South American ungulates. **Nature**, v. 522, n. 7554, p. 81-84, jun. 2015.

WOODBURNE, M. O. The Great American Biotic Interchange: dispersals, tectonics, climate, sea level and holding pens. **Journal of Mammalian Evolution**, v. 17, n. 4, p. 245-264, 1 dez. 2010.



CAPÍTULO 9

IMPACTOS AMBIENTAIS, VULNERABILIDADE E AÇÕES DE CONSERVAÇÃO NA REGIÃO CÁRSTICA DE PAINS

PAULO GALVÃO
FELIPE COSTA

1. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO CÁRSTICA DE PAINS

A região cárstica de Pains está localizada a cerca de 210 km de Belo Horizonte, Minas Gerais, englobando todo o município de Pains e parte dos municípios de Arcos, Córrego Fundo, Formiga, Pimenta, Piumhi, Doresópolis e Iguatama. Nessa região estão as importantes bacias do Rio São Miguel, de aproximadamente 530 km², e do Ribeirão dos Patos, com cerca de 525 km², localizadas nas cabeceiras do Rio São Francisco (Figura 1).

Geologicamente, a região cárstica de Pains localiza-se regionalmente na porção sudoeste do cráton do São Francisco, dentro da Bacia Sedimentar do São Francisco (ALMEIDA, 1977). Pontualmente, na parte nordeste da área, são observados granitoides granodioríticos a monzogranitos arqueanos típicos do embasamento cristalino. Na região sudoeste, geralmente sobre o embasamento, são encontrados conglomerados, pelitos e arenitos da Formação Samburá, interpretados como depósitos de leque subaquático relacionados à erosão neoproterozoica da frente alóctone da Faixa Brasília. Na parte mais central, e de ocorrência majoritária, estão os calcários neoproterozoicos da Formação Sete Lagoas (Grupo Bambuí), enquanto às margens dos principais leitos dos rios e em áreas topograficamente mais baixas, estão os sedimentos inconsolidados cenozoicos, compostos por depósitos fluviais e coluviais (DARDENNE, 1978; FÉLIX; FREITAS JÚNIOR, 2000; SAADI *et al.*, 1991). A Formação Sete Lagoas é dividida em dois membros (RIBEIRO, TULLER, DANDERFER, 2003): Pedro Leopoldo, na base, composto por calcários claros impuros, intercalados com calcisiltitos, margas e pelitos; e Lagoa Santa, superior, caracterizado por calcários escuros puros e dolomitos, médios a finos, sendo essas as rochas mais amplamente distribuídas na região (Figura 1).

Climatologicamente, a região é caracterizada como Tropical do Brasil Central (IBGE, 2002), segundo a classificação de Köppen (1931), marcada por duas estações bem definidas: verões chuvosos e quentes e invernos secos. A precipitação média anual é de 1.325 mm. Esse tipo climático é definido como Cwa (ou mesotérmico), com temperaturas máximas acima de 22°C e mínimas abaixo de 18°C (MARTINS, 2013). A umidade média anual varia entre 75% e 80%, sendo registradas nos meses de janeiro a dezembro variações entre 80% e 85% e, de agosto a setembro, valores entre 60% e 70% (INMET, 2017; MENEGASSE; GONÇALVES; FANTINEL, 2002).

A geomorfologia local é caracterizada por extensos maciços de calcário com estruturas em forma de karren e relevos ruiformes, sendo comuns cursos de água intermitentes, surgências e ressurgências, dolinas e sumidouros, uvalas, poljes e várias cavernas (SAADI, 1991; SEE, 2012). As águas superficiais distribuem-se em uma rede hidrográfica pouco densa, principalmente onde aflora o Membro Lagoa Santa, ocorrendo infiltração direta nas fissuras dos calcários e através de feições exocársticas, como sumidouros, dolinas, etc. No centro da região está o Rio São Miguel, que atravessa a cidade de Pains, fluindo por 53 km na direção norte-sul, até o encontro com o Rio São Francisco (PMSB, 2015). Ressalta-se que boa parte da vegetação nativa já foi suprimida, sendo substituída por pastagem, agricultura e, em menor grau, por atividades de mineração e ocupação urbana. Porções remanescentes da área são ocupadas por maciços de calcário, plantações de eucalipto e solos expostos. As porcentagens desses tipos de uso e ocupação da região serão mais bem discutidas a seguir.

Todas essas características resultam em um cenário hidrogeológico heterogêneo, típico de regiões fissurais-cársticas, categorizado em três diferentes aquíferos: 1) fissural, correspondente ao embasamento cristalino, de menor importância na região, onde o escoamento subterrâneo ocorre através de discontinuidades, como falhas e fraturas; 2) granular, composto por sedimentos inconsolidados cenozoicos ao longo de cursos de água, planícies de inundação e terraços. É esse tipo de aquífero que abastece comumente povoados menores e residências da zona rural (DIAS; VELÁSQUES, 2002); e 3) cárstico, que recobre cerca

de 80% da região, composto por rochas calcárias da Formação Sete Lagoas que passaram por processos de dissolução cárstica, cuja percolação de água em descontinuidades na rocha (falhas, fraturas, planos de acamamento) gerou condutos com importante capacidade de reservar água subterrânea (DIAS; VELÁSQUES, 2002). Os maiores valores de condutividades hidráulicas (K) e permeabilidades (k) desse aquífero cárstico estão nas zonas mais superficiais, onde os calcários são mais alterados (zona epicárstica) devido à ação de intempéries climáticas e erosões mecânicas, diminuindo exponencialmente com a profundidade. Devido a essas características, esse é considerado o principal aquífero que abastece as cidades da região.

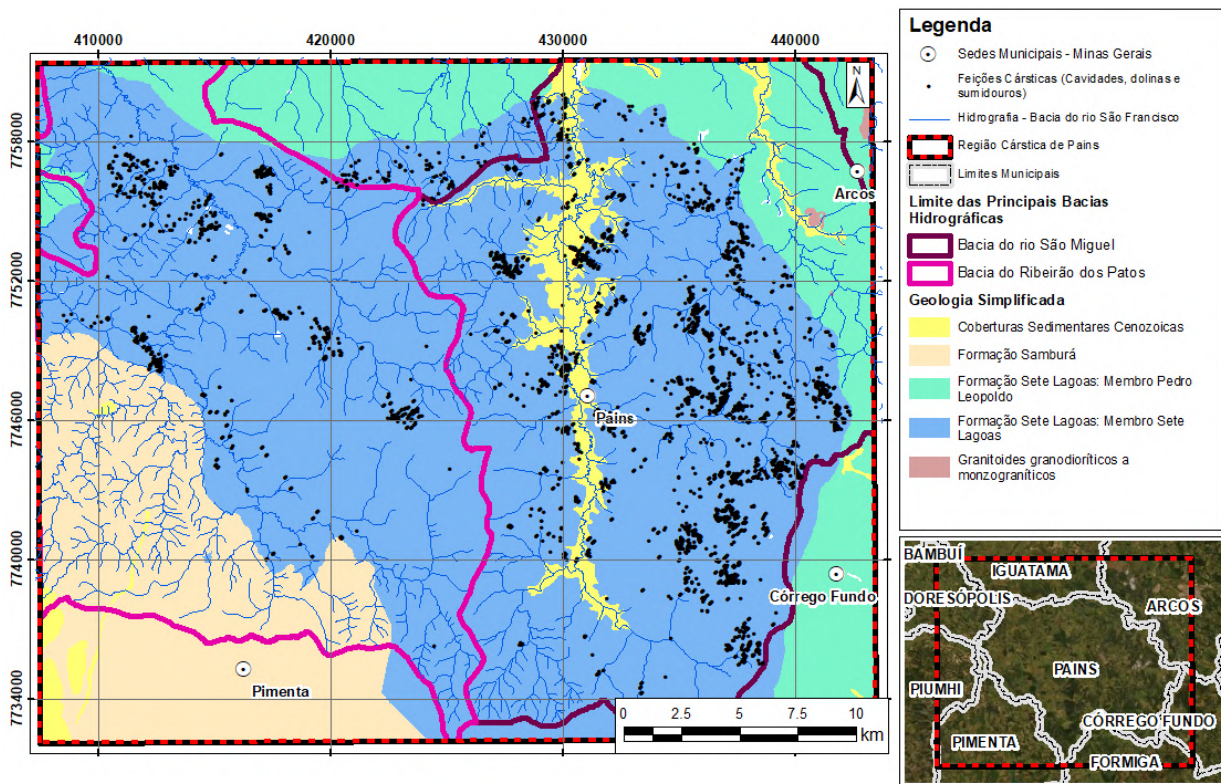


Figura 1. Localização e características gerais da região cárstica de Pains.

2. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O uso e ocupação do solo representa uma área específica da superfície destinada a uma determinada finalidade, seja ela para uso antrópico (agropecuária, urbanização, mineração), ou natural (lagoas, vegetação nativa, afloramentos rochosos). Usualmente, o uso e ocupação do solo é avaliado a partir de imagens de satélite seguido da validação da informação por meio de trabalhos de campo e revisões de referências bibliográficas.

Para a região cárstica de Pains, o método selecionado para definição desse parâmetro foi a classificação supervisionada de imagens de satélite do tipo Landsat 8 OLI, de julho de 2013 a agosto de 2020, seguida da análise e interpretação dos resultados e validação em campo realizado em 2020. A análise da evolução histórica e sazonal das áreas antropizadas e das áreas naturais foi realizada em duas etapas:

- Evolução das fronteiras agrícolas, urbanização e empreendimentos minerários de 2013 a 2020, utilizando como base o final do período seco (julho e agosto), reduzindo a influência da sazonalidade, principalmente na vegetação;
- Sazonalidade da vegetação, utilizando a variação da vegetação ao longo do ano entre 2018 e 2020, identificando as zonas de mata seca, matas ciliares, pastagem, cultivo e afins.

Após a análise, verificou-se uma redução de quase 40% nas áreas de vegetação entre 2013 e 2020, com um aumento praticamente equivalente das áreas de vegetação rasteira/pasto e de cultivo/solo exposto, sendo um forte indício de que essas áreas estejam relacionadas com o avanço da fronteira agrícola e atividades antrópicas.

Ademais, há uma redução entre os períodos seco e chuvoso de 30% a 50% da vegetação densa e de 45% a 60% da vegetação rasteira/pasto, enquanto as áreas de cultivo/solo exposto apresentaram aumentos da ordem de 60% a 80% e os afloramentos rochosos de 20% a 65%. Essa diferença foi atribuída majoritariamente à natureza da mata seca na região, caracterizada por uma grande influência sazonal, com o desenvolvimento do dossel durante o período chuvoso e respectiva perda de biomassa foliar na estação seca. As demais variáveis de uso do solo neste período (2013 a 2020) não apresentaram diferenças significativas, tanto do ponto de vista sazonal quanto do de evolução histórica.

Considerando apenas o ano de 2020, as principais classes de uso do solo na região são representadas majoritariamente pela agropecuária (vegetação rasteira/pasto e áreas de cultivo/solo exposto) e silvicultura, com cerca de 65%, seguida pela mata seca, com aproximadamente 20%, entre sua presença em rocha e em solo. Destaca-se, ainda, que, embora a região seja conhecida pelas atividades mineiras, esses empreendimentos representam um valor inferior a 1% da área total avaliada (Figura 2).

Vale ressaltar que, embora a agropecuária e a silvicultura ocupem cerca de 65% da área, essas atividades representam apenas 11% do PIB proporcional à área ocupada dos municípios dentro da região cárstica de Pains (IBGE, 2017). Entre as plantações com maiores produção e rendimento, destacam-se as lavouras permanentes de café e as temporárias de milho, soja, cana-de-açúcar, tomate e feijão. A principal atividade pecuária das maiores propriedades rurais é a criação de bovinos para as produções de carne e leite, geralmente relacionadas a pequenos e médios produtores rurais.

Já o setor industrial constitui cerca de 16% do PIB proporcional à área ocupada dos municípios dentro da região cárstica de Pains (IBGE, 2017). Dessa fatia do mercado, é natural atribuir grande parcela aos setores de extração mineral e industrial relacionados ao calcário, visto a presença de diversas mineadoras, dentro dos limites da bacia, que extraem as rochas carbonáticas (calcário e dolomito) utilizadas principalmente para o emprego direto na construção civil, indústria de produção de cimento e cal (calcinação), e uso agrícola para correção química do solo. Os empreendimentos possuem portes médio e grande, com destaque para as empresas Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) e Belocal, em Arcos, e a Gecal, Ducal e Ical, em Pains.

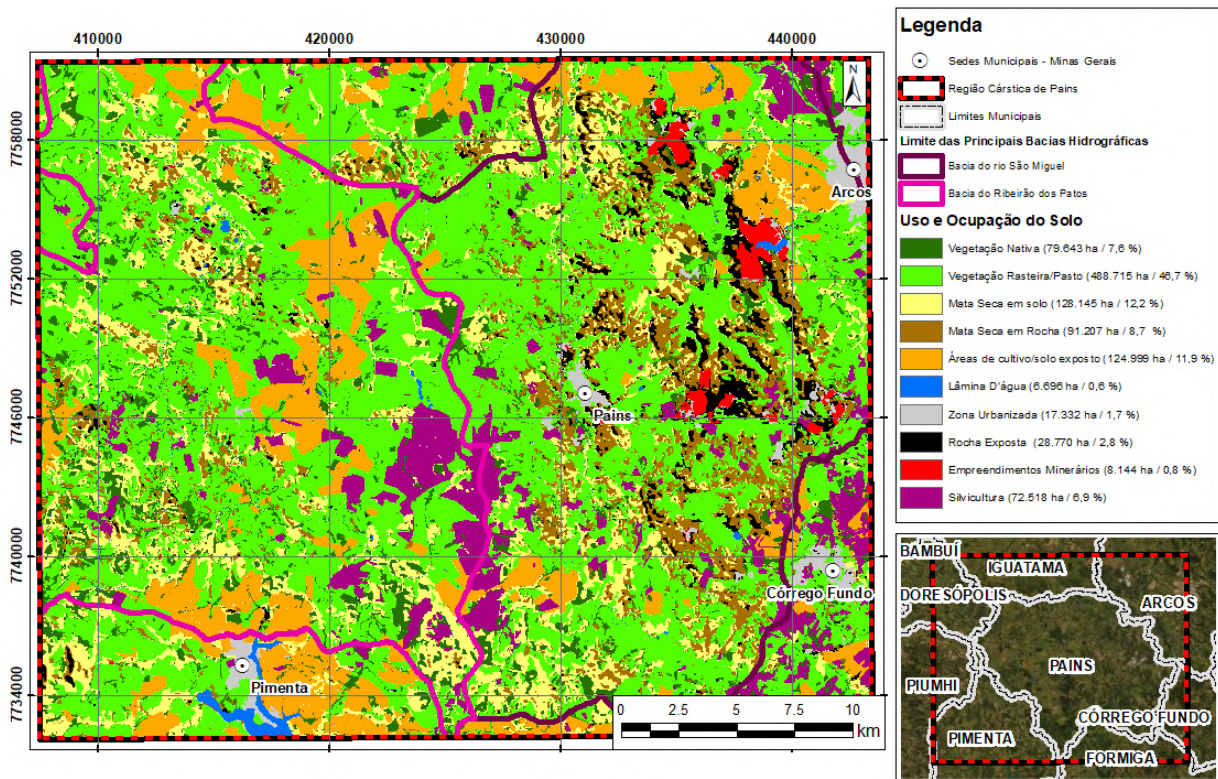


Figura 2. Distribuição espacial do uso e ocupação após análise histórica e sazonal dos dados e localização dos principais empreendimentos.

3. VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO

O termo “vulnerabilidade”, na hidrogeologia ou geologia ambiental, pode ser conceitualmente resumido como a característica intrínseca/natural de uma determinada unidade geológica relacionada ao potencial de ela ser contaminada por fontes externas, usualmente superficiais, relacionadas direta e, principalmente, a fatores geológicos, hidrogeológicos e/ou geomorfológicos. Os fatores podem ser a quantidade e conexão de descontinuidades no aquífero (falhas/fraturas, planos de acamamentos, condutos cársticos), o tipo de solo (quanto mais argiloso o solo, maior a retenção do contaminante), a profundidade do nível freático (quanto mais profunda a zona saturada do aquífero, maior será a chance do contaminante ser biodegradado na zona não saturada), a inclinação do relevo (quanto maior o declive, maior a velocidade do escoamento superficial, diminuindo as chances de infiltração do contaminante), entre outros.

Em outras palavras, o termo “vulnerabilidade natural à contaminação” tem o sentido oposto ao termo “proteção natural à contaminação” de um aquífero/solo. Ambos podem ser utilizados, independentemente da quantidade ou tipo do contaminante, pois trata-se de uma característica essencialmente fixada para o meio em condições naturais (FOSTER; HIRATA, 1988). Todavia, saber a quantidade e o tipo do contaminante, sua toxicidade e persistência no meio, e onde ele está locado, é de suma importância, pois o risco de contaminação aumenta, ampliando a probabilidade de o contaminante interagir com as áreas mais vulneráveis do aquífero/solo (GOERL; KOBIYAMA; PELLERIN, 2012).

No caso de regiões cársticas, como a de Pains, a preocupação deve ser maior, pois, no caso de aquíferos cársticos, eles tendem a ser mais vulneráveis, ou ter menor proteção natural à contaminação, em comparação a aquíferos fissurais e granulares. Ao contrário do aquífero fissural, que possui predominantemente água fluindo através de falhas/fraturas com aberturas muitas das vezes milimétricas, ou do aquífero granular, em que a água é reservada e transmitida nos espaços vazios entre os grãos, resultando em baixas velocidades de fluxo, nos aquíferos cársticos a água se movimenta majoritariamente em condutos que, muitas das vezes, não são preenchidos por materiais terrígenos, resultando em altas velocidades da água subterrânea. Assim, um contaminante em uma rede de condutos, além de alcançar maiores distâncias em um menor tempo, é pouco degradado ou retido por capilaridade, como seria nos aquíferos fissurais e granulares (FORD; WILLIAMS, 2007; GOLDSCHIEDER; DREW, 2007).

A região cárstica de Pains, pelo fato de o aquífero cárstico recobrir cerca de 80% de sua área, é naturalmente menos protegida, em sua maioria, de potenciais contaminações. A partir da análise feita por Pereira *et al.* (2019), que mapearam toda a bacia do Rio São Miguel, adaptando o método EPIK (DOERFLIGER; JEANNIN; ZWAHLEN, 1999) para características tropicais úmidas brasileiras, e complementadas aqui até a abrangência total da região cárstica de Pains, obteve-se a espacialização da vulnerabilidade aquífera local, apresentada na Figura 3, e comentada a seguir.

As áreas de baixa vulnerabilidade (indicadas em verde, na Figura 3) são resultados principalmente das ausências de feições cársticas (e.g. dolinas, sumidouros, entradas de cavernas) e de recargas/infiltrações de águas superficiais diretas, além de apresentar densa vegetação arbórea. Essas regiões representam cerca de 80% da área total, ou aproximadamente 850.000 ha. No caso das áreas de vulnerabilidade média (em amarelo), que perfazem cerca de 14%, ou 146.000 ha da área, estão no entorno de recargas/infiltrações diretas e de feições cársticas, com a presença de maciços muito fraturados devido à presença de lineamentos geológico-estruturais. As áreas de alta vulnerabilidade, que ocupam cerca de 6% da região, ou quase 61.000 ha, são caracterizadas pela presença de zonas epicársticas mais extensas (calcários mais intemperizados) e de redes cársticas bem desenvolvidas, principalmente onde há entradas de cavernas, sumidouros e dolinas.

As maiores concentrações de zonas de alta vulnerabilidade estão localizadas na parte leste da região cárstica de Pains. A título de exemplo, a porção urbana de Pains, devido à sua localização entre maciços calcários, feições cársticas e cavidades, apresenta algumas áreas de alta vulnerabilidade em seu entorno. Caso parecido ocorre com os empreendimentos minerários, indicados no mapa de uso e ocupação do solo (em vermelho, Figura 2), representando cerca de 1% da área total. Devido à concentração de recargas pontuais e de cavidades cársticas, esses empreendimentos estão inseridos em áreas de média a alta vulnerabilidades. As áreas de mata seca sobre rocha, cerca de 9% da região (em marrom, Figura 2), em sua maioria, se encontram nas mesmas condições de média a alta vulnerabilidades, pela presença de rocha aflorante.

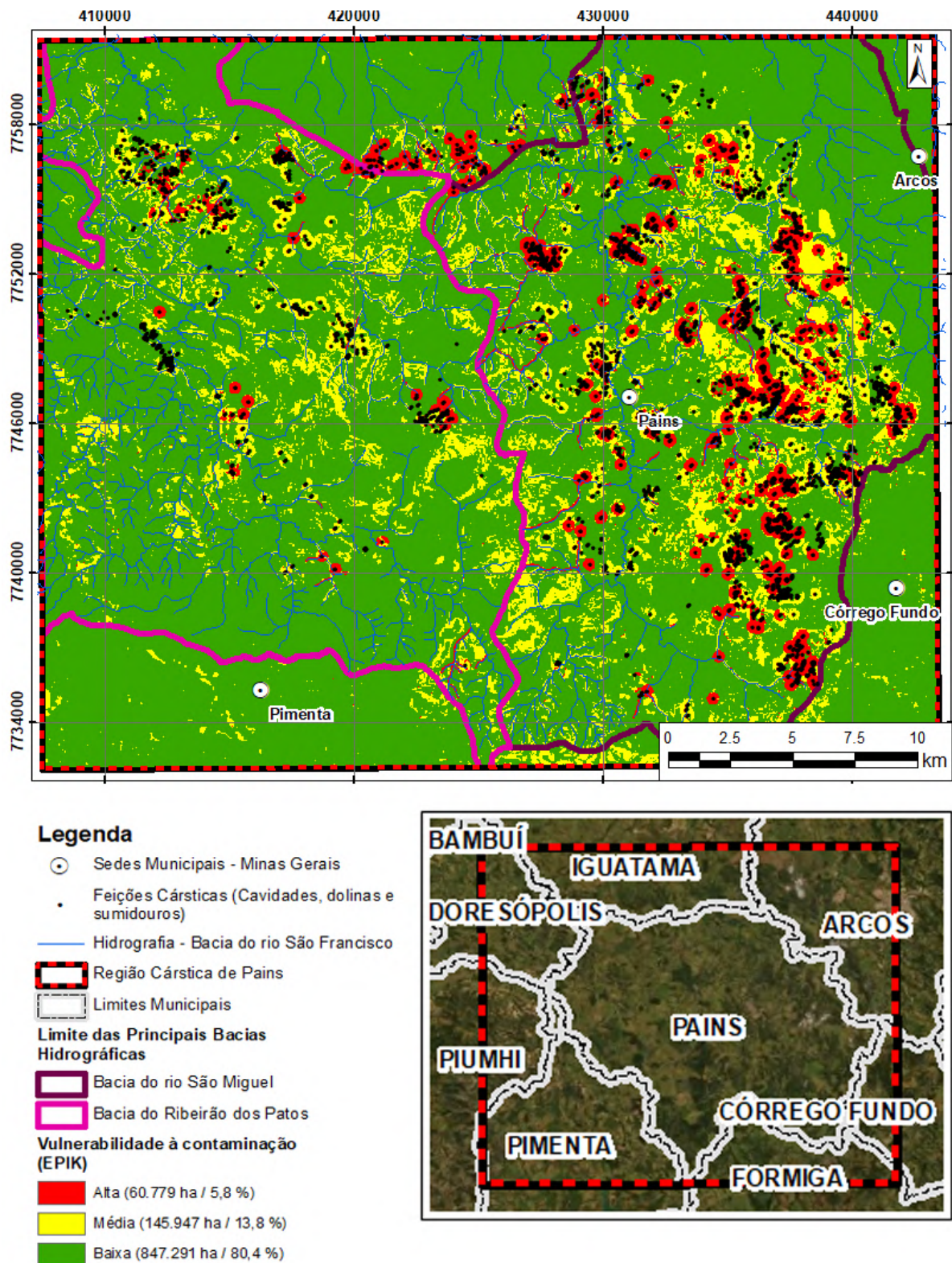


Figura 3. Mapa de vulnerabilidade cárstica natural à contaminação na região de Pains.

4. IMPACTOS AMBIENTAIS NA REGIÃO CÁRSTICA DE PAINS

As regiões cársticas, por suas características intrínsecas, contêm um ecossistema rico e variado, mas, em contrapartida, também são bastante vulneráveis, direta e indiretamente, às atividades antrópicas, como o desmatamento para a produção agropecuária, ocupações urbanas, uso excessivo de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, atividades minerárias, entre outras (GOLDSCHIEDER; DREW, 2007). Outra questão são os solos em regiões cársticas, pois são extremamente vulneráveis à erosão, principalmente quando associados à produção agrícola (FEESER; O'CONNELL, 2009; XU *et al.*, 2011; YANG *et al.*, 2010). A Figura 4 apresenta a interconexão das atividades antrópicas com os principais impactos diretos e indiretos em ecossistemas cársticos. Como é observado no diagrama, as relações entre as atividades antrópicas e os impactos diretos e indiretos no ecossistema cárstico são bastante complexas, necessitando de um entendimento holístico de todas as relações para uma melhor compreensão e dimensionamento dos impactos desse ecossistema.

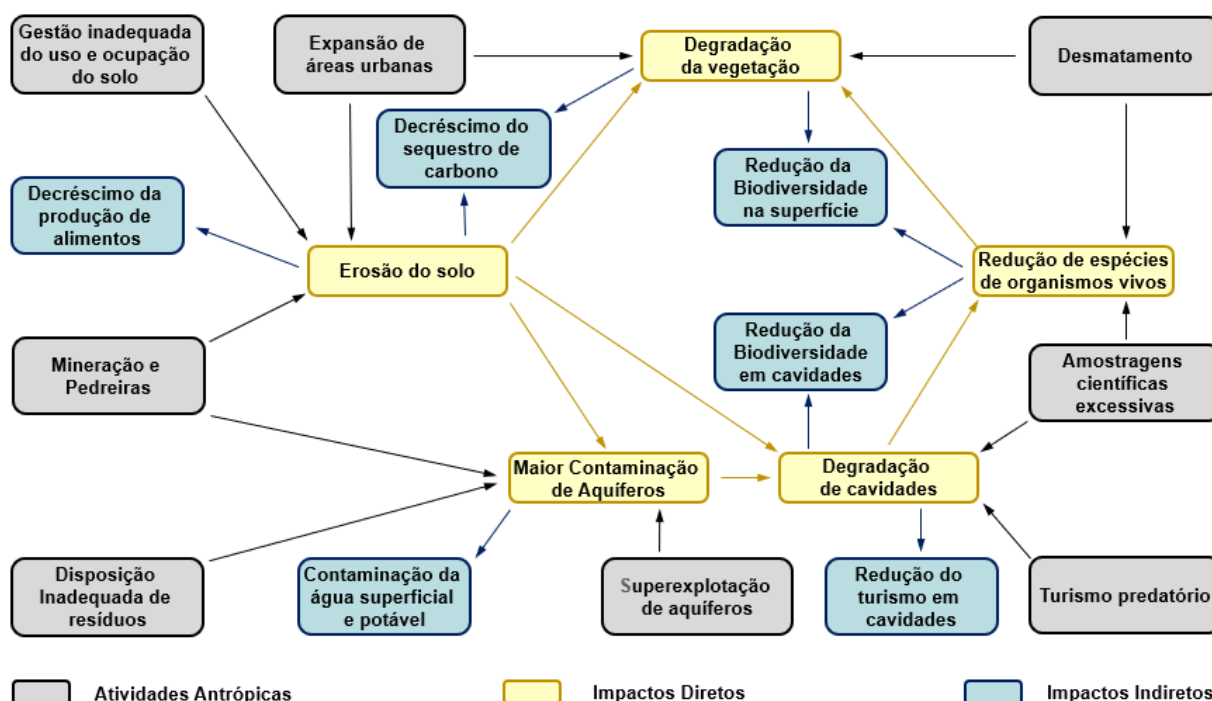


Figura 4. Diagrama ilustrativo da interconexão das atividades antrópicas com os principais impactos diretos e indiretos em ecossistemas cársticos. Fonte: Adaptado de Forti, 2015.

4.1 POTENCIAL POLUIDOR

Na busca de um maior entendimento dos impactos das atividades antrópicas na região cárstica de Pains, adotou-se o potencial poluidor previsto pela Deliberação Normativa Copam 217/2017 para as principais atividades da região (Tabela 1). Tal índice, embora ainda limitado em relação à complexidade da interconexão dos impactos em ecossistemas cársticos, pode ser um bom indicativo das atividades antrópicas mais críticas presentes na área.

Em termos gerais, a referida norma estabelece critérios para classificação, segundo o porte do empreendimento e seu potencial poluidor, bem como critérios locais a serem utilizados para definir as modalidades

de licenciamento ambiental de empreendimentos utilizadores de recursos ambientais em Minas Gerais. Tanto o potencial poluidor como o porte do empreendimento podem ser classificados como pequeno (P), médio (M) ou grande (G), de acordo com parâmetros preestabelecidos na norma, conforme lista de atividades.

A partir desses dados, verifica-se que, em geral, as principais atividades desenvolvidas na região possuem um potencial poluidor geral médio, com exceção das atividades industriais de fabricação de cimento, que possuem potencial poluidor geral grande. A seguir, os impactos ambientais são explorados de forma mais detalhada, subdividindo-os entre impactos na atmosfera, no solo, e nas águas superficiais e subterrâneas.

Tabela 1. Classificação do potencial poluidor para as principais atividades presentes e desenvolvidas na área. Fonte: DN Copam 217/2017.

Atividade	Potencial Poluidor ¹			
	Ar	Água	Solo	Geral
Parcelamento do solo				
• Loteamento do solo urbano, exceto distritos industriais e similares	P	M	G	M
• Distrito industrial e zona estritamente industrial	M	M	M	M
Atividades agrícolas e silviculturais				
• Culturas anuais, semiperenes e perenes, silvicultura e cultivos agrossilvipastoris, exceto horticultura	P	M	M	M
• Criação de bovinos, bubalinos, equinos, muares, ovinos e caprinos, em regime extensivo	M	M	G	M
Atividades Minerárias				
• Lavra a céu aberto – Minerais não metálicos, exceto rochas ornamentais e de revestimento	M	M	M	M
• Extração de rocha para produção de britas	M	M	M	M
Indústria de produtos minerais não metálicos				
• Britamento de pedras para construção	G	P	P	M
• Fabricação de cal virgem	G	M	P	M
• Fabricação de cimento	G	G	M	G

¹ Classificação do potencial poluidor entre Pequeno (P), Médio (M) e Grande (G).

4.1.1 Atmosfera

Acerca dos impactos atmosféricos, segundo a Deliberação Normativa Copam 217/2017, verifica-se que a classe do potencial poluidor para as principais atividades presentes e desenvolvidas na área distribui-se da seguinte forma:

- Os loteamentos urbanos, excetuando-se eventuais distritos industriais na área, apresentam potencial poluidor pequeno. Já os distritos industriais apresentam potencial médio;
- As atividades agrícolas e silviculturais realizadas na área variam de potencial pequeno (agricultura e silvicultura) a potencial médio (atividades pecuárias);

- As atividades minerárias da região (majoritariamente lavras a céu aberto de calcário e extração de rocha para produção de britas) são de potencial poluidor médio;
- As atividades relacionadas à indústria de produtos minerais não metálicos (com destaque para o britamento de pedras para construção, fabricação de cal virgem e cimento) são de potencial poluidor grande para o ar.

Destacam-se as atividades minerárias e industriais que emitem partículas suspensas no ar devido a atividades de lavra, beneficiamento e transporte, ou emissão de gases via queima de combustível (MECHI; SANCHES, 2010). Esse fato é observado constantemente em Pains, sendo comum a presença de resíduos de calcário no ar dentro do perímetro urbano do município, o que está associado à presença de muitas empresas de mineração e calcinação nos arredores da sede municipal, além da elevada circulação de veículos de transporte de material desagregado.

Devido a isso, são comuns caminhões-pipa sendo acionados quase que diariamente, principalmente nos períodos de pouca chuva e de baixa umidade do ar, para amenizar a poeira generalizada. Dados apresentados por Castro Leal (2010) apontam que as doenças mais comuns relacionadas ao trabalho em Pains são as respiratórias, como rinite alérgica, asma e bronquite, podendo ser um reflexo direto da qualidade local do ar.

Outro impacto na atmosfera gerado por subprodutos de atividades industriais e minerárias, e verificado na região, é a contaminação por cádmio (Cd). Esse poluente é geralmente associado a particulados de mineração, calcinação, atividades metalúrgicas e incineração de combustíveis, plásticos e pneus, sendo liberado na atmosfera (FÖRSTNER, 1989). O Cd pode contaminar solos, águas superficiais e subterrâneas, e, potencialmente, bioacumular em plantas e em seres vivos. Conforme apontam Lucon *et al.* (2020a), altas concentrações de Cd são observadas na bacia do Rio São Miguel, onde amostras de água de chuva indicaram, na parte norte da bacia, valores acima de 1 µg/L, superiores ao permitido pela Resolução nº 357 do Conama (BRASIL, 2005), indicando alta concentração desse elemento na atmosfera. Essas informações podem ser vistas com mais detalhe no Capítulo 2 deste livro, sobre “Águas Superficiais e Subterrâneas”.

Como o Cd, em alta ingestão humana, pode resultar em fibrose, cirrose, doenças coronarianas arteriais, necrose dos macrófagos alveolares e alterações neurocomportamentais (HALLENBECK, 1984), é importante o monitoramento qualitativo e quantitativo desse elemento na região.

4.1.2 Águas Superficiais e Subterrâneas

Acerca dos impactos nas águas superficiais e subterrâneas, segundo a Deliberação Normativa Copam 217/2017, as classes de potencial poluidor das águas para as principais atividades presentes e desenvolvidas na área distribuem-se da seguinte forma:

- Os loteamentos urbanos são classificados como de potencial poluidor médio;
- As atividades agrícolas e silviculturais são de potencial médio;
- As atividades minerárias (majoritariamente lavras a céu aberto de calcário e extração de rocha para produção de britas) são classificadas como de potencial médio;

- As atividades relacionadas à indústria de produtos minerais não metálicos variam de pequeno (britamento de pedras para construção), médio (fabricação de cal virgem) a grande (fabricação de cimento) potencial poluidor.

Em regiões cársticas, onde é comum solos menos espessos e maior ocorrência de maciços rochosos, além de uma maior conexão hidráulica entre águas superficiais e subterrâneas, o impacto ambiental pode ser até mais evidente e instantâneo. Dependendo de quão desenvolvida é uma rede de conduto, do quão alto é o gradiente hidráulico, e do grau de confinamento do aquífero, o fluxo da água pode até se assemelhar ao de um pequeno rio ou córrego, alcançando velocidades de até alguns quilômetros por dia, como verificados nas regiões cársticas dinárica, na Herzegovina (5.184 m/dia), e na Virgínia Ocidental, nos EUA (2.655 m/dia) (GOLDSCHIEDER; DREW, 2007).

No caso da Bacia do Rio São Miguel, a partir de estudos com traçadores fluorescentes realizados por Ferrari *et al.* (2018) na área de influência da Gruta do Éden, a velocidade média variou entre 560 m/dia e 840 m/dia. Portanto, se uma carga potencialmente contaminadora está locada próximo de uma zona mais vulnerável do aquífero (e.g. conduto cárstico, entrada de caverna, sumidouro) ou de um córrego, esse contaminante tende a atingir mais rapidamente grandes extensões e rios principais.

Lucon *et al.* (2019, 2020a, 2020b) estudaram a geoquímica dessas águas e as compararam com valores de referência de qualidade da água e padrão de potabilidade, segundo Resolução Conama nº 396 (BRASIL, 2008), Portaria nº 2.914 (BRASIL, 2011) e Cetesb (2014) (ver Capítulo 2). Enquanto algumas concentrações anômalas de potássio, sódio, sulfato, magnésio e cálcio estão relacionadas a questões geogênicas, ou seja, influenciadas pela geologia local, anomalias de cloreto, fosfato e nitrato, que ocorrem nas regiões leste e oeste da bacia, estão diretamente ligadas a atividades humanas. A origem pode ser os sistemas precários de coleta e tratamento de esgotos, com matéria orgânica excessiva encontrada no meio ambiente, ou mesmo devido ao uso intensivo de fertilizantes à base de nitrogênio nas áreas de cultivo agrícola.

O nitrato, expresso como nitrogênio (N-NO_3^-), em algumas regiões, está acima do limite de concentrações permitido para água potável, de 10 mg/L, conforme Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/11. Ressalta-se que esse elemento é considerado um potencial agente cancerígeno, e, em altas concentrações, pode gerar problemas como a metahemoglobinemia, também conhecida como síndrome do bebê azul, que afeta recém-nascidos e consiste na baixa oxigenação sanguínea (LALEHZARI; TABATABAEI; KHOLGHI, 2013).

No caso do cádmio, assim como visto na atmosfera, também é encontrado em concentrações acima do limite permitido tanto na água superficial ($> 1 \mu\text{g/L}$) quanto na água subterrânea ($> 5 \mu\text{g/L}$) (WHO, 2011). Isso mostra um comportamento cíclico do cádmio, em que a água da chuva contaminada precipita levando esse elemento rapidamente aos rios e córregos, via escoamento superficial, e, a partir das principais zonas de recarga do aquífero cárstico (entrada de cavernas, sumidouros e surgência/ressurgências), infiltra e alcança os lençóis freáticos (LUCON *et al.*, 2020a).

Por fim, o arsênio é outro elemento na região acima dos valores orientadores de 10 $\mu\text{g/L}$, conforme Organização Mundial da Saúde (WHO, 2011), sendo relacionado ao descarte inadequado de pesticidas agrícolas.

4.1.3 Solo

Acerca dos impactos no solo, segundo a Deliberação Normativa Copam 217/2017, as classes de potencial poluidor para as principais atividades na área distribuem-se da seguinte forma:

- Os loteamentos urbanos, excetuando-se eventuais distritos industriais na área, apresentam potencial poluidor grande. Já os distritos industriais apresentam potencial médio;
- As atividades agrícolas e silviculturais realizadas na área variam de potencial médio (agricultura e silvicultura) a grande (atividades pecuárias);
- As atividades minerárias (majoritariamente lavras a céu aberto de calcário e extração de rocha para produção de britas) são classificadas como de médio potencial poluidor;
- As atividades relacionadas à indústria de produtos minerais não metálicos apresentam potencial pequeno, à exceção de indústrias de fabricação de cimento, com potencial médio.

É importante destacar que na área é comum solos menos espessos, o que diminui a capacidade de ele reter contaminantes e/ou atenuar plumas de contaminação antes de alcançarem as zonas aquíferas, e, conforme mencionado no item impactos de “águas superficiais e subterrâneas”, uma vez que o contaminante alcança as zonas carstificadas da região, a evolução da pluma é bastante significativa.

Outro fator é o grande potencial poluidor de atividades agropecuárias, consideradas aqui as classes de vegetação rasteira/pasto e de cultivo/solo exposto que, conforme no item “uso e ocupação do solo” (ver áreas nas cores verde-claro e laranja da Figura 2), ocupam aproximadamente 60% da área total da bacia, tornando-se a principal fonte de contaminação, mesmo que difusa, do solo e, conseqüentemente, das águas, conforme mencionado por Haddad (2007).

Além disso, ressalta-se que, no período entre 2013 e 2020, houve um avanço da fronteira agrícola na área suprimindo cerca de 40% da vegetação nativa, resultando em uma área total aproximada ocupada pela agropecuária e silvicultura de 65% da área. Todo esse espaço, se desenvolvido sem manejo adequado do solo, pode gerar erosão e redução da fertilidade do terreno, seja pela lixiviação de seus nutrientes, seja pela ausência de um plano adequado de conservação do solo. Ademais, segundo o censo agropecuário do IBGE (2017), quase 40% dos produtores agropecuários admitem a utilização de agrotóxicos nas lavouras agrícolas.

Os impactos relacionados aos loteamentos urbanos nas sedes municipais e aos empreendimentos minerários e industriais também podem ser significativos, mas ocorrem de forma mais pontual, com uma área ocupada por esses usos do solo inferior a 2,5% da área.

5. PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO DA REGIÃO CÁRSTICA DE PAINS

Sob o ponto de vista legal, a proteção ao patrimônio espeleológico tem como base o art. 225 da Constituição Federal (CF) de 1988, que estabelece o dever do Estado de assegurar a todos um meio ambiente ecologicamente equilibrado. Dever este contemplado anteriormente em diversos dispositivos legais e normativos – como o Decreto-Lei nº 25, de 1937, a Lei nº 3.924, de 1961, a Lei nº 6.938, de 1981, conhecida como Política Nacional do Meio Ambiente, bem como o Decreto nº 99.556, de 1990, posteriormente alterado pelo Decreto nº 6.640, de 2008, entre outros.

Ademais, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), vinculado ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), também tem competência para dispor acerca da proteção do patrimônio espeleológico que, por meio da Resolução Conama nº 347, de 2004, revogou a Resolução Conama nº 5, de 1987, criando o Cadas-

tro Nacional de Informações Espeleológicas (Canie), que dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico. No caso da Portaria MMA nº 358, de 2009, foi instituído o Programa Nacional de Conservação do Patrimônio Espeleológico.

Para fins da Resolução nº 347, entende-se por patrimônio espeleológico o conjunto de elementos bióticos e abióticos, socioeconômicos e histórico-culturais, subterrâneos ou superficiais, representados pelas cavidades naturais subterrâneas ou a essas associadas. Cabe frisar que as cavidades naturais subterrâneas fazem parte do conjunto de bens da União Federal, conforme estabelecido no art. 20, inciso X, da CF/88, o que lhe assegura proteção especial por todos os entes da Federação (União, Estados e Municípios), nos termos do art. 23, III, também da CF/88.

A seguir, serão apresentadas as áreas associadas a feições do patrimônio espeleológico que apresentam intervenções antrópicas; em seguida, as áreas efetivamente protegidas, separadas por Unidades de Conservação (UCs) e Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs); e, por fim, comentadas, com base nos cenários levantados neste capítulo e em estudos realizados na região cárstica de Pains, possíveis ações de conservação dos patrimônios espeleológicos.

5.1 INTERVENÇÕES ANTRÓPICAS DA REGIÃO CÁRSTICA DE PAINS

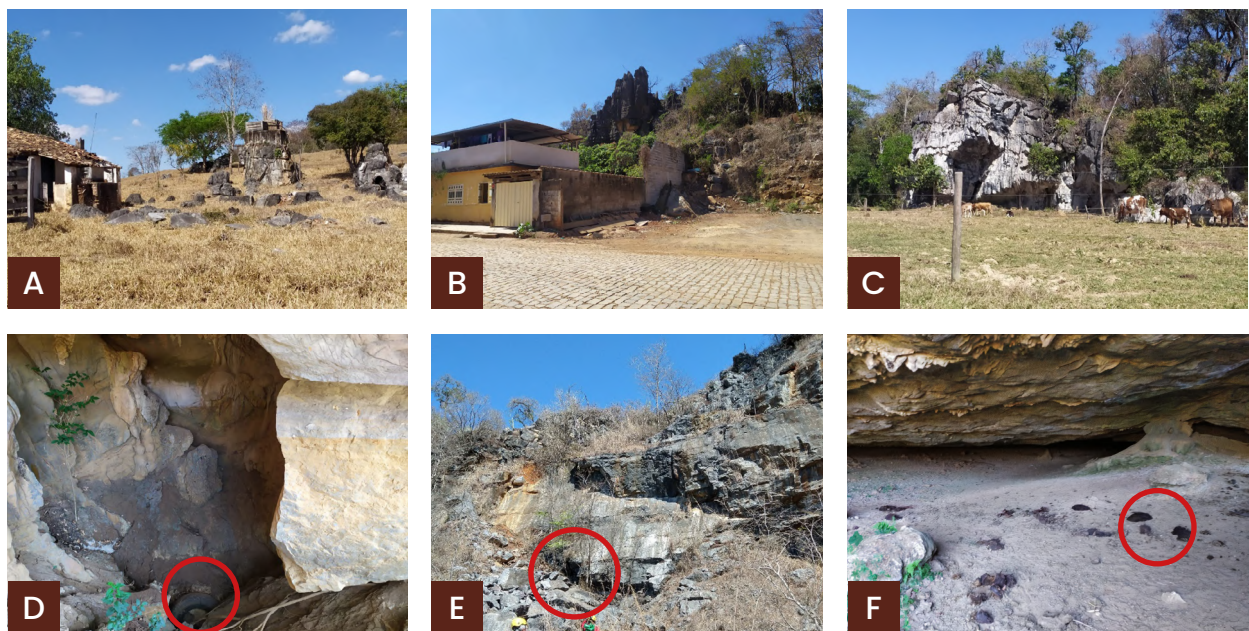


Figura 5. Exemplos de impactos na região cárstica de Pains: (A) construção de curral próximo a afloramentos rochosos de calcário; (B) início da urbanização do município de Pains/MG junto a afloramentos de calcário; (C) zona de pastagem próximo a cavidades e afloramentos de calcário; (D) disposição inadequada de resíduos no interior de cavidades (pneu, indicado pelo círculo vermelho); (E) impacto da mineração nas proximidades de uma das principais cavidades da região (círculo em vermelho); e (F) impactos das atividades pecuárias no interior de cavidade (dejetos de animais, indicados pelo círculo vermelho).

Todo o contexto frágil e complexo do patrimônio espeleológico justifica as preocupações legais e ambientais com eventuais intervenções realizadas nessas áreas, sendo que as principais condições problemáticas em regiões cársticas podem ser exemplificadas por: gestão inadequada do uso e ocu-

pação do solo; expansão desordenada de áreas urbanas; desmatamento da vegetação nativa; atividades agropecuárias sem manejo adequado; erosão acelerada do solo; minerações e pedreiras em áreas inadequadas ou realizadas de forma predatória; utilização dos recursos naturais de forma ilegal; disposição e lançamento inadequados de resíduos e efluentes; superexploração de aquíferos; turismo predatório (depredação de sítios arqueológicos, paleontológicos e espeleológicos, e descaracterização do patrimônio cultural); redução da biodiversidade presente nas cavidades e em superfície; e poluição intensa do ar em unidades industriais.

Especificamente na região cárstica de Pains, verificam-se diversas intervenções antrópicas associadas a importantes feições do patrimônio espeleológico da região, conforme exemplificadas na Figura 5.

5.2 ÁREAS ESPELEOLÓGICAS PROTEGIDAS NA REGIÃO CÁRSTICA DE PAINS

Apesar da reconhecida importância da região, menos de 600 hectares estão efetivamente protegidos, separados pelas seguintes Unidades de Conservação (UCs) e Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs), podendo ser vistas na Figura 6:

- Estação Ecológica Estadual de Corumbá, com 304,37 ha, nos municípios de Arcos e Pains (criada como Reserva Biológica pelo Decreto nº 16.580, de 1974, e com sua categoria alterada para Estação Ecológica pelo Decreto nº 37.826, de 1996);
- RPPN Lafarge, com 83 ha, no município de Arcos, de propriedade da Cimento Mauá S/A (Portaria IEF Nº 143, de 2001, averbada em 17/05/2002);
- Monumento Natural Jardim do Éden, abrangendo uma área de 2.506,84 ha, a oeste da sede municipal de Pains (Decreto Municipal nº 40, de 2009). Os efeitos desse decreto estão suspensos por decisão judicial, entretanto, nenhuma atividade exploratória poderá ser realizada até que a justiça dê uma decisão final;
- RPPN da CSN, com 148,81 ha, no município de Arcos, de propriedade da Companhia Siderúrgica Nacional (Portaria IEF Nº 13, de 2012, e Portaria IEF Nº 35, de 2012);
- Parque Natural Municipal Dona Ziza, com área de 10,85 ha, na periferia da sede municipal de Pains (Lei Municipal 1.019, de 2006, alterada pela Lei Municipal 1.224, de 2013);
- RPPN Gruta do Éden, com 24,03 ha, no município de Pains, de propriedade da Mineração Saldanha Ltda. (Portaria IEF Nº 60, de 2016).

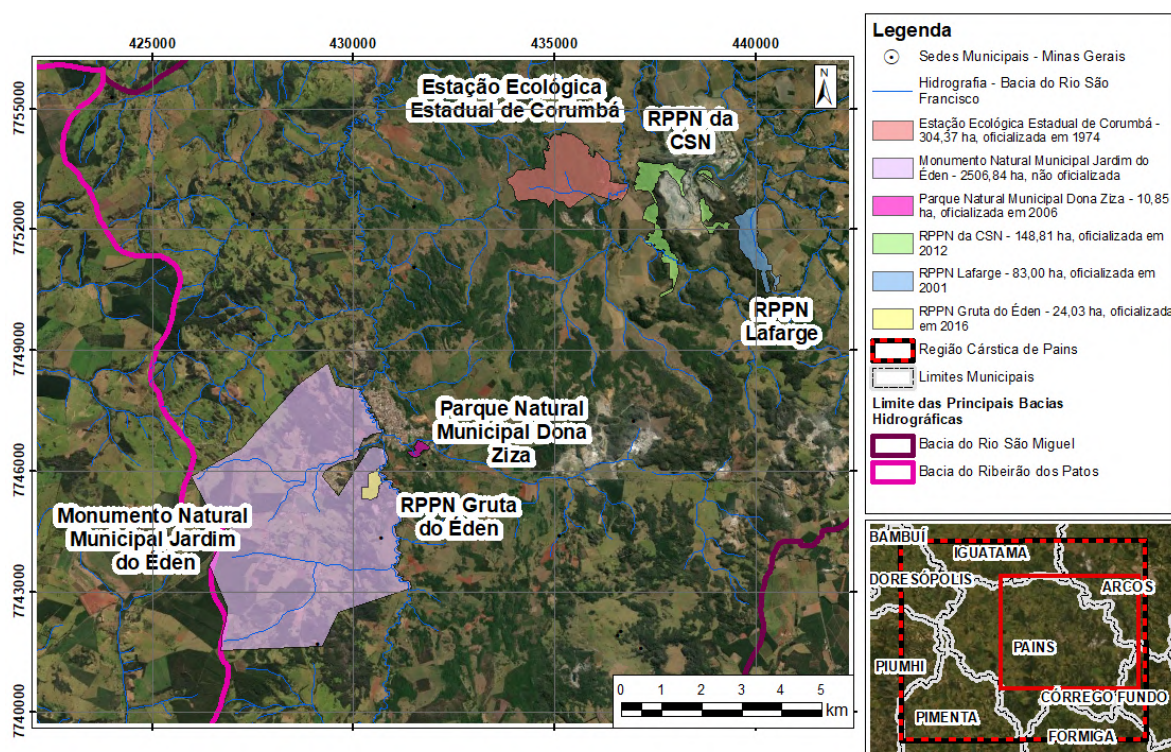


Figura 6. Mapa das Unidades de Conservação estaduais e municipais e Reservas Particulares do Patrimônio Natural presentes na área, destacando apenas a área delimitada pelo quadrado em vermelho do mapa regional.

5.3 PRINCIPAIS AÇÕES DE CONSERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO

O patrimônio espeleológico da região cárstica de Pains é formado por um conjunto de bens materiais e imateriais de inestimável valor cultural e natural, e a preservação desses bens é fundamental para garantir um meio ambiente sustentável para as gerações atuais e futuras. Diante de todos os cenários levantados, e de acordo com estudos realizados na região cárstica de Pains, possíveis ações de conservação dos patrimônios espeleológicos são sugeridas e apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Ações de conservação propostas por tema identificado.

Tema	Ação de Conservação
Desenvolvimento de estudos	Com base na alta complexidade e sensibilidade de sistemas cársticos, e das inúmeras condições problemáticas potenciais nessas regiões, deve-se buscar o seu maior entendimento, identificando e dimensionando os aspectos críticos, via levantamento de dados históricos, primários e secundários, e do monitoramento amplo dos parâmetros físicos e biológicos da região ao longo do tempo. Sob essa perspectiva, sugere-se o desenvolvimento de estudos focados nas questões críticas levantadas, sejam eles trabalhos acadêmicos, artigos científicos ou relatórios técnicos. Nesta lista, até o momento, destacam-se, para a área, os seguintes estudos acadêmicos de livre acesso ao público: Borghetti (2002); Cherem (2006); Costa (2012); Dias e Velasques (2002); Félix e Freitas Jr. (2000); Ferrari <i>et al.</i> (2018); Freitas (2009); Haddad (2007, 2010); Lages <i>et al.</i> (2005); Lucon (2018); Lucon <i>et al.</i> (2018); Lucon <i>et al.</i> (2020a, 2020b); Menegasse <i>et al.</i> (2002); Pereira (2018); Pereira <i>et al.</i> (2019); Pizarro (1998); Pizarro <i>et al.</i> (2001); Scudino (2006); See (2012); Teixeira e Dias (2003).

Tema	Ação de Conservação
Impacto na atmosfera	Conforme o item 4.1.1, os principais impactos na atmosfera relacionam-se com a emissão de partículas suspensas no ar e com a contaminação do cádmio na água de chuva da região que, conseqüentemente, impacta a qualidade dos recursos hídricos. Para ambos os casos, sugerem-se como ação de conservação uma maior fiscalização do órgão ambiental e um maior monitoramento e controle desses parâmetros por parte dos empreendimentos. Ademais, caso verificada a necessidade, sugere-se a aplicação de condicionantes ambientais mais rigorosas na regularização do licenciamento ambiental das atividades mais críticas associadas ao tema na região.
Impacto nas águas superficiais e subterrâneas	Conforme o item 4.1.2, os principais impactos nos recursos hídricos locais associam-se principalmente a anomalias de cloreto, fosfato, nitrato, arsênio e cádmio. Embora existam hipóteses sólidas acerca de sua origem, tais elementos podem ser atribuídos a diversas atividades antrópicas e/ou características naturais da região. Portanto, para melhor assertividade nas ações de conservação, sugere-se um monitoramento amplo dos recursos hídricos locais, gerenciado pelo órgão ambiental, mas buscando utilizar também os dados monitorados e estudos realizados pelos empreendimentos, quando possível. Além disso, caso verificada a necessidade, sugere-se a aplicação de condicionantes ambientais mais rigorosas na regularização do licenciamento ambiental das atividades mais críticas associadas ao tema.
Impacto no solo	Conforme o item 4.1.3, uma característica predominante na região é a de solos menos espessos, o que diminui a capacidade de ele reter contaminantes e/ou atenuar plumas de contaminação antes de alcançarem as zonas aquíferas, tornando a contaminação do solo um fator ainda mais relevante nos impactos locais. Destaca-se, também, a grande relevância das atividades agropecuárias, com um elevado potencial poluidor distribuído em mais de 60% de toda a área. Como ações de conservação, sugerem-se a conscientização e divulgação de técnicas de manejo de solo e aplicações de pesticidas e agrotóxicos adequados e em quantidades controladas para produções agropecuárias, principalmente dos pequenos produtores, associadas a um monitoramento amplo das condições do solo, de forma a identificar as regiões mais críticas. Ademais, caso necessário, sugere-se a aplicação de condicionantes ambientais mais rigorosas na regularização do licenciamento ambiental das atividades mais críticas associadas ao tema na região.
Vulnerabilidade à contaminação do aquífero	O mapa de vulnerabilidade apresentado no item 3 pode ser utilizado como uma ferramenta de gestão ambiental pelas prefeituras da região e pelo órgão ambiental, pois indica as regiões mais sensíveis e que podem gerar impactos mais expressivos aos sistemas hidrogeológicos. O mapa pode ser utilizado a fim de nortear as tomadas de decisão em relação às restrições e condicionantes de licenciamentos ambientais e, também, os Planos Diretores dos municípios. Salienta-se, entretanto, que o mapa foi desenvolvido em escala regional, sugerindo-se, portanto, seu maior detalhamento, com um adensamento do levantamento de dados primários em campo, nas regiões mais críticas.
Monitoramento Ambiental	A implantação, atualização e revisão de redes de monitoramento quantitativo e qualitativo da região é de fundamental importância para contribuir para o entendimento da evolução das características físicas e biológicas locais ao longo do tempo. Para tal, considerando a característica de interconectividade dos impactos no ecossistema cárstico, sugere-se um monitoramento amplo dos componentes físicos e biológicos da área, sob a responsabilidade dos órgãos ambientais, buscando utilizar os dados monitorados e estudos realizados pelos empreendimentos, quando possível.
Unidades de Conservação	A partir de todo o conhecimento adquirido da área, e considerando que os recursos ecossistêmicos de sistemas cársticos e de cavidades são interconectados, de forma que impactos em elementos individuais desse tipo de ecossistema geram impactos inesperados sobre outros elementos, sugere-se, como ação de conservação, a criação de Unidades de Conservação (UCs) e Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) nas regiões em que for identificada uma maior sensibilidade do ambiente cárstico, de forma a garantir sua proteção integral, independente do elemento individual em que se verifica sua maior sensibilidade.

6. CONCLUSÕES

Ambientes cársticos são particularmente frágeis e vulneráveis a ações humanas comparados a outros sistemas naturais. A razão é por apresentar redes de drenagens superficiais eficientemente conectadas a feições cársticas superficiais e subterrâneas que, devido à proximidade de atividades antrópicas (urbanização, pastagens, mineração), podem transmitir rapidamente a poluição da superfície para ambientes cársticos mais profundos. Esse cenário é visto na região cárstica de Pains, onde diversas situações com potenciais impactos ambientais foram apresentadas aqui.

O uso e ocupação do solo na região cárstica de Pains indicam um avanço significativo das fronteiras agrícolas, da urbanização e de empreendimentos minerários, o que reduziu em quase 40% as áreas de vegetação naturais, sendo, muitas das vezes, substituídas por áreas de vegetação rasteira/pasto e de cultivo/solo exposto.

As áreas de menor vulnerabilidade natural do aquífero cárstico ocupam 80% da região, e estão relacionadas à ausência de feições cársticas e de recargas/infiltrações de águas superficiais diretas. As áreas de vulnerabilidade média ocupam 14% da região e estão no entorno de recargas/infiltrações diretas e de feições cársticas, com a presença de maciços fraturados devido à ocorrência de lineamentos geológico-estruturais. As áreas de alta vulnerabilidade, que ocupam 6% da região (com as maiores concentrações na parte leste da região cárstica de Pains), apresentam zonas epicársticas mais extensas e redes cársticas bem desenvolvidas, principalmente onde há entradas de cavernas, sumidouros e dolinas.

Com relação aos impactos ambientais, as principais atividades desenvolvidas na região possuem um potencial poluidor geral médio, com exceção das atividades industriais de fabricação de cimento, que possuem potencial poluidor geral grande. Como consequências, destacam-se, com frequência, a emissão de partículas suspensas no ar devido a atividades de lavra, beneficiamento e transporte, ou emissão de gases via queima de combustível, além da presença do cádmio que é também visto em concentrações acima do limite permitido nas águas superficiais e subterrâneas. Também são observadas nessas águas concentrações anômalas de potássio, sódio, sulfato, magnésio e cálcio, que estão relacionadas a questões geogênicas, e anomalias de cloreto, fosfato e nitrato, que estão diretamente ligadas a atividades humanas.

Diversas intervenções antrópicas associadas a importantes feições do patrimônio espeleológico da região foram observadas, como currais, pastagem, urbanização e mineração, próximo a cavidades e afloramentos de calcário, resultando em vandalismo, disposições inadequadas de resíduos no interior de cavidades e contaminação. Apesar dessas questões, algumas Unidades de Conservação (UCs) e Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs) foram já implementadas, com destaques para a Estação Ecológica Estadual de Corumbá, RPPN Lafarge, Monumento Natural Jardim do Éden, RPPN da CSN, Parque Natural Municipal Dona Ziza e a RPPN Gruta do Éden.

A partir dos cenários levantados, as sugestões de ações de conservação dos patrimônios espeleológicos na região cárstica de Pains resumem-se: no desenvolvimento de estudos e pesquisas específicas para melhor entender as relações complexas intrínsecas a sistemas cársticos; no monitoramento das feições físicas e biológicas da área; no fortalecimento das questões legais e jurídicas de proteção das áreas críticas do patrimônio espeleológico; e na criação de Unidades de Conservação (UCs) e Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) nas zonas de maior sensibilidade e vulnerabilidade do ambiente cárstico.

Com base no exposto, e alinhado às principais ações de conservação previstas, propõe-se a criação de uma RPPN, por meio do Termo de Compromisso Ambiental – TCA entre o Instituto Chico Mendes e a Gerdau, conforme será mais bem apresentado no próximo capítulo: “A RPPN Luís Beethoven Piló”.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. O Cráton do São Francisco. **Rev. Bras. Geoc.**, v. 7, p. 285-295, 1977.

BORGHETTI, C. **A Influência da Indústria Calcinadora na Distribuição e na Concentração de Metais Pesados na Região de Córrego Fundo – Pains (MG)**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 2002, 71 p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2005. Resolução Conama No. 357. **Diário Oficial da União**. República Federativa do Brasil.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2008. Resolução Conama No. 396. **Diário Oficial da União**. República Federativa do Brasil.

BRASIL. Ministério da Saúde. 2011. Portaria No. 2.914. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**. República Federativa do Brasil.

CASTRO LEAL, M. B. **Horário Estratégico de Saúde dos Trabalhadores**: perfil dos trabalhadores atendidos no PSF “Saúde para Todos” do Município de Pains. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Minas Gerais, 2010, 30 p.

CHEREM, L. F. **Atlas cartográfico para a gestão ambiental de médias bacias hidrográficas**: proposição conceitual-metodológica e o estudo de caso da Bacia do Rio São Miguel – Alto São Francisco/MG. 2006. 85f. Monografia (Graduação em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Valores orientadores para solo e água subterrânea no estado de São Paulo**. São Paulo, Cetesb, 2014, 4 p. Disponível em: https://sites.usp.br/sef/wp-content/uploads/sites/52/2015/03/47-CETESB2014_Valores_Orientadores_solo_agua.pdf. Acesso em: julho, 2020.

COSTA, S. C. R. **Identificação da floresta estacional decidual na Bacia do Rio São Miguel, região do Alto São Francisco – MG**, 2012.

DARDENNE, M. A. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: SBG, XXX CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Recife, **Anais [...]**, 2, p. 597-610, 1978.

DIAS, F. S.; VELÁSQUES, L. N. M. Hidrogeologia da Bacia do Rio São Miguel, municípios de Pains e Arcos-MG [Hydrogeology of the São Miguel river basin, municipalities of Pains and Arcos-MG]. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12. **Anais [...]**, 1-12, 2002.

DOERFLIGER, N.; JEANNIN, P. Y.; ZWAHLEN, F. Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). **Environmental Geology**, v. 39, n. 2, p. 165-176, 1999.

FÉLIX, A. A.; FREITAS JÚNIOR, R. L. **Mapeamento Geológico e Hidrogeológico da Bacia do Rio São Miguel, Alto São Francisco, Estado de Minas Gerais**. (Trabalho de Graduação) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2000, 104 p.

FERRARI, J. A. *et al.* Identificação e Caracterização Hidrológica da Área de Influência da Gruta do Éden - Pains – MG. **Relatório Final**. Instituto Geológico. São Paulo, 2018, 36 p.

FEESER, I.; O'CONNELL, M. Fresh insights into long-term changes in flora, vegetation, land use and soil erosion in the karstic environment of the Burren, western Ireland. **Journal of Ecology**, v. 97, p. 1083-1100, 2009.

FORD, D. C.; WILLIAMS, P. W. **Karst geomorphology and hydrology**. 2nd ed. John Wiley and Sons, Chichester, U.K., 2007, 562 p.

FÖRSTNER, U. Contaminated sediments. **Lecture notes on earth sciences**, v. 21, 122 p. Springer-Verlag. London, 1989.

FORTI, P. **The scientific and socio-economic importance of karst and caves and their vulnerability**. International Union of Speleology (UIS), 2015.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data**. WHO - PAHO/HPE - CEPIS Technical Manual, Lima, Peru. 1988, 81 p.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.; PELLERIN, J. R. G. M. Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco à inundação: estudo de caso do município de Rio Negrinho – SC. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 81-100, 2012.

GOLDSCHIEDER, N. A holistic approach to groundwater protection and ecosystem services in karst terrains. **AQUAmundi**, v. 3, p. 117-124, 2012.

GOLDSCHIEDER, N.; DREW, D. **Methods in karst hydrology**. Taylor and Francis Group, London, UK., 2007, 264 p.

HADDAD, E. A. **Influência Antrópica na Qualidade da Água da Bacia Hidrográfica do Rio São Miguel, Carste do Alto São Francisco, Minas Gerais**. 2007, 156f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Geografia, Belo Horizonte. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/MPBB-7LBML5>. Acesso em: jul. 2020.

HADDAD, E. A.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Influência antrópica na qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Rio São Miguel, carste do alto São Francisco, Minas Gerais. **Geosul**, v. 25, n. 49, p. 79-102, 2010. doi: 10.5007/2177-5230.2010

HALLENBECK, W. H. Human health effects of exposure to cadmium. **Experientia**, v. 40, n. 2, p. 136-142, 1984.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de Clima do Brasil**. Escala 1:5.000.000, 2002.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Brasília, 2017. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home2/index>. Acesso em: nov. 2019.

KÖPPEN, W. **Climatologia**. Fondo de Cultura Economica, Buenos Aires, 1931.

LAGES, S. G.; OLIVEIRA, C. V. de; SAADI, A. Levantamento pedológico e de aptidão agrícola da Província Cárstica de Arcos, Pains e Doresópolis. Região entre Arcos e Pains – Minas Gerais. In: XXX CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. **Anais [...]**. Recife, 2005.

LALEHZARI, R.; TABATABAEI, S. H.; KHOLGHI, M. Simulation of nitrate transport and wastewater seepage in groundwater flow system. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 10, n. 6, p. 1367-1376, 2013.

LUCON, T. N. Estudos hidroquímicos da região cárstica da Bacia do Rio São Miguel, MG. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Ouro Preto, 2018.

LUCON, T. N. *et al.* Natural background levels and seasonal influence on groundwater chemistry of the Upper São Francisco karst region, MG, Brazil. **Braz. J. Genet.**, v. 48, n. 4, p. 867-879, 2018.

LUCON, T. N. *et al.* Cadmium behavior in a karst environment hydrological cycle. **Environmental Science and Pollution Research International**, 09 Feb 2020, v. 27, n. 9, p. 8965-8979, 2020a.

LUCON, T. N. *et al.* Recharge sources and hydraulic communication of karst aquifer, São Miguel watershed, MG, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 05 Abr 2020, v. 27, n. 9, p. 8965-8979, 2020b.

MARTINS, T. I. S. **Mapeamento Geomorfológico da Folha Piumhi, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Ciências Humanas) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2013, 157 p.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010.

MENEGASSE, L. N.; GONÇALVES, J. M.; FANTINEL, L. M. Disponibilidades hídricas na Província cárstica de Arcos-Pains-Doresópolis, Alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 16, n. 1, p. 1-19, 2002.

PAINS (MG). **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Pains, Minas Gerais, 2015.

PEREIRA, D. L. *et al.* Adapting the EPIK method to Brazilian Hydro(geo)logical context of the São Miguel watershed to assess karstic aquifer vulnerability to contamination. **J. S. Am. Earth Sci.** v. 90, p. 191-203, 2019.

PIZARRO, A. P. Compartimentação geológico-geomorfológica da Província Carbonática e Espeleológica de Arcos-Pains-Doresópolis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, Belo Horizonte, **Anais [...]**. 1998.

PIZARRO, A. P.; FRIGO, F. J. G.; CAMPELLO, M. S. Atualização da Distribuição de Cavidades Significativas da Província Carbonática Espeleológica de Arcos-Pains-Doresópolis 421. 2001.

RIBEIRO, J. H.; TULLER, M. P.; DANDERFER, A. **Geological mapping of the region of Sete Lagoas, Pedro Leopoldo, Matozinhos, Lagoa Santa, Vespasiano, Capim Branco, Prudente de Moraes, Confins and Funilândia, Minas Gerais State, Brazil** (scale 1:50,000). 2. ed. Belo Horizonte, 2003, 54 p.

SAADI, A. **Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais: tensões intraplaca, descontinuidades crustais e morfogênese**. Tese (Professor Titular) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1991, 300 p.

SCUDINO, P. C. Estudos hidroquímicos/isotópicos – Emprego de traçadores naturais da água para reconhecimento da dinâmica de funcionamento do sistema aquífero cárstico de Pains (MG) – Área de cimentos Nassau. **Relatório técnico**. CBE – Cia Brasileira de Equipamento, 2006.

SOCIEDADE EXCURSIONISTA E ESPELEOLÓGICA. **Projeto Arcos Pains Espeleologia – Proape**: Termo de Ajuste de Conduta (TAC) MPF/Ibama/Gerdau/Feop/SEE. Ouro Preto: PROAPE, 2012. Disponível em: <http://www.see.ufop.br/wp-content/uploads/2013/08/projeto-arcos-pains-espeleologia.pdf>. Acesso: jul. 2020.

TEIXEIRA, P. S. D.; DIAS, M. S. **Levantamento espeleológico da região cárstica de Arcos, Pains, Dorésópolis, Córrego Fundo e Iguatama, frente às atividades degradadoras**, 2003.

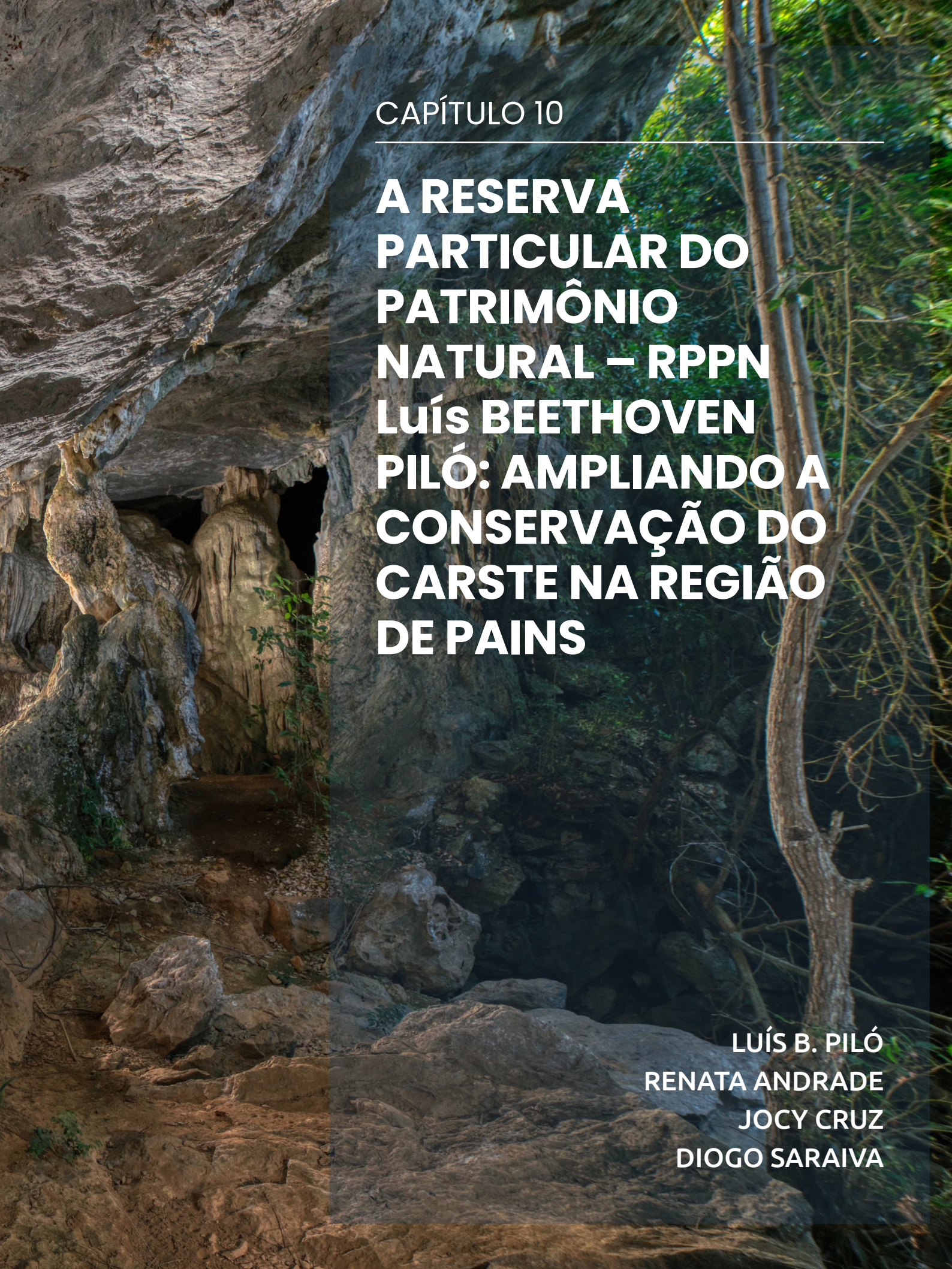
WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality**. Fourth Edition, 2011, 564 p. Disponível em: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/. Acesso em: jun. 2020.

XU, Y. Q.; LUO, D.; PENG, J. Land use change and soil erosion in the Maotiao River watershed of Guizhou Province. **Journal of Geographical Sciences**, v. 21, p. 1138-1152, 2011.

YANG, Z. S.; YANG, L. F.; ZHANG, B. S. Soil erosion and its basic characteristics at karst rocky-desertified land consolidation area: a case study at Muzhe Village of Xichou County in Southeast Yunnan, China. **Journal of Mountain Science**, v. 7, p. 55-72, 2010.



Gruta dos Defuntos. Foto: Ataliba Coelho.



CAPÍTULO 10

**A RESERVA
PARTICULAR DO
PATRIMÔNIO
NATURAL – RPPN
LUÍS BEETHOVEN
PILO: AMPLIANDO A
CONSERVAÇÃO DO
CARSTE NA REGIÃO
DE PAINS**

**LUÍS B. PILO
RENATA ANDRADE
JOCY CRUZ
DIOGO SARAIVA**

1. INTRODUÇÃO

A região cárstica de Pains está situada no centro-oeste de Minas Gerais, a aproximadamente 230 km de Belo Horizonte, onde se destacam calcários e dolomitos do Grupo Bambuí (MAGALHÃES, 1989). O carste superficial ainda apresenta áreas cobertas por rochas pelíticas. No entanto, onde as rochas solúveis afloram é possível registrar um típico carste tropical, no qual se destacam maciços residuais lapiezados, paredões, dolinas, vales cegos e recuados, como também importantes cavernas (PILÓ, 1997).

Até o momento, constam cadastradas 2.490 cavernas na região (CECAV, 2021), sendo hoje considerada a província espeleológica com o maior número de cavernas carbonáticas no Brasil. A região também guarda importantes sítios históricos, arqueológicos e paleontológicos. Destacam-se, ainda, remanescentes do mosaico fitofisionômico constituído por áreas florestadas e áreas abertas, com notável diversidade florística e de grande importância para o entendimento histórico da vegetação neotropical (BARBOSA, 1961; MELO, 2013).

A região cárstica de Pains está atualmente sob forte pressão ambiental em decorrência da expansão de atividades ligadas à produção de calcário agrícola como também de outros produtos advindos da mineração (brita para construção civil e cal para os vários tipos de usos). Essas atividades representam para a região grande parte da mão de obra empregada, direta ou indiretamente na indústria ou nas "pedreiras", como são chamadas no local as minerações a céu aberto. Ressalta-se, também, nesse cenário de exploração mineral, a ampliação do passivo ambiental (HADDAD, 2007; NOGUEIRA, 2016; TEIXEIRA; DIAS, 2003).

Apesar da reconhecida importância ambiental e cultural (DRUMMOND *et al.*, 2005; HENRIQUES, 2006; MMA, 2009; PIZARRO *et al.*, 2001; ZAMPAULO, 2010), ações para a conservação de áreas testemunhos são tímidas. Menos de 600 hectares estão efetivamente protegidos por cinco unidades de conservação: Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN Lafarge, com 83 ha, no município de Arcos; Estação Ecológica Estadual de Corumbá, com 304 ha, nos municípios de Arcos e Pains; Parque Natural Municipal Dona Ziza, com área de cerca de 10,8 ha, na periferia da sede municipal de Pains; RPPN da CSN, com 148,81 ha, no município de Arcos, de propriedade da Companhia Siderúrgica Nacional – CSN; e RPPN Gruta do Éden, com 24,03 ha, no município de Pains, de propriedade da Mineração Saldanha Ltda. Ainda no município de Pains, um decreto municipal criou, em 2009, o Monumento Natural Jardim do Éden, no entanto, essa área encontra-se em litígio e ainda não foi efetivada.

Em 2011, o Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – Cecav iniciou o processo para a elaboração de um Plano de Ação Nacional – PAN, com o objetivo de promover a conservação de cavernas e áreas cársticas na região do São Francisco. Em fevereiro de 2012, a Portaria Nº 18 do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio aprovou o referido plano (PAN Cavernas do São Francisco), com 12 objetivos específicos, merecendo destaque o item VII: criação e manutenção de áreas protegidas estratégicas para a conservação do patrimônio espeleológico.

É nesse cenário que a Gerdau, maior empresa brasileira produtora de aço, juntamente com o Cecav, assinaram um Termo de Compromisso Ambiental – TCA que incluía a criação de uma Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN na região cárstica de Pains, objetivando a proteção de um testemunho do carste regional, incluindo uma amostra expressiva de cavernas.

A RPPN Luís Beethoven Piló, prestes a ser criada em atendimento ao TCA, está localizada na divisa dos municípios de Piumhi e Doloresópolis (Figura 1), englobando uma área com cerca de 92,3 ha, constituída por imponentes maciços e paredões calcários, com mais de 60 cavernas, destacando a presença de espécies

novas de invertebrados, de troglóbios, além de sítios arqueológicos e remanescentes da floresta estacional semidecidual e decidual.

Este capítulo, especificamente, tem como objetivo apresentar o processo de aquisição das áreas para a criação da futura RPPN, as principais características do carste local, da ecologia da paisagem, das cavernas, dos sítios arqueológicos e, por último, definir as diretrizes gerais do plano de manejo.

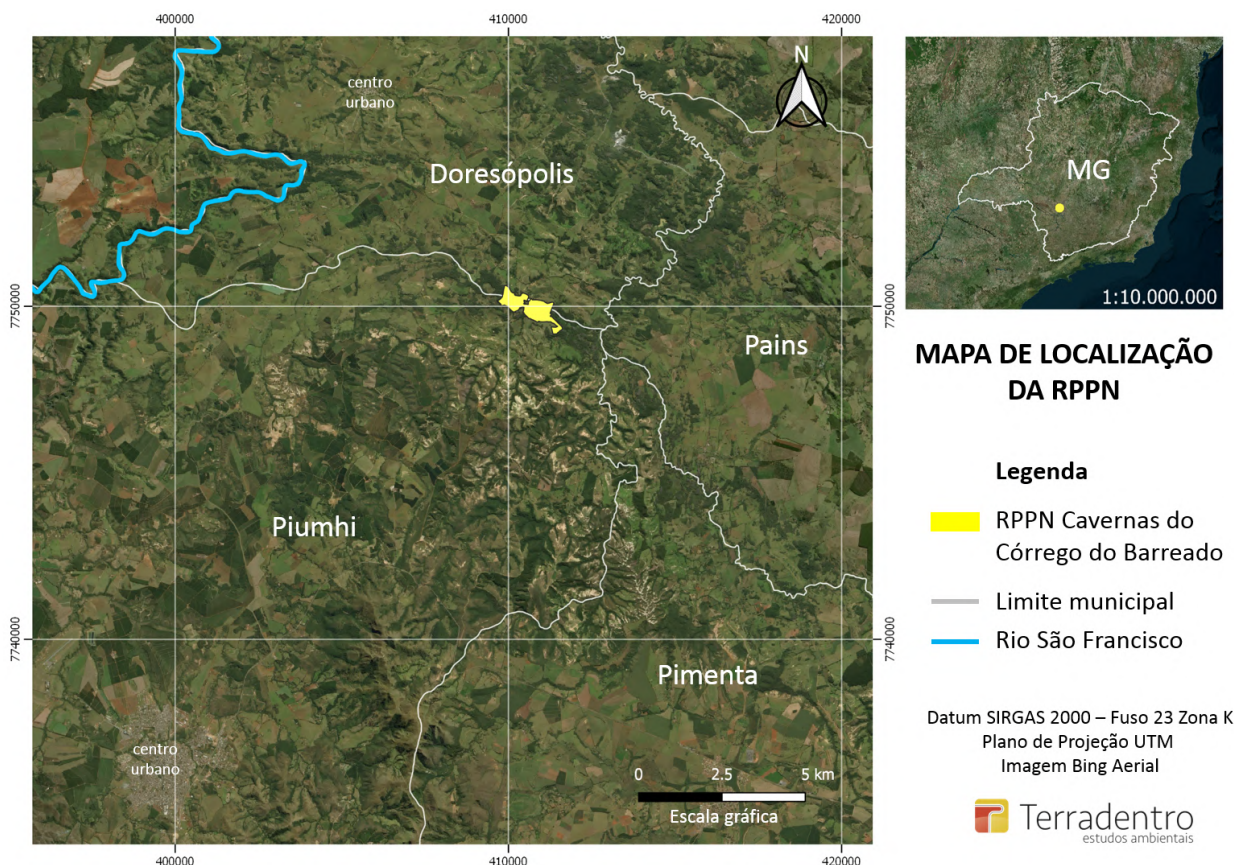


Figura 1. Localização da RPPN Luís Beethoven Piló, na divisa entre os municípios de Dorésópolis e Piumhi, em Minas Gerais.

2. BREVE RELATO DO PROCESSO DE AQUISIÇÃO DAS ÁREAS PELA GERDAU PARA CRIAÇÃO DA RPPN

A história da Gerda com as cavernas iniciou-se em 2004, simultaneamente às aquisições das propriedades e de seus respectivos direitos minerários das minas de minério de ferro de Várzea do Lopes, de Miguel Burnier e de Gongo Soco, localizadas nos municípios mineiros de Itabirito, Ouro Preto e Barão de Cocais, respectivamente.

As três minas estão inseridas no Quadrilátero Ferrífero e apresentam sítios espeleológicos associados às rochas ricas em ferro. As cavernas ferríferas dessas áreas foram sendo descobertas ao longo dos anos, durante os estudos ambientais inerentes ao processo de licenciamento ambiental, que a partir de 2005 destacou a necessidade de aprofundamento dos estudos espeleológicos em áreas de minério de ferro e canga.

Sem imaginar que futuramente a região cárstica de Pains seria escolhida como receptora da compensação de suas cavidades, em 2010, a Gerdau financiou o “Projeto Arcos Pains Espeleologia (Proape)” como contrapartida de uma falha operacional ocorrida em 2008 que ocasionou danos a uma caverna. Posteriormente, o mesmo projeto se tornaria o ponto de partida para a seleção de áreas cársticas sensíveis e com atributos ambientais suficientes para a criação de Unidade de Conservação, nesse caso na categoria de RPPN.

No ano de 2011, com a evolução da operação da Mina de Várzea do Lopes e com a necessidade de expandir a sua área e volume de exploração, passando de 1,5 Mta para 6 Mta de minério de ferro, no âmbito do licenciamento ambiental foram identificadas dez cavidades diretamente inseridas no minério a ser lavrado ou em litologias associadas, não havendo como operacionalizar a atividade minerária sem que as cavidades sofressem impactos irreversíveis sob forma de supressão total.

Seguindo os parâmetros da Instrução Normativa N. 2/2016, o grau de relevância das cavernas foi definido como de grau alto. A supressão de cavidades naturais subterrâneas classificadas de grau de relevância médio ou alto, pressupunha, de acordo com o Decreto Federal nº 6.640/2008, ações de compensação ambiental, como a preservação de outras cavernas de relevância igual ou superior (duas cavernas preservadas para cada caverna suprimida) ou ações que contribuíssem para a conservação e adequado uso do patrimônio espeleológico brasileiro.

Após justificar a impossibilidade de realizar a compensação com outras cavidades representativas sob a forma de cavidades testemunho na área de seu empreendimento, a empresa, juntamente com o Instituto Chico Mendes e a equipe técnica do Cecav, definiu outras formas de compensação.

Em junho de 2014, foi firmado o TCA entre o ICMBio e a Gerdau. Esse Termo visou detalhar os tópicos da execução de compensação pelos impactos ambientais irreversíveis em cavidades naturais subterrâneas com grau de relevância alto ocasionados pelo empreendimento Mina Várzea do Lopes – Processo N. 02667.000006/2013-00, no município de Itabirito, no Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais.

A letra “a” da cláusula segunda do referido Termo solicitou a apresentação de documento técnico que contenha a delimitação de, ao menos, quatro áreas de estudo para criação de RPPN na região cárstica de Pains. A área a ser definida teria que priorizar a preservação, em caráter permanente, de cavidades naturais subterrâneas com o mesmo grau de relevância e com atributos similares às que sofreriam impactos negativos irreversíveis na Mina Várzea do Lopes; ou seja, a RPPN deveria conter, no mínimo, 20 cavernas de alta relevância.

Em novembro de 2014, foi elaborado um relatório que apresentava, inicialmente, 12 áreas com potencial para criação de RPPN na região (ARTEFACTTO, 2014). Ainda em 2014, foram descartadas três áreas, tendo em vista a falta de interesse dos proprietários em uma possível negociação de compra e venda. Diante de um aprofundamento da análise e após nova campanha de campo, foram então selecionadas quatro áreas: Córrego Barreado, Buraco dos Curiós, Fazenda Faroeste e Cavernas Brega/Santuário. Nessas áreas foram avaliados: o carste superficial; o carste subterrâneo e o número estimado de cavernas existentes; os aspectos culturais, com ênfase nos registros arqueológicos; os aspectos biológicos e conservação da área; a situação fundiária; a situação junto ao DNPM e também uma primeira proposta de limites para a criação da RPPN (INSTITUTO TERRA BRASILIS, 2015).

Em fevereiro de 2016, foi realizada, pelos técnicos do Cecav, vistoria nas quatro áreas selecionadas visando conhecer suas características e os limites propostos. Em junho do mesmo ano, o Cecav emite parecer sobre a proposta das quatro áreas indicadas, relatando que a proposta conseguiu atingir plenamente os objetivos

de seleção de quatro áreas, e que os estudos mais permenorizados nas áreas deveriam ter início imediato, dando continuidade ao processo definido no TCA.

Em seguida houve a contratação, pela Gerdau, de empresa especializada com o objetivo de elaborar uma estimativa do valor das áreas e iniciar as negociações com os proprietários. Com o aprofundamento das conversações, envolvendo várias reuniões e propostas financeiras iniciais, proprietários de uma das áreas declinaram das negociações. Em outra área foi revelada uma grande complexidade entre os herdeiros, o que impossibilitou a continuidade das negociações entre as partes. Em outra área os valores propostos, pelos proprietários, foram exorbitantes.

Por outro lado, as negociações na área denominada Córrego do Barreado avançaram. Após quase um ano foi acordada a compra de uma área no local. No entanto, duas importantes cavernas não estavam incluídas nessa área, as grutas do Milagre e do Lamaçal, cavernas com as maiores projeções horizontais da área com 414,4 m e 609,2 m, respectivamente. Diante de solicitação do Cecav, a propriedade que incluía essas cavernas também foi negociada pela Gerdau, gerando uma área total de 92,3 ha.

Em seguida, o Cecav autorizou o início dos estudos físicos, biológicos, socioculturais e de relevância das cavernas. Foram selecionadas 60 cavernas para os estudos, visando à obtenção de 20 cavernas de alta relevância. Seguindo os parâmetros da Instrução Normativa N. 02 do Ministério do Meio Ambiente – MMA, de 2009, nove cavernas foram classificadas como de relevância máxima e 51 de alta relevância, atendendo plenamente às exigências do TCA. Atualmente, a área está em fase final de regulamentação e registro nos cartórios, visando à finalização da proposta de criação de RPPN e sua aprovação pelo ICMBio.

3. O CARSTE SUPERFICIAL DA RPPN

A área da RPPN é parte integrante de um fluviocarste, ou seja, a drenagem representada pelo Córrego do Barreado, que corta a RPPN, tem suas cabeceiras e alto curso nas vertentes da Serra de Piumhi, onde predomina um sistema fluvial sobre metapelitos da Formação Samburá, isto é, fora do domínio carbonático. No seu médio/baixo curso, o Córrego do Barreado, afluente do Ribeirão dos Patos (Bacia do Alto São Francisco), penetrou no domínio dos calcários da Formação Sete Lagoas, do Grupo Bambuí, gerando um típico sistema cárstico, orientado no sentido NW-SE.

No compartimento de topo da paisagem, destacam-se colinas suaves com interflúvios alongados, constituídas por metapelitos parcialmente alterados. Essas colinas, cujo topo chega a 760 m de altitude, apresentam solos rasos e atualmente estão muito susceptíveis à erosão laminar, em decorrência de manejo pastoril inadequado. Tais colinas estão sendo dissecadas e individualizadas por ravinas, muitas vezes profundas, que formam a rede de tributários de escoamento temporário do Córrego do Barreado.

A partir dos 715 m de altitude, os calcários começam a aflorar, gerando um típico carste, cujo nível de base é o Córrego do Barreado, posicionado em torno de 685 m de altitude. Os maciços calcários são as principais formas cársticas da RPPN. Destacam-se, nas partes mais elevadas dos maciços, pináculos, pavimentos rochosos e um marcante lapiezamento, destacando-se canais rasos separados por cristas em superfícies inclinadas (*rillenkarren*), lapiás sub-horizontais controlados pelo acamamento da rocha, além de *kamenitzas*. Dolinas rochosas com a presença de capões de mata ocorrem de forma surpreendente no topo dos maciços calcários (Figura 2).



Figura 2. Maciço calcário ruíniforme com dolinas rochosas ocupadas por capões de mata, destacando-se, ainda, pináculos e lapiás. Foto: Allan Calux.

Esses maciços, que podem atingir mais de 25 m de altura, formam uma faixa de cerca de 700 m de largura direcionada no sentido NW-SE. No setor central dessa faixa de maciços calcários, destaca-se o corredor rebaixado do Córrego do Barreado, que se desenvolve por cerca de 1,5 km na RPPN. A drenagem superficial foi capturada, por meio do sumidouro da Gruta dos Milagres, para o sistema subterrâneo. A partir daí, o Córrego do Barreado está segmentado em trechos de drenagem superficial e outros de drenagem subterrânea, gerando sumidouros, ressurgências, vales cegos e recuados, isto é, uma clássica morfologia e hidrologia cárstica.

As dolinas têm uma participação pequena nos setores rebaixados do carste local, mas ocorrem no corredor cárstico rebaixado do Córrego do Barreado e nas médias vertentes que individualizam maciços calcários. São geralmente assimétricas, dispersas, envolvendo poucos metros a poucas dezenas de metros de largura. Predominam dolinas de dissolução, mas foram registradas pequenas dolinas de abatimento. Não ocorrem campos de dolinas como no carste da região de Lagoa Santa. A área da RPPN abrange um setor peculiar do carste regional.

4. ASPECTOS DA ECOLOGIA DA PAISAGEM DA RPPN

Os aspectos gerais da ecologia da paisagem da RPPN foram obtidos do relatório da Integrar (2017). A área da RPPN é rica em ambientes rupestres associados aos maciços calcários e também em florestas estacionais deciduais que cobrem mais de 50% de sua superfície. Nos trechos em que o Córrego do Barreado corre na superfície do terreno, são registradas matas de galeria sempre verdes. Entremeadas aos maciços calcários e à floresta estacional decidual são observadas pastagens plantadas.

A floresta estacional decidual, também conhecida por mata seca (por suas árvores perderem grande parte ou mesmo a totalidade de suas folhas na estação seca), é característica da RPPN e comumente encontrada associada aos calcários. Na área de estudo destaca-se a alta frequência com que a aroeira (*Myracrodruon*

urundeuva) ocorre, ainda que muitas outras espécies se façam presentes, entre as quais podem ser citadas: peroba (*Aspidosperma* sp), gameleira (*Ficus* sp) e ipê (*Tabebuia* sp). Em porções em que a floresta estacional decidual não é utilizada pelo gado, ela se apresenta bem estruturada, estratificada e com um dossel que atinge cerca de 10 m. Em vários pontos são comuns afloramentos e/ou blocos de calcário no solo, por vezes sobrepostos, gerando uma riqueza de estruturas e nichos para a biocenose autóctone.

Nas áreas planas, entre as linhas rochosas dos afloramentos calcários, a floresta estacional semidecidual foi suprimida ao longo do processo de uso e ocupação em favor de culturas agrícolas e formação de pastagens. Atualmente, essas áreas se encontram cobertas por pastagens plantadas de gramíneas exóticas, como a braquiária. São ambientes monoestruturados e pobres em espécies, em função do manejo a que são submetidos. São áreas pouco extensas, relativamente estreitas e cercadas por ambientes florestais por todos os lados (Figura 3).

Os afloramentos calcários apresentam diferentes tipos de ambientes, sendo que o topo dos maciços (onde ocorrem os pináculos e lapiás) é colonizado por vegetação rupestre, bastante adaptada a uma realidade de baixa disponibilidade hídrica, altas temperaturas e grande insolação. Quando nos paredões calcários as rochas se encontram fraturadas ou são capazes de armazenar solo e/ou matéria orgânica em seus interstícios ou pequenas depressões, espécies de porte arbustivo e arbóreo são observadas, a exemplo de gameleiras (*Ficus* sp) e paineiras (*Ceiba* sp).



Figura 3. Floresta estacional decidual no período úmido, também conhecida por mata seca, é característica da RPPN e comumente encontrada associada aos maciços calcários. Entre os corredores rochosos ocorrem pastagens plantadas, como a braquiária. Foto: Allan Calux.

Os maciços calcários apresentam diversas formas e irregularidades, incluindo cavernas, o que confere uma riqueza de nichos específicos para a fauna e flora associadas a essas formações. No caso da área da RPPN, como já salientamos, destacam-se diversos sumidouros, bem como ressurgências, gerando ricos ecótonos entre os ambientes xéricos e úmidos.

Ao longo dos trechos superficiais do Córrego Barreado se desenvolve uma mata de galeria, com espécies arbóreas que superam 15 m de altura e onde podem ser observadas diversas espécies típicas desse ambiente, como o ingá (*Inga* sp) e a sangra-d'água (*Croton* sp), além do jequitibá (*Cariniana* sp) e a peroba (*Aspidosperma* sp), entre várias outras. Em alguns trechos pode ser observada a presença de touceiras de bambu, plantadas em tempos pretéritos.

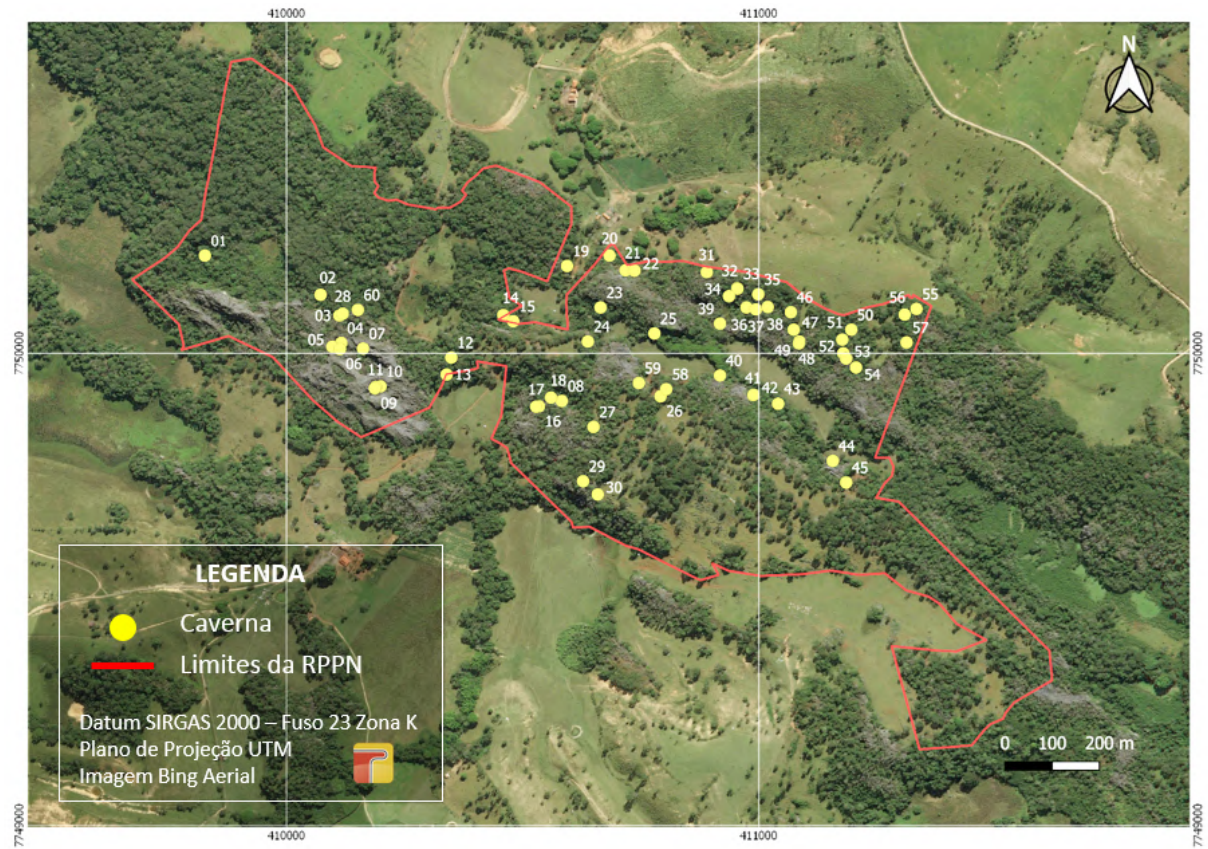
A área apresenta uma elevada heterogeneidade espacial, com uma alta densidade de microhabitats, que propicia um grande potencial para abrigo da fauna. Durante os levantamentos de campo, foram registrados grupos de macacos-prego, tamanduás, além de pegadas e/ou fezes de onça-parda, paca e lontra.

Foi registrada boa conectividade da área da RPPN com outras áreas florestadas presentes no mesmo estirão calcário (que se desenvolve a montante mas, particularmente, a jusante da área), bem como com outros fragmentos florestais da região por meio da mata ciliar do Ribeirão dos Patos, do qual o Córrego do Barreado é afluente da margem esquerda. Pode-se identificar claramente pelo menos dois tipos de corredores interligando tais fragmentos florestais de maior porte no entorno: i) as matas ciliares e ii) pequenos fragmentos florestais isolados associados aos maciços rochosos.

Segundo Meffe e Carroll (1994), corredores em faixas, como as matas ciliares, interconectam os principais recursos da paisagem e possibilitam deslocamentos diários, sazonais ou permanentes de espécies que habitam tanto a borda quanto o interior das florestas, resultando em um mosaico de reservas em nível da paisagem. Ayres *et al.* (2005) ressaltam que mesmo paisagens fragmentadas oferecem oportunidades de deslocamento e intercâmbio entre espécies. Fragmentos florestais isolados, porém próximos, funcionam como stepping stones entre os fragmentos maiores, possibilitando o deslocamento de várias espécies da fauna. A interligação de fragmentos florestais pode reduzir significativamente os impactos causados pela fragmentação ou redução da superfície de uma determinada área florestada.

5. ESPELEOLOGIA

A prospeção espeleológica realizada pela Terradentro Estudos Ambientais identificou, na área da reserva, 70 cavernas. A área apresenta um potencial para mais de uma centena de cavernas, tendo em vista que ainda existem áreas que não foram prospectadas, pois os limites da reserva adquirida só foram conhecidos detalhadamente após o final das negociações de compra e venda. Para a elaboração do diagnóstico das cavernas e da análise de relevância, exigidos pelo TCA, foram selecionadas 60 cavernas (Figura 4).



MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS CAVERNAS DA RPPN

01 Gruta dos Milagres	16 Gruta das Claraboias	31 Gruta Fitocarste	46 Gruta das Aroeiras
02 Gruta do Lamaçal	17 Gruta Escondida	32 Gruta da Coluna	47 Gruta do Canal de teto
03 Gruta Discreta	18 Gruta das Abelhas	33 Gruta da Dolinhinha	48 Gruta Vermelha
04 Gruta das Raízes	19 Gruta do Afluente	34 Gruta dos Pendentes	49 Gruta Retilínea
05 Gruta Dois Andares	20 Gruta do Curral	35 Gruta do Túnel	50 Gruta da Pocinha
06 Gruta da Janela	21 Gruta Jovem	36 Gruta Lenticular	51 Gruta Afunilada
07 Gruta Isolada	22 Gruta do Bambuzal	37 Gruta do Paredão	52 Gruta das Vespas
08 Gruta Cascata de Pedra	23 Gruta da Onça	38 Gruta do Teto Baixo	53 Gruta do Cachorro
09 Grutas dos Coraloides	24 Gruta da Cobra	39 Gruta do Alagadiço	54 Gruta do Pote Branco
10 Gruta das Macambiras	25 Gruta Bonita	40 Gruta da Boquinha	55 Gruta da Escadinha
11 Gruta da Falha	26 Gruta da Morada	41 Gruta da Inundação	56 Gruta Entupida
12 Gruta do Pescador	27 Gruta do Tamanduá	42 Gruta do Anfiteatro	57 Gruta Ex Ical
13 Gruta da Barragem	28 Gruta da Passagem	43 Gruta do Tálus	58 Gruta Taça Jules Rimet
14 Gruta dos Defuntos	29 Gruta do Macaco	44 Gruta da Lagoa Temporária	59 Gruta do Abriguinho
15 Gruta Loxosceles	30 Gruta Alta	45 Gruta do Piso Suspenso	60 Gruta dos Índios

Figura 4. Localização das cavernas da RPPN Luís Beethoven Piló, nas divisas dos municípios de Piumhi e Dorésópolis.

5.1 INSERÇÃO DAS CAVERNAS NA PAISAGEM

A maioria das cavernas da RPPN está posicionada no sopé de maciços calcários residuais, que é a morfologia característica da RPPN. Esses maciços residuais formam uma faixa orientada no sentido NW-SE de aproximadamente 1,5 km de comprimento e 700 m de largura.

No interior de dolinas também foram registradas cavernas. Essas dolinas estão localizadas principalmente no topo ou na borda dos maciços calcários, apresentando paredes rochosas subverticais e piso plano, podendo ocorrer cones de calhaus e matacões.

Nos paredões que limitam o corredor rebaixado, que sofre influência direta do Córrego do Barreado, foi possível registrar várias cavernas. Exemplos de vales cegos podem ser registrados nos sumidouros da Gruta dos Milagres, Gruta do Lamaçal e Gruta da Barragem. São bons exemplos de vales recuados as grutas dos Milagres e Bonita (Figura 5). Todas essas cavernas estão no sopé de escarpamentos, que possuem, em média, 15 m de altura, mas podem chegar a 25 m.



Figura 5. Vale recuado e ressurgência cárstica do Córrego do Barreado na entrada da Gruta Bonita. Foto: Ataliba Coelho

5.2 A ROCHA E AS ESTRUTURAS

As cavernas da RPPN foram geradas exclusivamente na rocha calcária da Formação Sete Lagoas (Grupo Bambuí), incluindo calcários cristalinos, cinzas-escuros, homogêneos, muito bem cristalizados e de granulometria fina (Figura 6 A); calcários finos, laminados, intercalados por brechas intraclásticas (Figura 6 B); calcário cinza com estratificação incipiente e lentes de sílex (Figura 6 C); e calcário bandado com alternância de camadas onduladas escuras e claras, intensamente fraturado e com pequenos deslocamentos (Figura 6 D).

A área de estudo insere-se no contexto geotectônico do extremo sudoeste do cráton São Francisco, tendo sido afetada pelo tectonismo brasileiro, atuante na Faixa Brasília, durante o Proterozoico Superior. O esforço tectônico teve vergência para leste e gerou o cavalgamento do Grupo Canastra (quartzitos, filitos e xistos do Proterozoico Médio) sobre rochas do Grupo Bambuí, a oeste da área da RPPN. O grau de deformação dos calcários na região aumenta de leste para oeste.

Destaca-se inicialmente a atitude da rocha calcária, que, de forma marcante, indicou o predomínio da direção NW/SE com mergulho para SW. Os mergulhos variaram de 12° a 90°, com média de 58° SW. Também foram registradas dobras, fraturas e falhas. As dobras são frequentes nas paredes e nos tetos das cavernas. São dobras centimétricas a métricas predominantemente fechadas com eixos na direção geral NE-SW.

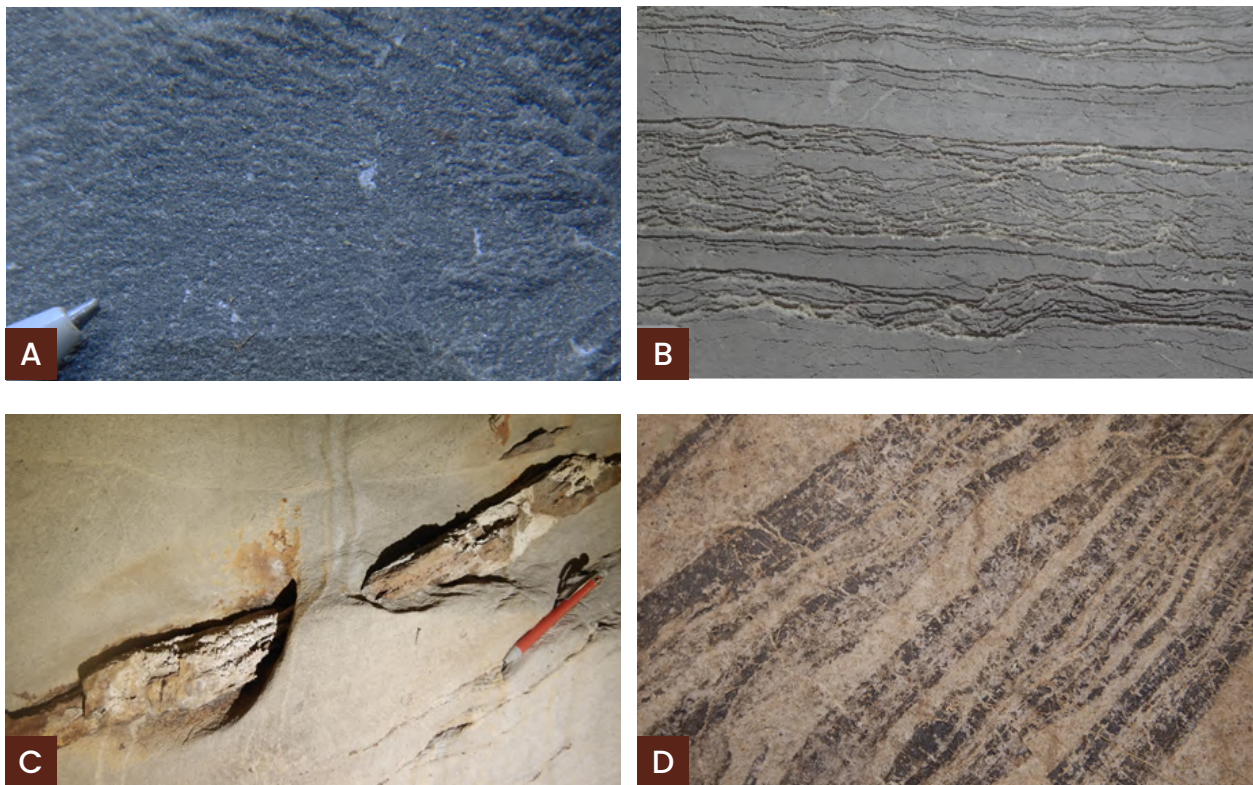


Figura 6. (A) Calcário fino cristalino, cinza azulado escuro e maciço, oriundo de depósitos de plataforma de mar aberto; (B) acamamento alternado de calcário maciço a laminado, intercalado por brechas intraclásticas associado a clastos tabulares; (C) calcário cinza com estratificação incipiente e lentes de sílex; (D) calcário bandado com alternância de camadas claras e escuras. Fotos: Luís B. Piló

Medidas efetuadas em fraturas no interior das cavernas indicam a direção preferencial NW-SE e, NE-SW, de modo secundário. Os mergulhos apresentaram direções preferenciais para SW e, subordinadamente, SE, com ângulos entre 22° e 90° graus. Falhas, com rejeitos centimétricos, também foram registradas nas cavernas. A direção de alinhamentos de condutos e paredes medida nos mapas das 60 cavernas apresentou claramente eixos preferencias NW-SE. Esses alinhamentos refletem de modo claro a influência que a atitude da rocha e as fraturas exerceram sobre o desenvolvimento das cavernas da RPPN.

5.3 DIMENSÕES DAS CAVERNAS

Quanto aos valores dimensionais, foi possível registrar que a maior parte das cavernas apresenta pequena projeção horizontal, desnível, área e volume. A média da projeção horizontal – PH das cavernas foi de 48,5 m, com valor máximo e mínimo de 609,2 (Gruta do Lamaçal) e 6,0 m (Gruta Taça Jules Rimet), respectivamente. A média do desnível das cavernas foi de 5,8 m, com intervalo de variação de 0,9 m (Gruta do Abriguinho) e 24,6 m (Gruta dos Milagres). Já a área das cavernas variou entre 7 m² (Gruta da Cobra) e 3.475,5 m² (Gruta dos Milagres), com média de 231,5 m². O volume médio das cavernas foi de 765,9 m³, com o intervalo entre 3,2 m³ e 19.184,8 m³. Grande parte das cavernas está entre 5 m e 30 m de projeção horizontal.

5.4 MORFOLOGIA SUBTERRÂNEA E SPELEOGENS

Como relatado, as cavernas da RPPN são em sua maioria de pequenas dimensões, o que dificulta uma avaliação do padrão planimétrico. Na realidade, essas feições são pequenos fragmentos de um sistema maior de drenagem subterrânea. Apesar disso, no conjunto de cavernas observado é possível testemunhar um padrão dendrítico. Esse padrão consiste em um conduto principal ativo, representado na área pelo Córrego do Barreado, com condutos laterais tributários.

As seções dos condutos das cavernas são, inicialmente, uma resposta ao alargamento freático, onde predominaram o fluxo laminar e a dissolução em zona saturada. Destacam-se morfologias produzidas por fluxo de água sob pressão, gerando condutos tubulares e elípticos. Essas morfologias foram preservadas do entrincheiramento vadoso, possivelmente indicando um aprofundamento gradual do aquífero.

Também foram observadas morfologias de entalhamento vadoso, ou seja, a ampliação se deu na zona vadosa ou junto à interface de oscilação, podendo gerar zonas de inundações (Figura 7). A dissolução se alia aos processos erosivos, também tendo espaço os processos de abatimentos de tetos e paredes das cavernas, formando os sedimentos clásticos autóctones. Predominam condutos em “chave”, escalonados, meandantes e, de forma incipiente, cânions.



Figura 7. Zona de oscilação do nível freático na Gruta do Lamaçal, alternando períodos secos e inundados. Foto: Ataliba Coelho

Atualmente ocorrem morfologias influenciadas pelos regimes freático, de oscilação e vadoso, associados ao sistema cárstico do Córrego do Barreado. No entanto, a maioria das feições morfológicas observada já está desconectada da dinâmica atual do sistema hidrológico. Essas feições são, na maioria das vezes, vestígios de pequenos tributários do conduto principal.

Foram registrados, nas paredes e tetos das cavernas, pilares, claraboias, paleopisos e *bell holes*. Podemos destacar também os *scallops*, geralmente de impressão tênue. No sistema ativo do Córrego do Barreado, no entanto, bons exemplos de *scallops* podem ser observados nas grutas dos Milagres e da Barragem.

Canais de teto também foram registrados. Duas possibilidades para a ocorrência dessas feições: ou são testemunhos do conduto inicial ou podem registrar formas paragenéticas. Em algumas cavernas, como nas grutas Teto Baixo e Escadinha, é bem evidente que essas feições foram preenchidas por sedimentos clásticos, indicando possíveis formas de processos paragenéticos.

Projeções nos tetos e paredes, denominadas de pendentes, foram observadas. Essas feições são comuns em cavernas que foram preenchidas por sedimentos. Um exemplo muito claro de pendente de origem paragenética foi registrado no nível inferior da Gruta dos Milagres. No entanto, o carste subterrâneo local apresenta uma típica evolução singenética, com processos paragenéticos localizados.

5.5 DEPÓSITOS CLÁSTICOS

Os depósitos clásticos das cavernas da RPPN são tipicamente de origem mista, ou seja, depósitos gerados no interior das cavernas (autóctones), geralmente constituídos por blocos abatidos, e de sedimentos trazidos de fora das cavernas (alóctones), frequentemente contendo siltes e argilas (Figura 8).

Os sedimentos alóctones argilo-siltosos são originados de duas fontes principais: da cobertura de solos ou do sistema fluvial do Córrego do Barreado. Os depósitos originados da cobertura de solos, que localmente recobrem o carste local, apresentam coloração bruno-escuro ou vermelha-amarelada, em decorrência da presença de óxido-hidróxidos de ferro. Apresentam geralmente nódulos ferruginosos milimétricos. Esses sedimentos foram injetados pelas entradas das cavernas através de fluxos hídricos temporários, como também por meio de claraboias e fendas alargadas.



Figura 8. Sedimentos clásticos mistos no piso da Gruta das Aroeiras, originados no interior da caverna (autóctones), constituídos por blocos abatidos, e de sedimentos silto-argilosos trazidos de fora da caverna (alóctones). Foto: Ataliba Coelho.

Os sedimentos lamosos estão presentes particularmente nas cavernas que se encontram na zona de oscilação do lençol freático do Córrego do Barreado, merecendo destaque as grutas dos Milagres, do Lamaçal, do Pescador, entre outras. São sedimentos bruno-claros, homogêneos, constituídos por argilas expansivas.

Merecem destaque os restos de antigas brechas nas paredes e tetos das cavernas. Essas brechas apresentam matriz suportada vermelha e amarelada com clastos arredondados e subarredondados de grânulos e seixos de material ferruginoso. Há claras evidências de que, durante a história evolutiva do carste local, várias cavernas foram preenchidas total ou parcialmente por sedimentos.

5.6 ESPELEOTEMAS

Os espeleotemas estão bem representados nas cavernas da área de estudo. Os mais frequentes foram os escurrimentos e os coraloides. Estalactites, cortinas, represas de travertinos, colunas, crostas estalagmíticas e estalagmites também estão bem representadas nas cavernas. Com menor ocorrência podemos citar crostas delgadas de óxido-hidróxidos de ferro, cascatas e canudos de refresco. Crostas associadas ao guano, helictites e pérolas de caverna são raras nas cavernas cadastradas na RPPN.

No geral, os depósitos químicos registrados são bem típicos e comuns em cavernas carbonáticas (Figura 9). Vale destacar que a maioria das cavernas não apresenta espaços confinados com estabilidade microclimática. Predominam feições de águas circulantes, gotejamentos, infiltração e exsudação (coraloides, escurrimentos, estalactites, etc.). Espeleotemas que exigem ambientes mais estáveis, como os helictites ou gerados por águas estagnadas (perólas de cavernas) ou fontes orgânicas (crostas associadas ao guano), são de restrita ocorrência nas cavernas da RPPN.



Figura 9. Salão ornamentado com colunas, cortinas, cascatas, estalactites, estalagmites e pisos estalagmíticos na Gruta dos Milagres. Foto: Gabriel Lourenço.

6. BIOLOGIA SUBTERRÂNEA

De um modo geral, as cavernas localizadas na área da RPPN, na sua maioria com pequenas dimensões, possuem baixa estabilidade ambiental. A oscilação de parâmetros climáticos do meio superficial tem forte influência sobre as características microclimáticas das cavidades. Entre esses parâmetros encontra-se a luminosidade. Muitas cavernas recebem luz em grande parte da sua área durante o dia. Em metade das cavernas foi registrada apenas zona com incidência luminosa direta e em menos de dez cavernas foram detectadas regiões afóticas, como as grutas dos Milagres, do Lamaçal, entre outras, que apresentam ambientes mais estáveis. Relacionados à presença de luz, organismos fotossintetizantes representados por vegetação de pequeno porte encontravam-se localizados próximo às entradas e claraboias. Na maioria das cavernas a umidade dos substratos, assim como a ocorrência e frequência de gotejamentos, foi maior no período chuvoso em relação ao período seco.

Diferentes recursos tróficos foram registrados no interior das cavidades. Material vegetal e detrito foram encontrados principalmente próximo às entradas, mas também podem ser carregados por drenagens para regiões mais internas durante inundações sazonais, como detectado na Gruta da Barragem. Foi comum o registro de detritos de origem animal esparsos, resultante de animais mortos, restos de alimentação ou fezes antigas. Raízes foram comuns e em sua maioria representadas por feixes finos distribuídos esparsamente pelo piso, embora redes superficiais mais densas, raízes de calibre grosso, feixes escorados em paredes e pendentes de teto também tenham sido observados em algumas cavernas. Fezes de animais vertebrados foram encontradas em grande parte das cavernas. Em muitos casos, os recursos eram antigos, pontuais e estavam exauridos. Guano de morcego foi registrado em 40% das cavernas, sendo identificado guano de morcegos com dieta hematófaga, frugívora, insetívora e carnívora. Fezes de vertebrados não voadores foram encontradas em 60% das cavernas. A maioria dos focos pertencia a anuros, sendo também identificadas fezes de mustelídeo, roedores, lagartos e gado bovino. Entre os registros, destaca-se a Gruta dos Milagres, pela diversidade de tipos de fezes, e a Gruta do Lamaçal, com vários acúmulos de fezes de roedor em zona afótica. Carcaças de animais vertebrados e/ou invertebrados foram registradas esporadicamente (ex. piolhos-de-cobra, grilos, besouros, marsupial, morcego e roedor). Nas grutas dos Milagres e Dois Andares foram identificados acúmulos de ossadas de pequenos vertebrados, indicando antigos locais de regurgitação de bolotas por corujas. Outro recurso encontrado foi um depósito de restos orgânicos descartados por colônias de formiga.

A fauna registrada foi diversificada, compreendendo organismos pertencentes a distintos grupos (Figura 10). No estudo foram registradas cerca de 500 espécies pertencentes a seis filos, 15 classes e 43 ordens. A classe dos insetos foi a mais diversificada (59%), seguida pela classe dos aracnídeos (27%). As ordens mais representativas corresponderam a Hymenoptera (17%), Diptera (13%), Coleoptera (12%) e Araneae (10%).

Um pouco mais da metade das espécies foi registrada em apenas uma (38%) ou duas cavidades (16%). Entre essas espécies estão acidentais, encontradas casualmente nas cavidades. A diversidade de acidentais potenciais é igual à diversidade total de organismos epígeos da região (TRAJANO; BICHUETTE, 2006), especialmente quando áreas de zona de entrada são consideradas. Entretanto, embora não sejam consideradas cavernícolas, espécies acidentais podem ser importantes fontes de recursos dentro de sistemas subterrâneos.

A quantidade de morfoespécies registrada em ao menos um terço das cavernas, ou seja, 20 ou mais cavernas foi relativamente menor ($n=40$; 8%). Entre elas estão aranhas *Leptopholcus* sp., *Mesabolivar togatus*, *Symphytognatha carstica* e *Cuacuba* sp., opiliões *Mitogoniella taquara*, piolhos-de-cobra *Broelemannopus* sp., colêmbolos *Seira xinguensis*, dípteros Phlebotominae sp., hemípteros Cixiidae sp. e Kinnaridae sp.,

formigas *Camponotus* sp., *Gnamptogenys* sp., e *Solenopsis* sp., mariposas Noctuidae sp., grilos *Eidmanacris* sp. e *Endecous painensis*, psocópteros *Nepticulomina* sp. e *Psyllipsocus* sp. Também foram frequentes larvas de dípteros Keroplatidae e neurópteros Myrmeleontidae, lagartas de mariposas registradas no período úmido e jovens hemípteros Emesinae, Reduviinae e Cixiidae. Muitos dos táxons registrados correspondem a representantes que se inserem em grupos esperados em meios subterrâneos (CIZAUSKAS, 2017; PINTO-DA-ROCHA, 1995; TRAJANO; BICHUETTE, 2009) e têm sido registrados em cavidades de Minas Gerais, incluindo outras áreas da região cárstica de Pains (SOUSA, 2014; ZAMPAULO, 2010).

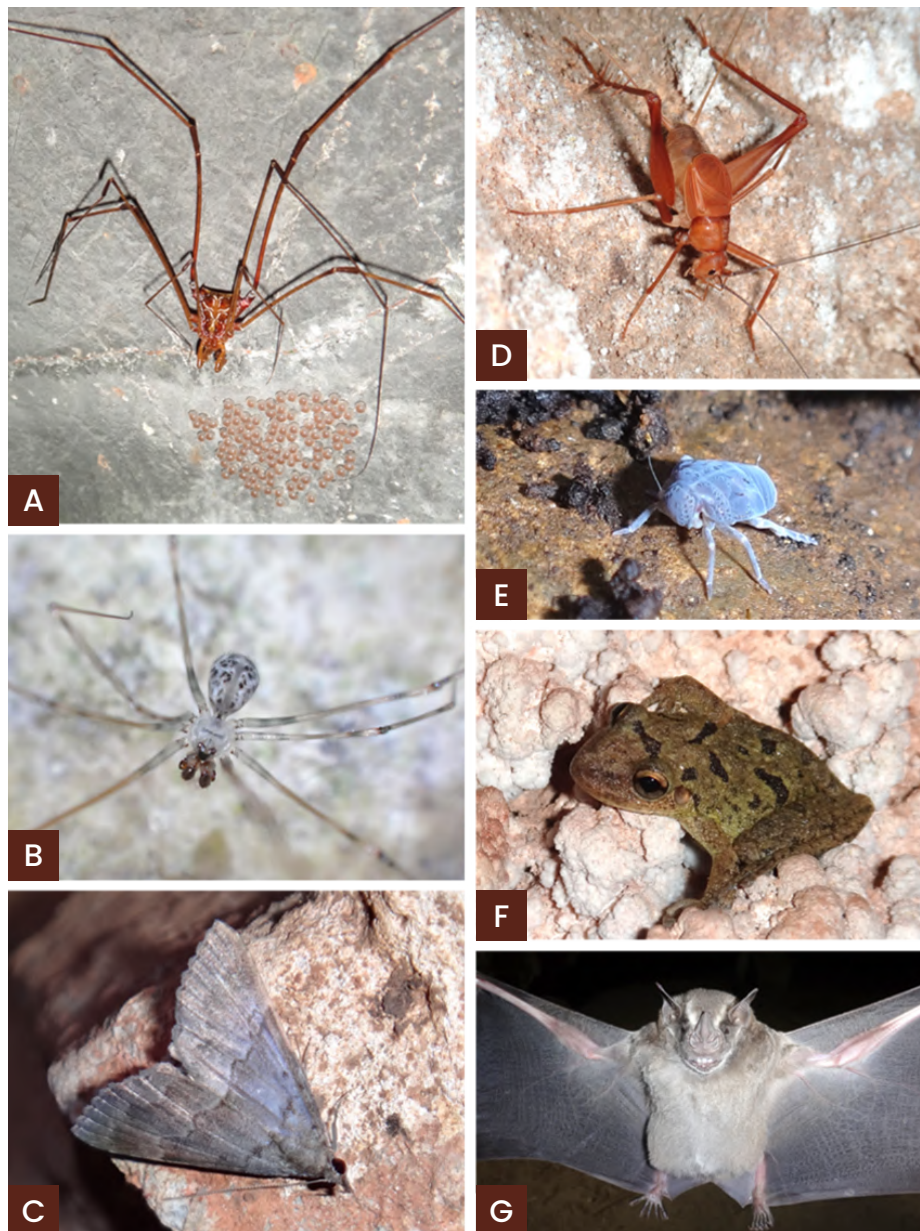


Figura 10. Espécimes da fauna registrada: (A) Opilião *Mitogoniella taquara* com ovos; (B) Aranha *Leptopholcus* sp.; (C) Mariposa Noctuidae sp.; (D) Grilo *Endecous painensis*; (E) Cigarrinha Cixiidae; (F) Anuro *Scinax fuscovarius*; (G) Morcego *Artibeus fimbriatus*. Fotos: Renata Andrade.

Dezenove espécies de invertebrados, nas ordens Araneae, Collembola, Opiliones, Orthoptera e Trombidiformes, foram consideradas como novas por especialistas. Uma delas, *Endecous painensis*, foi descrita recentemente (CASTRO-SOUZA *et al.*, 2020).

O piolho-de-cobra *Pseudonannolene ambuatinga* consta na lista nacional oficial de espécies da fauna ameaçadas de extinção (MMA Portaria no 148, de 7 de junho de 2022), na categoria em perigo (EN). Essa espécie foi identificada nas grutas dos Milagres, do Lamaçal, Bonita e da Dolinha, todas com regiões afóticas e climaticamente mais estáveis. Trata-se de uma espécie troglóbia, restrita ao ambiente subterrâneo, já registrada em cavernas de Pains (INIESTA; FERREIRA, 2013). Além de *P. ambuatinga*, outras cinco espécies troglomórficas potencialmente troglóbias foram registradas e compreendem uma aranha, um opilião, um pseudoescorpião e dois colêmbolos (Figura 11). Os táxons citados possuem distribuição mais ampla, com ocorrência em cavernas fora da área da RPPN.

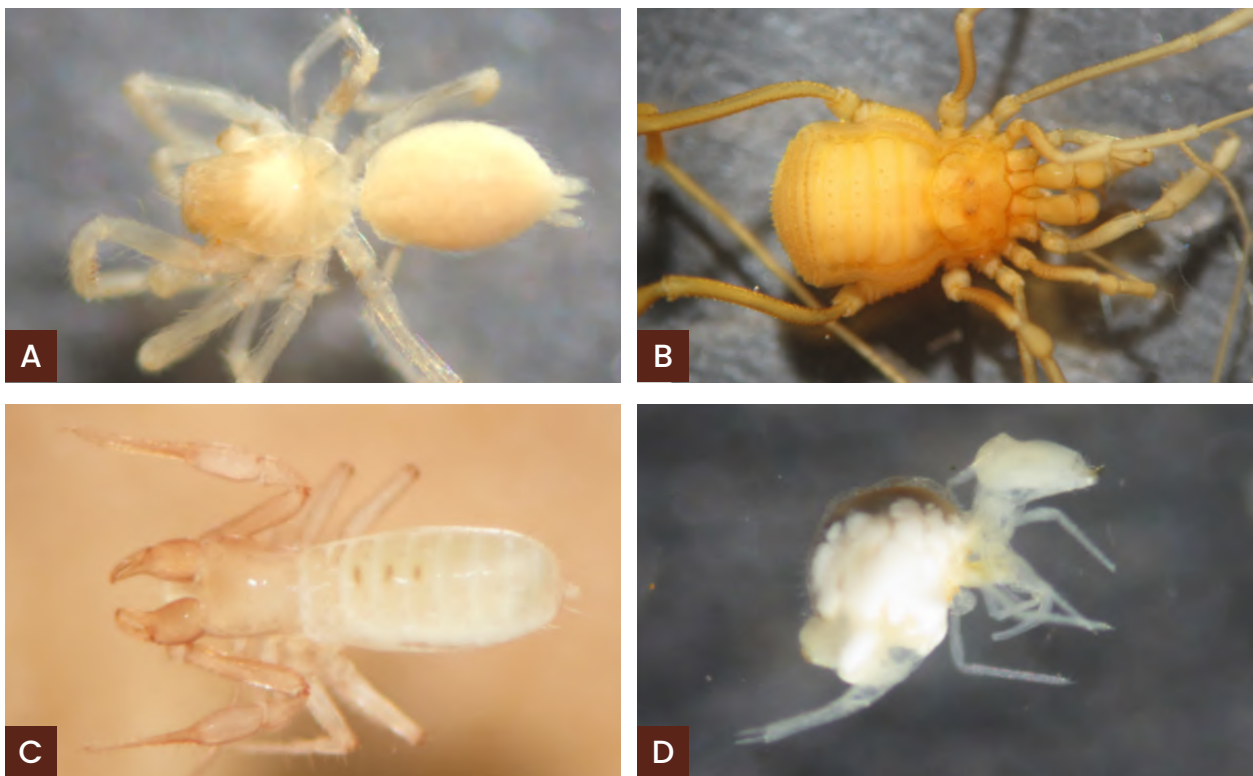


Figura 11. Espécimes troglomórficos/troglóbios registrados no estudo: (A) Aranha Prodidomidae (jovem); (B) opilião *Paratrichomatus* sp.1; (C) Pseudoescorpião *Pseudochthonius* sp.; (D) Colêmbolo *Pararrhopalites* sp. Fotos: Renata Andrade.

Animais troglomórficos/troglóbios foram registrados em 13 cavernas. A Gruta do Lamaçal destacou-se pelo maior número de troglóbios (cinco), seguida pelas grutas dos Milagres, Bonita e Escadinha, com três troglóbios.

Considerando os animais vertebrados, nas cavernas da RPPN foram registrados espécimes de peixes, anuros, lagarto e morcegos. Foram registrados lambaris e piabas, sendo avistados à beira de drenagens e também em região de claraboia na Gruta do Pescador. O anuro *Scinax fuscovarius* foi frequente, especialmente considerando a campanha úmida, e registrado em 18 cavidades. Ainda em relação à herpetofauna, apenas um espécime do lagarto *Tropidurus torquatus* foi observado na Gruta do Pescador. A andorinha *Pygochelidon cyanoleuca*, considerada localmente migratória (PEREIRA; MELO, 2010; SILVA; NAKANO, 2008), foi encontrada em zona de entrada no setor noroeste da Gruta dos Milagres. Na campanha seca, alguns indivíduos foram

observados sobrevoando o local e, na úmida, um adulto e três filhotes encontrados em ninho localizado em reentrância da rocha. Algumas andorinhas também ocupavam o paredão externo contíguo à Gruta da Barragem. Vestígios de aves nas cavernas incluem a presença de dois ninhos abandonados na Gruta da Onça, um ninho abandonado na Gruta dos Milagres e ossos de ave na entrada da Gruta da Cobra.

Morcegos, comuns em cavernas, apresentaram baixa ocorrência na área da RPPN. Foram representados por ao menos seis espécies (*Artibeus fimbriatus*, *Carollia* sp., *Desmodus rotundus*, *Glossophaga soricina*, *Myi-
cronycteris* sp. e *Myotis nigricans*) e registrados em nove cavernas ao menos em uma campanha de campo. Entre os morcegos amostrados, estão frugívoros, hematófagos, insetívoros e nectarívoros. Colônia com registro em ambas as campanhas ocorreu apenas na Gruta dos Milagres, onde foi observado pequeno grupo familiar de *Artibeus fimbriatus*. Todos os táxons citados apresentam ocorrência no estado de Minas Gerais (TAVARES *et al.*, 2010). Conforme proposta apresentada por Guimarães e Ferreira (2014), os táxons registrados neste inventário são classificados como cavernícolas oportunistas (espécies que usam cavernas de forma oportuna, mas rotineiramente utilizam outro tipo de abrigo).

As cavernas da região são esporadicamente visitadas por outros mamíferos, fato atestado pelo registro de pegadas e/ou fezes, na sua maioria em região de entrada: lontra, canídeo, paca, cutia, mão-pelada, roedor, tamanduá, macaco-prego e até mesmo onça-parda (pegadas registradas na entrada da Gruta da Onça). Também foram registradas em algumas cavernas ossadas isoladas pertencentes a morcegos, roedores, marsupiais e gado bovino.

A riqueza média encontrada, considerando dois períodos sazonais, foi de 54 espécies. A amplitude de riqueza total variou entre 14 (Gruta da Pocinha) e 146 (Gruta do Pescador) espécies. Seis cavernas apresentaram riqueza acima ou próxima a 100 espécies: grutas dos Milagres, do Lamaçal, do Pescador, dos Defuntos, da Onça e Bonita. Essas cavernas possuem as maiores áreas entre o conjunto estudado. Para comparação, estudo conduzido em 56 cavernas na região, com amostragens em duas campanhas sazonais, obteve uma média de 40 espécies, e a riqueza faunística das cavernas variou entre 18 e 105 espécies (SPELAYON, 2014). Pode-se destacar, na região, a Gruta do Éden, localizada nas proximidades de Pains, com riqueza de 98 espécies (SOUSA, 2014).

A média da riqueza para a campanha seca foi de 28 e, para a campanha úmida, de 41 espécies. Os valores estão próximos à riqueza média (35 espécies) obtida em estudo conduzido por Zampaulo (2010), considerando cerca de 300 cavidades inseridas na região de Pains e um evento de coleta. Para a maioria das cavernas (90%), a riqueza do período úmido foi maior em relação à riqueza da seca, e a riqueza média diferiu estatisticamente entre a estação seca e chuvosa.

Foi encontrada uma relação positiva entre riqueza de espécies, área e projeção horizontal das cavidades, isto é, as grutas de maior tamanho e mais extensas apresentaram uma maior riqueza de espécies. Cavidades que são integrantes do sistema de drenagem do Córrego do Barreado apresentaram uma riqueza média de espécies maior em relação a cavidades que não possuíam essa característica. Foi também verificado que cavidades que apresentam apenas floresta ao seu redor possuem uma riqueza de espécies média maior que cavidades com floresta e pastagem no entorno próximo.

7. SÍTIOS ARQUEOLÓGICOS

A região cárstica de Pains foi ocupada durante o Holoceno por dois grupos bem definidos: os caçadores-coletores e os horticultores ceramistas. Para o grupo caçadores-coletores, já existem datações radiocarbônicas de 10 mil anos AP, na Gruta da Matinha (KOOLE, 2014), onde foi escavado material lítico muito

homogêneo apresentando dois horizontes (foi encontrado, no fundo da Escavação 4, uma concentração de material diferenciado, com ausência de pontas de projétil de pedra e destaque para peças unifaciais como plano-convexas) (KOOLE, 2014). Uma ponta de projétil dessa indústria foi encontrada superficialmente na região do Córrego do Barreado (KOOLE, 2007).

Estudos dos grupos horticultores ceramistas (últimos 2 mil anos AP) indicam uma possível ocorrência de duas tradições na região: Tradição Una, mais antiga, e Tradição Sapucaí, mais recente, destacando grandes potes para armazenagem de líquidos, grãos, urnas funerárias, pequenas vasilhas, entre outros utensílios (HENRIQUES, 2006).

Na área da RPPN foram registrados vestígios arqueológicos superficiais em 16 cavernas (Figura 12), representando 26% do total de cavernas estudadas, onde foram anotados material cerâmico, lítico, restos humanos e sedimentos antropogênicos com potencial para escavações arqueológicas.



Figura 12. (A) Gruta da Morada, onde foram registrados vários artefatos arqueológicos; (B) fuso; (C) mão de pilão; (D) fragmentos de pote cerâmico na Gruta da Morada; (E) pote cerâmico na Gruta do Pote Branco; e (F) núcleo de cristal de quartzo para fabricação de lascas na Gruta dos Milagres. Fotos: Luís B. Piló.

A Gruta dos Milagres apresentou grande quantidade de restos cerâmicos, além de um núcleo de quartzo para obtenção de lascas. Nessa caverna também foram constatados, na estrada a jusante do Córrego do Barreado, sedimentos arqueológicos com níveis de fogueira. Na entrada da Gruta Isolada foram registrados fragmentos de uma calota craniana e dentes humanos. Na Gruta dos Defuntos foram exumados ossos humanos (Arqueólogo Gilmar Henriques – Informação verbal). Na Gruta da Morada foram identificados restos de potes cerâmicos, mão de pilão (ferramenta para triturar e macerar vegetais) e fusos (instrumento utilizado na tecelagem para fiar algodão). Na Gruta do Pote Branco foi registrado um pote cerâmico inteiro. Na Gruta dos Índios foram observados grandes fragmentos cerâmicos.

8. DIRETRIZES GERAIS PARA O PLANO DE MANEJO DA RPPN

A RPPN é uma unidade de conservação de domínio privado criada com o objetivo de conservar a diversidade biológica e outros atributos, como cavernas e seus componentes físicos, além de um conjunto de formas superficiais do carste e sua típica drenagem. É a única categoria de unidade de conservação prevista no Sistema Nacional de Unidade de Conservação da Natureza (SNUC) que permite a participação direta da sociedade civil no processo de ampliação das áreas protegidas no País (ICMBIO, 2015).

A legislação vigente permite que na RPPN ocorra o desenvolvimento de atividades de pesquisas científicas e de visitação com fins turísticos, recreativos e educacionais. A propriedade de uma RPPN também dá acesso às políticas públicas específicas de incentivos, como isenção do Imposto Territorial Rural (ITR) e prioridade na análise para concessão de recursos oriundos do Fundo Nacional do Meio Ambiente – FNMA. Por outro lado, um dos deveres do proprietário é elaborar o Plano de Manejo de sua reserva (Decreto nº 4.430/2002), mediante a definição de um zoneamento e de normas que devem presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais.

O Plano de Manejo da RPPN está sendo elaborado sob um enfoque multidisciplinar, valorizando as particularidades da área. Ele refletirá um processo lógico de diagnóstico e planejamento. No processo estão sendo analisadas informações de diferentes naturezas, tais como dados bióticos e abióticos, socioeconômicos, históricos e culturais de interesse e como estes se relacionam.

No zoneamento da RPPN Luís Beethoven Piló está sendo prevista uma ampla Zona de Proteção, dedicada à proteção do sistema cárstico local e da vegetação associada. Uma pequena Zona de Administração também já foi selecionada. Uma Zona de Visitação ainda está em discussão, mas certamente um grupo de cavernas poderá ser utilizado para pesquisas e visitas educacionais. Zonas de Recuperação também serão propostas, envolvendo o incremento da mata ciliar, além da contenção de processos acelerados de erosão.

Os programas de manejo, por sua vez, visam cumprir os objetivos definidos em cada zona de uso e estabelecer normas e diretrizes para o desenvolvimento de todos os projetos da RPPN. Incluem ações e recomendações que têm interface com a propriedade e com a área de entorno.

Alguns programas de manejo já estão sendo previstos para a RPPN, incluindo:

- Programa de Proteção da RPPN. Como relatado, a entrada de gado no interior das florestas não apenas degrada o sub-bosque, mas impede sua regeneração, levando à senescência e supressão florestal em longo prazo. O cercamento da área terá prioridade, além de ações de prevenção de incêndios;

- Programa de Recuperação da Mata Ciliar. Esse programa será direcionado, particularmente, para a Área de Preservação Permanente – APP ao longo dos trechos superficiais do Córrego do Barreado;
- Programa de Contenção da Erosão. A erosão é provocada pelo trânsito do gado na área, especialmente em áreas de maior declividade. Essas trilhas e focos erosivos devem ser tratados de forma a evitar sua expansão e o carreamento de sedimentos para o Córrego do Barreado;
- Programa de Pesquisa e Visitação Educacional. A RPPN Luís Beethoven Piló apresenta um rico patrimônio natural e cultural, merecedor de pesquisas que ampliem o conhecimento da área e contribuam para a gestão da RPPN.

9. CONCLUSÕES

A RPPN Luís Beethoven Piló apresenta um feixe de atributos naturais e culturais que a coloca em destaque na região cárstica de Pains. A reserva abrange uma paisagem tipicamente cárstica, destacando um conjunto de expressivos maciços calcários intensamente lapiezados. Dolinas rochosas com a presença de capões ocorrem de forma surpreendente no topo de alguns maciços. O Córrego do Barreado, na área da RPPN, foi capturado para o sistema subterrâneo, apresentando trechos de drenagem superficial e outros de drenagem subterrânea, gerando sumidouros, ressurgências, vales cegos e recuados, ou seja, uma expressiva diversidade de formas cársticas.

As cavernas apresentaram um conjunto bem representativo de testemunhos de um sistema dendrítico singenético, com processos paragenéticos localizados. A fauna cavernícola inventariada mostrou-se diversificada. Dezenove espécies de invertebrados, nas ordens Araneae, Collembola, Opiliones, Orthoptera e Trombidiformes foram consideradas como novas pelos taxonomistas. Cinco espécies troglomórficas potencialmente troglóbias foram registradas, além de uma espécie troglóbia já descrita.

A área da RPPN é rica em ambientes rupestres associados aos maciços calcários e também de florestas estacionais decíduais. Nos trechos em que o Córrego do Barreado corre superficialmente foram registradas vistosas matas de galeria. Ocorre uma boa conectividade da reserva com outras áreas florestadas presentes por meio da continuidade dos maciços calcários, como também de outros fragmentos florestais da região por meio da mata ciliar.

Foram constatados vestígios arqueológicos em várias cavernas da RPPN. Foi revelado, superficialmente, um importante acervo da cultura material, incluindo material cerâmico, ponta de projétil, mão de pilão, fusos, vestígios humanos e sedimentos antropogênicos. São testemunhos da ocupação durante o Holoceno de dois grupos humanos bem definidos na região: os caçadores-coletores e os horticultores ceramistas.

A criação da RPPN Luís Beethoven Piló é uma importante contribuição para a ampliação das áreas protegidas na região cárstica de Pains, fundamentais como estratégia para a conservação da geo e da biodiversidade regional.

HOMENAGEM E AGRADECIMENTOS

Este capítulo é uma pequena homenagem a Saulo R. O. Resende, grande biólogo que nos deixou precocemente e que contribuiu de forma decisiva na avaliação da área para criação da RPPN. Agradecimentos aos técnicos e pesquisadores que participaram dos estudos efetuados na área, incluindo Ataliba Coelho, Sílvio Muniz, Leonardo Xavier, José Geraldo de Freitas, Adelmo Avelino, Marco Cesar Silveira, Livia Dorneles Audino, Juliana Mascarenhas Veloso, Daniele Pedrosa de Oliveira, Felipe dos Santos Paula e Luana da Silva.

REFERÊNCIAS

ARTEFACTTO CONSULTORIA. **Indicativo de ações e áreas para compensação espeleológica da Mina Várzea do Lopes na Região de Arcos, Pains e Doresópolis**, 2014, 23p.

AYRES, J. M. *et al.* **Os Corredores das Florestas Tropicais do Brasil**. Sociedade Civil Mamirauá. Belém – PA, 2005.

BARBOSA, G. V. Notícias sobre o Karst na Mata de Pains. **Boletim Mineiro de Geografia**, v. 2, p. 3-21, 1961.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Programa Zoneamento Ecológico-Econômico. **Caderno de Biodiversidade**. 1. ed., 2009, 211p.

CASTRO-SOUZA, R. A.; JUNTA, V. G. P.; FERREIRA, R. L. Description and ecology of a new species of the cricket genus *Endecous* (Orthoptera: Grylloidea: Phalangopsidae) in the speleological province of Arcos-Pains-Doresópolis, Southeastern Brazil. **Zootaxa** (on-line), v. 4821, p. 305-332, 2020.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS - CECAV. **Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas**, 2021.

CIZAUSKAS, I. **Análise da diversidade funcional e dos padrões de riqueza de aranhas cavernícolas do Brasil e um modelo de mapeamento**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2017, 85p.

DRUMMOND, G. M. *et al.* Fatores Abióticos. In: **Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação**. 2. ed. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005, p. 222.

GUIMARÃES, M. M.; FERREIRA, R. L. Morcegos cavernícolas do Brasil: novos registros e desafios para conservação. **Revista Brasileira de Espeleologia**, v. 2, n. 4, p. 1-33, 2014.

HADDAD, E. A. **Influência antrópica na qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Rio São Miguel, carste do Alto São Francisco, MG**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências IGC – UFMG, 2007.

HENRIQUES, J. **Arqueologia regional do Rio São Miguel, Bacia do Alto São Francisco: cronologia das ocupações Una e Sapucaí**. Dissertação (Mestrado) – Museu de Arqueologia e Etnologia da USP. São Paulo, 2006.

INIESTA, L.F.M; FERREIRA, R.L. Two new species of *Pseudonannolene* Silvestri, 1895 from Brazilian limestone caves (Spirostreptida: Pseudonannolenidae): syntopy of a troglophilic and a troglotrophic species. **Zootaxa** 3702: 357-369, 2013.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE - ICMBio. **Roteiro metodológico para elaboração de plano de manejo para Reservas Particulares do Patrimônio Natural**/José Luciano de Souza, Célia Lontra Vieira, Desirre Cristiane Barbosa da Silva - Brasília: 2015

INSTITUTO TERRA BRASILIS. **Seleção de 4 áreas com potencial para criação de RPPN no carste de Arcos, Pains e Doresópolis, MG**, 2015, 49p.

INTEGRAR CONSULTORIA AMBIENTAL. **Análise de área para criação de uma unidade de conservação.** Área cárstica do Córrego do Barreado – Doresópolis, MG, 2017, 13p.

KOOLE, E. K. M. **Caracterização arqueológica dos grupos caçadores-coletores a partir da análise de sete elementos e suas implicações para a pré-história da Região Cárstica do Alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil: cronologia, tecnologia lítica, subsistência (fauna), sepultamentos, mobilidade, uso do espaço em abrigos naturais e arte rupestre**, Tese de doutorado, MAE/USP, 2014, 564p.

KOOLE, E. K. M. **Pré-história da Província Cárstica do Alto São Francisco**, Minas Gerais: a indústria lítica dos caçadores-coletores arcaicos. Dissertação (Mestrado) – Museu de Arqueologia e Etnologia da USP. São Paulo, 2007.

MAGALHÃES, P. M. **Análise estrutural das rochas do Grupo Bambuí na porção sudoeste da Bacia do São Francisco**. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), 1989, 105p.

MEFFE, G. K.; CARROLL, C. R. **Principles of Conservation Biology**. Sinauer Assoc. Inc, Sunderland – MA, USA, 1994.

MELO, P. H. A. D. *et al.* Floristic composition of angiosperms in the karst of upper São Francisco river, Minas Gerais state, Brazil. **Rodriguésia**, v. 64, n. 1, p. 29-36, 2013.

NOGUEIRA, C. O. G. **Sustentabilidade da atividade minerária no polo minero industrial da Microrregião de Formiga, MG**. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras (UFLA), 2016, 135p.

PEREIRA, Z. P.; MELO, C. Nidificação da andorinha-azul-e-branca (*Pygochelidon cyanoleuca*) em ambiente urbano do Sudeste do Brasil. **Biotemas**, v. 23, n. 3, p. 117-123, 2010.

PILÓ, L. B. Rochas carbonáticas e relevos cársticos em Minas Gerais. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 19, n. 3, p. 72-78, 1997.

PINTO-DA-ROCHA, R. Sinopse da fauna cavernícola do Brasil (1907-1994). **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 39, n. 6, p. 61-173, 1995.

PIZARRO, A. P.; FRIGO, F. J. G.; CAMPELO, M. S. **Atualização da Distribuição de Cavidades Significativas da Província Carbonática Espeleológica de Arcos-Pains-Doresópolis**. 13TH INTERNATIONAL CONGRESS OF SPELEOLOGY. Brasília. p. 245-248, 2001.

SILVA, L. A. C.; NAKANO, C. A. Avifauna em uma Área de Cerrado no Bairro do Central Parque, Município de Sorocaba, São Paulo, Brasil. **Revista Eletrônica de Biologia**, v. 1, n. 1, p. 36-61, 2008.

SOUSA, P. R. A. **Da superfície ao subterrâneo:** um estudo das influências do habitat físico na estrutura da comunidade em um hotspot de biodiversidade subterrânea. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2014, 72p.

TAVARES, V. C. *et al.* Bats of the state of Minas Gerais, southeastern Brasil. **Chiroptera Neotropical**, v. 16, n. 1, p. 150-152, 2010.

SPELAYON CONSULTORIA. **Análise de Relevância de Cavidades. Projeto Corumbá.** Arcos, MG. 70p, 2014

TEIXEIRA, P. S. D.; DIAS, M. S. Levantamento Espeleológico da Região Cárstica de Arcos, Pains, Doresópolis, Córrego Fundo e Iguatama, diante das atividades degradadoras. XXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA. Januária. **Anais [...]** p.193-199, 2003.

TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. **Biologia Subterrânea.** 1. ed. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2006. v. 1, 92 p.

TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. A. Diversity of Brazilian subterranean invertebrates, with a list of troglomorphic taxa. **Subterranean Biology**, v. 7, p. 1-16, 2009.

ZAMPAULO, R. A. **Diversidade de Invertebrados Cavernícolas na Província Espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG):** subsídios para determinação de áreas para conservação. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras (UFLA), 2010, 190p.



Este livro oferece aos leitores, pela primeira vez, uma síntese sobre a região cárstica de Pains, localizada no centro-oeste do estado de Minas Gerais. Até o momento, já são conhecidas, nessa localidade, mais de 2.500 cavernas, incluindo importantes sítios arqueológicos e paleontológicos. O livro revela, de forma objetiva e clara, a geologia, a hidrologia, a vegetação, a geomorfologia e a espeleologia da região. Apesar da grande importância, o carste de Pains está sob forte pressão ambiental. É necessário avançar em uma gestão ambiental eficiente, envolvendo os setores público, empresarial e a comunidade, buscando o desenvolvimento socioeconômico com boas práticas ambientais, incluindo a ampliação de áreas protegidas em uma das regiões cársticas mais importantes do Brasil.



MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

