

# GEOESPELEOLOGIA DA GRUTA DOS RODRIGUES, IPORANGA (SP)

## GEOSPELEOLOGY OF THE RODRIGUES CAVE, IPORANGA (SÃO PAULO STATE, BRAZIL)

Bruno Cirilo Consentino (1); William Sallun Filho (2); Bruno Daniel Lenhare (3)

- (1) GEOKLOCK Consultoria e Engenharia Ambiental Ltda. São Paulo SP.  
(2) Instituto Geológico (IG), Secretária de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo. São Paulo SP.  
(3) Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista (UNESP). Rio Claro SP.

Contatos: [brunoconsentino498@gmail.com](mailto:brunoconsentino498@gmail.com); [wfilho@sp.gov.br](mailto:wfilho@sp.gov.br); [brunolenhare@gmail.com](mailto:brunolenhare@gmail.com).

### Resumo

A Gruta dos Rodrigues está localizada no entorno do Parque Estadual Intervales, Iporanga (SP). Está desenvolvida em rochas carbonáticas proterozoicas do Subgrupo Lajeado, localizada geomorfologicamente entre o planalto de Guapiara e Serra de Paranapiacaba, entre as cabeceiras dos rios Paranapanema e Ribeira de Iguape, em altitude de 850m. Possui desenvolvimento de 386m e desnível de 44m segundo mapeamento do GPME. A realocização da caverna situou-a quase acima da Gruta dos Paiva, uma das maiores do estado, ainda sem conexão. Os condutos superiores apresentam morfologia anastomosada em planta (fase de iniciação), desenvolvidos ao longo dos planos de acamamento horizontalizados e possivelmente em ambiente de recarga difusa. As galerias inferiores, mais jovens, estão em ambiente vadoso, originando seções em cânions amplos, cortando o acamamento inclinado, e padrão de condutos retilíneos a sinuosos, ao longo das camadas dobradas. Há abundante presença de espeleotemas comuns e de outros raros como tower coral, flores de gipsita e provavelmente o primeiro registro de ardealita ( $\text{Ca}_2(\text{HPO}_4)(\text{SO}_4)\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) em cavernas no Brasil. Além dos espeleotemas existem acúmulos de sedimentos, ossos e conchas. Os trabalhos na Gruta dos Rodrigues ressaltam sua importância, sua vulnerabilidade e esses resultados podem servir de suporte para futura proteção da gruta.

**Palavras-Chave:** Carste; Gruta dos Rodrigues; Parque Estadual Intervales; geoespeleologia; ardealita.

### Abstract

*The Rodrigues Cave is located around the Intervales State Park, Iporanga (SP). It is developed in proterozoic carbonate rocks of the Lajeado Subgroup, located geomorphologically between the Guapiara plateau and Serra de Paranapiacaba, between the headwaters of the Paranapanema and Ribeira de Iguape rivers, at an altitude of 850m. It has a 386m development and a 44m depth according to the GPME mapping. The relocation of the cave located it almost above the Paiva Cave, one of the largest in the state, still without connection. The superior galleries present anastomosed morphology in plant (initiation phase), developed along horizontal planes of bedding and possibly in a diffused recharge environment. The lower galleries, younger, are in vadose environment, originating sections in wide canyons, cutting the inclined bedding, and pattern of straight lines to sinuous, along the folded layers. There is abundant presence of common speleothems and other rare ones such as tower coral, gypsum flowers and probably the first record of ardealite ( $\text{Ca}_2(\text{HPO}_4)(\text{SO}_4)\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) in caves in Brazil. Besides the speleothems there are accumulations of sediments, bones and shells. The work in the Rodrigues Cave emphasizes its importance, its vulnerability and these results can serve as support for future protection of the cave.*

**Key-Words:** Karst; Rodrigues Cave; Intervales State Park; geoespeleology; ardealite.

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo geoespeleológico envolve a utilização de diversos métodos para possibilitar a caracterização e a compreensão da gênese de uma cavidade.

A Gruta dos Rodrigues (SP-440) é uma caverna desenvolvida em rochas carbonáticas

proterozóicas do Subgrupo Lajeado, situada no entorno do Parque Estadual Intervales, município de Iporanga (SP). Possui desenvolvimento e desnível significativos para esta região, com uma grande variedade de espeleotemas, incluindo alguns raros e de composição mineralógica exótica, fósseis, fatos que impulsionaram este estudo. Além disso, a Gruta dos Rodrigues está na Zona de Amortecimento do

Parque Estadual Intervales (PEI) em zona definida no plano de manejo desta unidade como “Proteção Integral do Carste” (FURLAN; LEITE, 2008). Apesar deste setor ser em geral pouco susceptível a impactos ambientais por estar situado dentro ou no entorno de Unidades de Conservação, o alto grau de carstificação e a posição topográfica como cabeceiras de drenagens o torna vulnerável (SALLUN FILHO et al., 2010; LENHARE, 2014; LENHARE; SALLUN FILHO, 2019), sendo necessária a proteção da área.

Assim, os objetivos deste trabalho abrangem a geoespeleologia e a espeleogênese da Gruta dos Rodrigues, incluindo a análise estrutural, caracterização das formas e tipos de espeleotemas, análise da morfologia da caverna em planta e dos condutos em perfil. As informações espeleológicas levantadas durante trabalhos de campo, para compreensão da evolução do carste neste setor podem servir de suporte a futuros estudos e programas ambientais na região.

## 2. METODOLOGIA

O estudo geoespeleológico se iniciou com pesquisas da geologia, geomorfologia e do carste local a fim de entender o contexto em que a gruta está inserida, e para tal foram utilizados dados regionais compilados a partir de trabalhos anteriores.

A Gruta dos Rodrigues (SP-440) situa-se na porção centro-oeste do corpo carbonático mais expressivo da região do Parque Estadual Intervales (Figura 1). Nesta região ocorrem importantes áreas cársticas, em corpos carbonáticos que se localizam geomorfologicamente entre os planaltos de Guapiara e do Ribeira (Serra de Paranapiacaba), entre as cabeceiras dos rios Paranapanema e Ribeira de Iguape. A Gruta dos Rodrigues encontra-se na Bacia do Rio Bocaina-Lajeado (cabeceiras da Bacia do Rio Ribeira), área de maior desenvolvimento cárstico na região com Sistema Fendão-Fendãozinho, Sistema Bocão-Paiva e grutas da Água Luminosa e Arcão (LENHARE; SALLUN FILHO, 2014).

Após esta etapa inicial, foram realizadas saídas de campo para coleta de dados específicos e detalhados na caverna. Nesta etapa foram levantados os perfis e medidas de elementos estruturais e registro fotográfico dos condutos e depósitos. Todas as entradas da caverna, passíveis de identificação, tiveram suas coordenadas registradas em GPS (zona 22J, Datum SAD69), para georreferenciamento das mesmas e localização regional da caverna. Um correto posicionamento geográfico é importante para o estudo geoespeleológico, para relacionar a caverna com a superfície, base geológica e outras cavernas e feições cársticas.

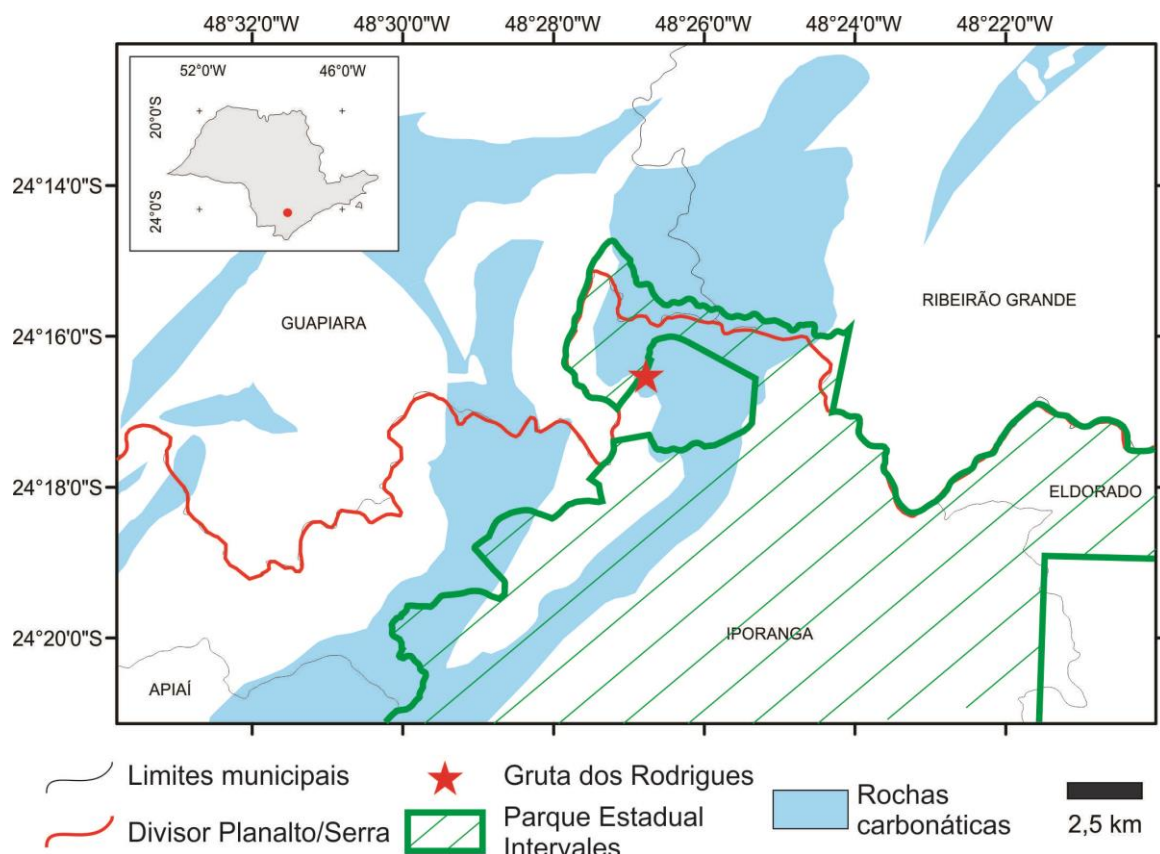


Figura 1: Localização da Gruta dos Rodrigues na cidade de Iporanga, SP.

A caverna foi mapeada pelo Grupo Pierre Martin de Espeleologia (GPME, 1999). Complementarmente ao mapa existente, foram confeccionados neste trabalho novos perfis dos condutos, com a utilização de trena a laser e em alguns casos foram confeccionados em gabinete a partir de fotografias. Medidas estruturais de acamamento, falhas e fraturas foram tomadas, estereogramas foram confeccionados, bem como adicionadas ao mapa e aos perfis.

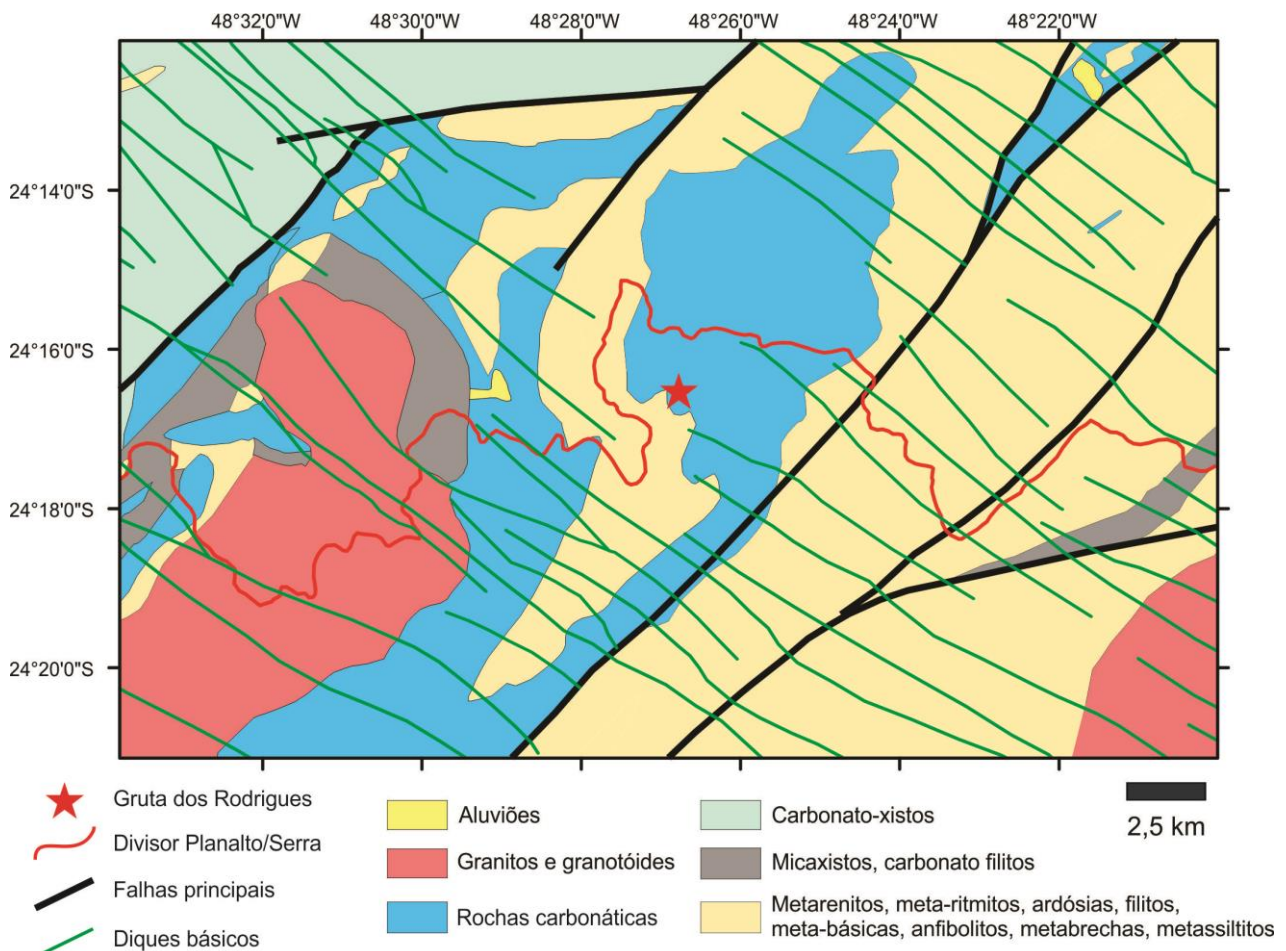
Os espeleotemas e depósitos sedimentares foram caracterizados através de análise *in loco* na caverna, com confecção de desenhos e fotografias. Também foi coletada amostra de espeleotema de mineralogia desconhecida para análise mineralógica por difratometria de raio-X no Laboratório de Caracterização Tecnológica (Escola Politécnica, USP) (autorização CECAV-ICMBIO nº 39843-1).

### 3. CONTEXTO REGIONAL

Segundo Campanha; Sadowsky (1999) a região do Sudeste do Estado de São Paulo localiza-se no Domínio Apiaí do Cinturão Ribeira. Rochas supracrustais vulcano-sedimentares de baixo a médio grau metamórfico nomeadas de Supergrupo

Açungui constituem o Domínio Apiaí, que está disposto sobre embasamento de gnaisses migmatíticos, núcleos charnockíticos e intercalação de metassedimentos de composição variada (CAMPANHA; SADOWSKY, 1999) (Figura 2). Um padrão complexo de lentes de cisalhamento de várias escalas domina a região (CAMPANHA, 2002) justapondo as rochas do supergrupo Açungui em uma série de cinturões longitudinais de sentido nordeste colocados lateralmente e separados em Domínio norte, central e sul (CAMPANHA; SADOWSKY, 1999) (Figura 2). A Gruta dos Rodrigues está situada no domínio central, no Grupo Votuverava e Subgrupo Lajeado (Figura 2). O Subgrupo Lajeado é composto pela alternância de terrígenos clásticos e carbonáticos, depositados originalmente em plataforma carbonática de mar aberto e possui acamamento dobrado de modo amplo e aberto (CAMPANHA, 1991). O subgrupo é subdividido em sete formações, das quais as formações Bairro da Serra, Mina de Furnas e Passa Vinte são carbonáticas e estão carstificadas na região.

As rochas nesta região foram introduzidas por rochas ígneas subvulcânicas do enxame de diques mesozoicos (CAMPANHA, 2002) (Figura 2).



**Figura 2:** Mapa geológico da região adaptado de Campanha (2002).

O carste da região está contido na Província Espeleológica do Vale do Ribeira, caracterizada por apresentar feições cársticas típicas, como cavernas, paredões rochosos, dolinas, sumidouros, depressões poligonais, cones e torres cársticas (KARMANN; SANCHEZ, 1979, 1986). Esta região se caracteriza pelas altitudes mais elevadas e por se situar em um grande divisor de águas, entre as bacias dos rios Paranapanema (Planalto de Guapiara) a norte e Ribeira a sul. A superfície carbonática é rebaixada em relação às rochas não carbonáticas, condicionando sistemas cársticos de recarga mista, com predomínio de injeção alóctone, com carste poligonal e trechos fluviocársticos (KARMANN, 1994). A caverna localiza-se no compartimento geomorfológico denominado Planalto do Ribeira/Turvo, esta unidade está situada no sul do Estado de São Paulo, limitando-se a sudeste com a Serra do Mar e a norte e noroeste com o Planalto do Guapiara (ROSS; MOROZ, 1997). Segundo Ross; Moroz (1997) as altimetrias nesta unidade variam de 200 a 800m e as declividades predominantes oscilam entre 20 a 40%, predominando formas de relevo denudacionais constituídos de morros altos com topos aguçados e topos convexos, entalhamento dos vales variando entre 20m e 80m e dimensão interfluvial entre 750 até 1750m.

Lenhare; Sallun Filho (2014) descreveram diferenças entre o carste presente nos dois compartimentos, sendo o desenvolvimento do sistema cárstico mais expressivo na Bacia do Rio Ribeira (Planalto do Ribeira/Turvo) devido a sua topografia mais acidentada, altos gradientes hidráulicos e regime fluviocárstico, comparativamente com a região do Planalto de Guapiara, que possui relevo mais suavizado, baixo gradiente hidráulico, com regime hídrico predominantemente fluvial, apresentando sistema cárstico com feições pouco desenvolvidas e mais dispersas. A Gruta do Rodrigues está na bacia do Rio Bocaina-Lajeado, que segundo Lenhare; Sallun Filho (2014) representa um dos principais agentes de desenvolvimento das cavernas mais expressivas da área de estudo, como as grutas do Sistema Fendão-Fendãozinho, Sistema Bocão-Paiva e finalmente a Gruta da Água Luminosa e Arcão, com desenvolvimentos quilométricos (LENHARE; SALLUN FILHO, 2015) (Figura 3). Estas cavernas apresentam corpos d'água em formas de rios, que adentram ao sistema cárstico em sumidouros, percorrendo as cavernas e reaparecendo em

superfície novamente (LENHARE; SALLUN FILHO, 2015), não adentrando ao sistema cárstico em profundidade (LENHARE; SALLUN FILHO, 2014).

Ainda, Lenhare; Sallun Filho (2019) demonstraram que o carste na área onde se insere a caverna estudada apresenta alta vulnebirabilidade, utilizando o método EPIK, mas por outro lado apresenta-se pouco alteradas por processos antrópicos, pelo método KDI.

## 4. RESULTADOS

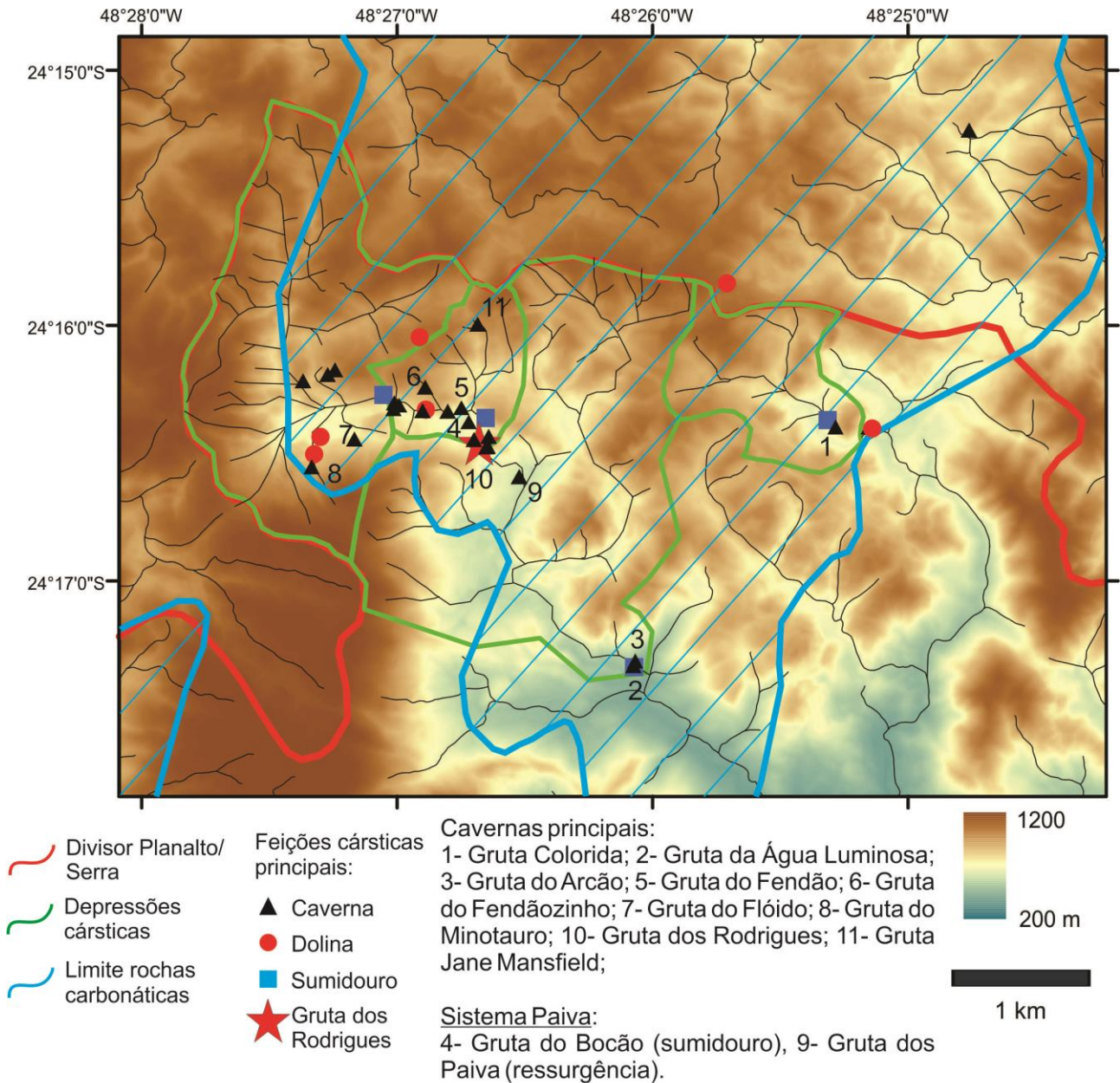
### 4.1 Morfologia da caverna

A Gruta dos Rodrigues possui 386 metros de desenvolvimento e 44 metros de desnível segundo mapeamento do Grupo Pierre Martin de Espeleologia (GPME, 1999) e tem uma grande variedade de espeleotemas, alguns raros e de composição mineralógica exótica. O desenvolvimento e o desnível são expressivos para a região. Está situada nas cabeceiras do Rio Pilões, Bacia do Rio Ribeira de Iguape, na cota aproximada de 850m (Figura 3).

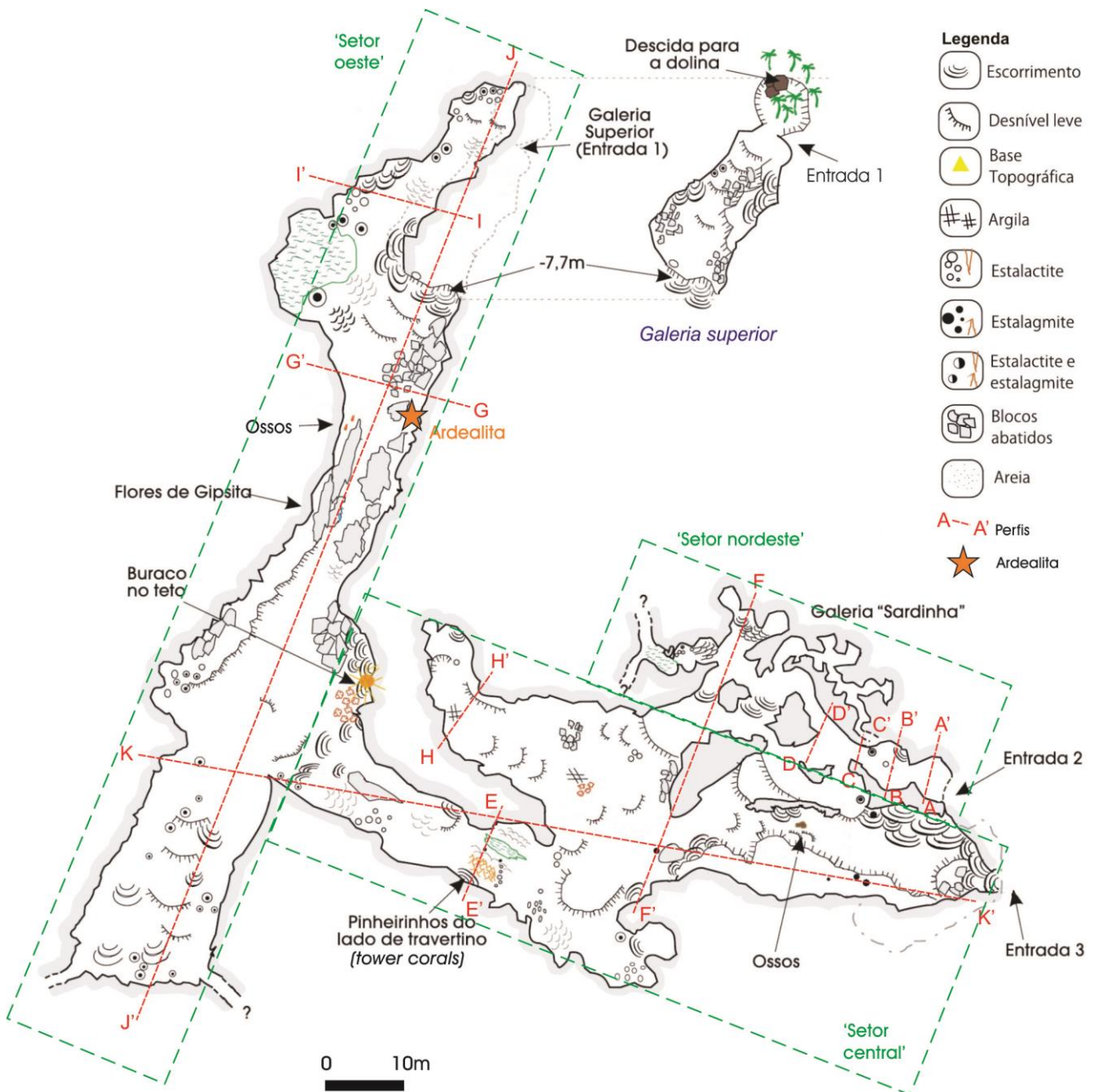
A caverna possui três entradas conhecidas e denominadas de 1, 2 e 3 (Figura 4), com coordenadas da Entrada 1 7313018N / 759368E, Entrada 2 7312970N / 759457E e Entrada 3 7312965N / 759451E.

Analisando a morfologia da caverna em planta percebe-se que há três setores com morfologia bastante distinta (Figura 4). O “setor nordeste” (denominado Galeria “Sardinha” no mapa do GPME) situa-se em níveis superiores, com morfologia anastomosada em planta, tendo condutos em direções variadas. O segundo setor, chamado de “central”, tem morfologia retilínea formada por um salão e um conduto de direção WNW-ESE. O terceiro setor, “oeste”, também possui morfologia retilínea, formado por um extenso conduto de direção NE-SW.

Os condutos do setor nordeste, próximos as entradas 2 e 3 possuem galerias de perfil com teto arredondado típico de iniciação freática e cânions sinuosos, seguindo planos de acamamento mais horizontalizados e grandes depósitos areno-argilosos no chão (Figura 5, perfis A a D). Neste setor da caverna predomina o padrão anastomosado em planta, o que sugere uma recarga inicial difusa.



**Figura 3:** Carste local com hipsometria, drenagens, cavernas da região (adaptado de LENHARE; SALLUN FILHO, 2014).

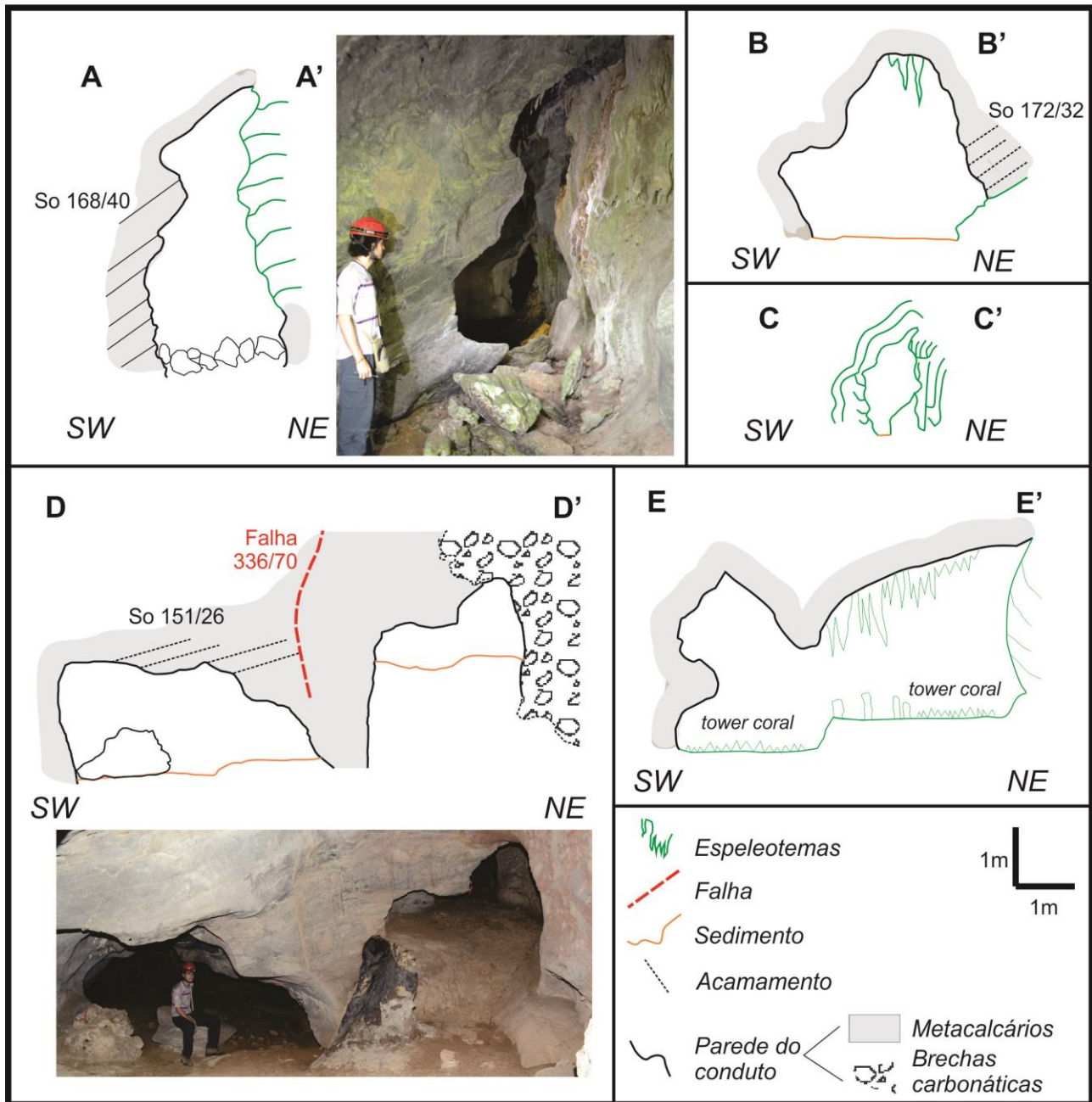


**Figura 4:** Mapa da caverna, adaptado de GMPE (1999) com perfis, setores e ponto de ocorrência de ardealita.

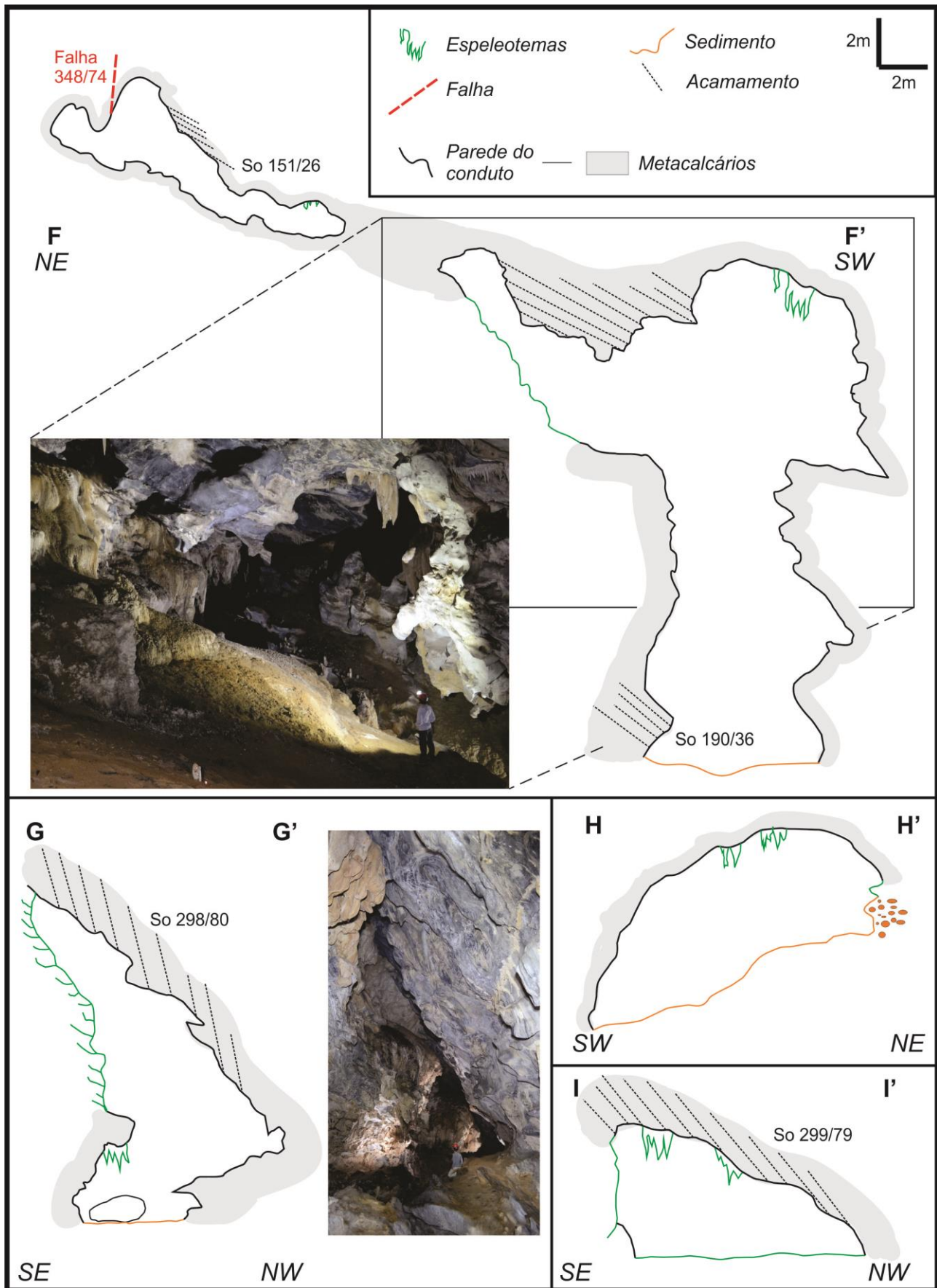
Do setor nordeste para o setor central ocorre transição entre os níveis superior e inferior da caverna. Tal transição é evidenciada pelo perfil F-F', que possui claro formato “buraco de fechadura”, se iniciando no setor nordeste e terminando na forma de um cânion retilíneo em planta que dá origem ao nível inferior do setor central (Figura 6, Perfil F).

Nos setores central e oeste as galerias inferiores, mais jovens, a fase de desenvolvimento se deu em ambiente vadoso, formando cânions quase verticais em perfil, cortando o acamamento inclinado, e de morfologia retilínea em planta (Figura 6, perfis F a I). Este conduto vadoso é segmentado por seção em teto baixo e preenchimento de espeleotemas na região do Perfil E

(Figura 5, Perfil E). Em corte longitudinal é possível observar bem a morfologia e as dimensões destes cânions (Figura 7, perfis J e K). Esta fase vadosa deve estar associada à instalação do sumidouro do Córrego Lajeado, que hoje está em situação topográfica inferior, no sumidouro da Gruta dos Paiva (entrada “Bocão”). Na parte mais inferior da caverna, na porção SW do setor oeste, mais abaixo que o piso do cânion da galeria principal deste setor, uma grande fenda inclinada se desenvolveu para sudoeste em direção à Gruta dos Paiva, ao longo do acamamento inclinado, podendo representar escoamento vadoso local que conectava a Gruta dos Paiva após a instalação do sumidouro desta última (Figura 7, Perfil J e K).

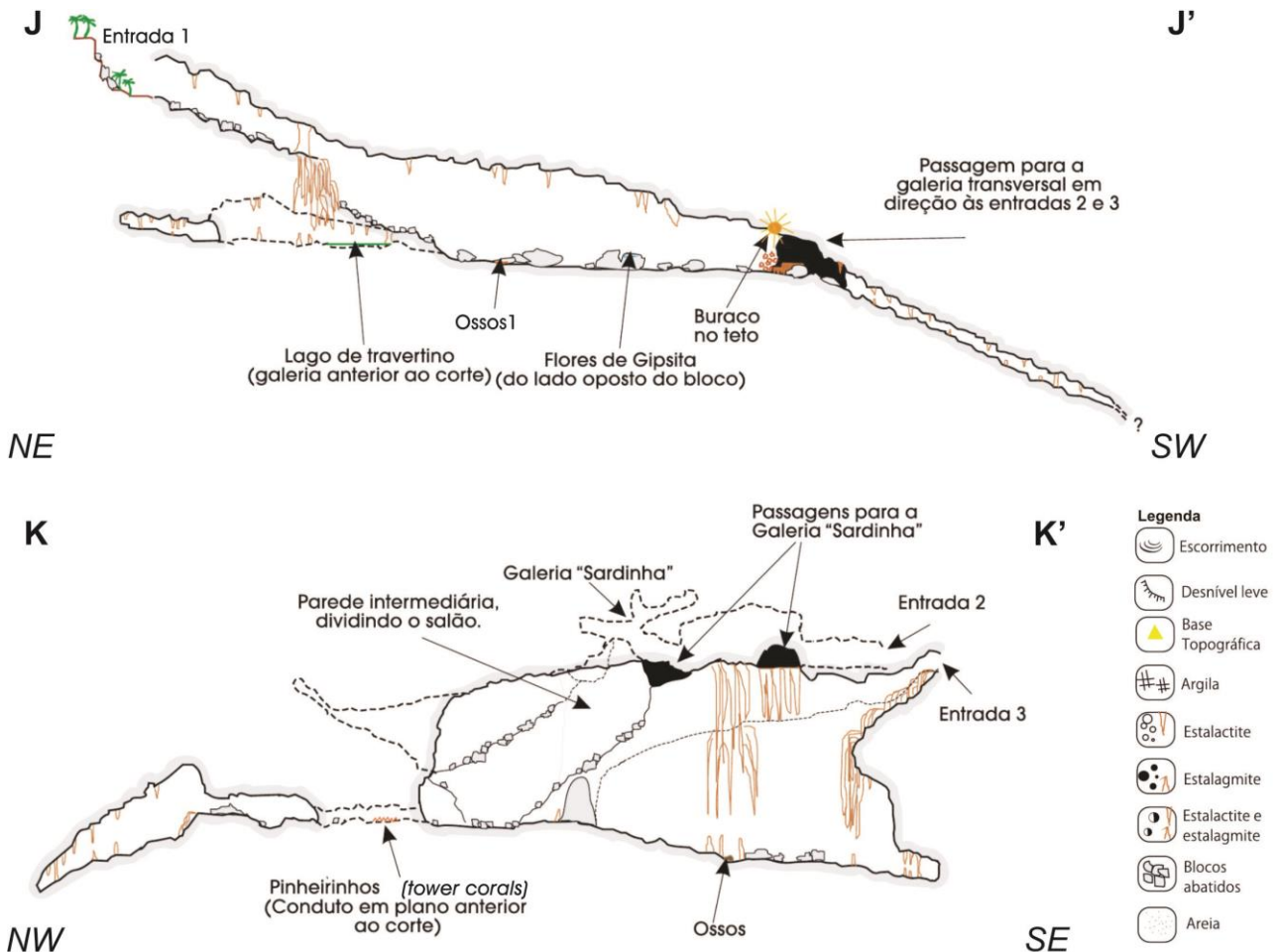


**Figura 5:** Perfis e fotos de condutos da caverna. A- conduto em forma de cânion sinuoso próximo a entrada 2; B- conduto com teto; C- condutos com teto arredondado, separados por pendant soterrado. Do lado nordeste há brecha tectônica; E- conduto com teto baixo e preenchimento de espeleotemas. No piso represas de travertino com espeleotemas tipo *tower coral*.



**Figura 6:** Perfis e fotos de condutos da caverna. F- perfil composto de duas galerias, no setor central, com galerias superior de morfologia anastomosada, que grada para cânion vadoso retilíneo na porção inferior; G- conduto em cânion inclinado no setor oeste. Na porção SE deste perfil é o local de ocorrência de ardealita; H- conduto com cânion parcialmente preservado e piso com sedimentos; I- conduto com teto baixo e travertinos no piso.





**Figura 7:** Perfis longitudinais (adaptados de GPME, 1999). J- perfil ao longo da galeria do setor oeste da caverna, onde nota-se na porção NE a entrada 1 superior (abatimento em dolina de colapso), o cânion da galeria na porção mediana do perfil e uma galeria inclinada na porção SW, em direção a Gruta dos Paiva; K- perfil ao longo das galeria do setor central e parte do setor oeste. Ao fundo os condutos superiores anastomosados do setor nordeste e em primeiro plano os cânions do setor central e parte do início da galeria inclinada em direção a Gruta dos Paiva.

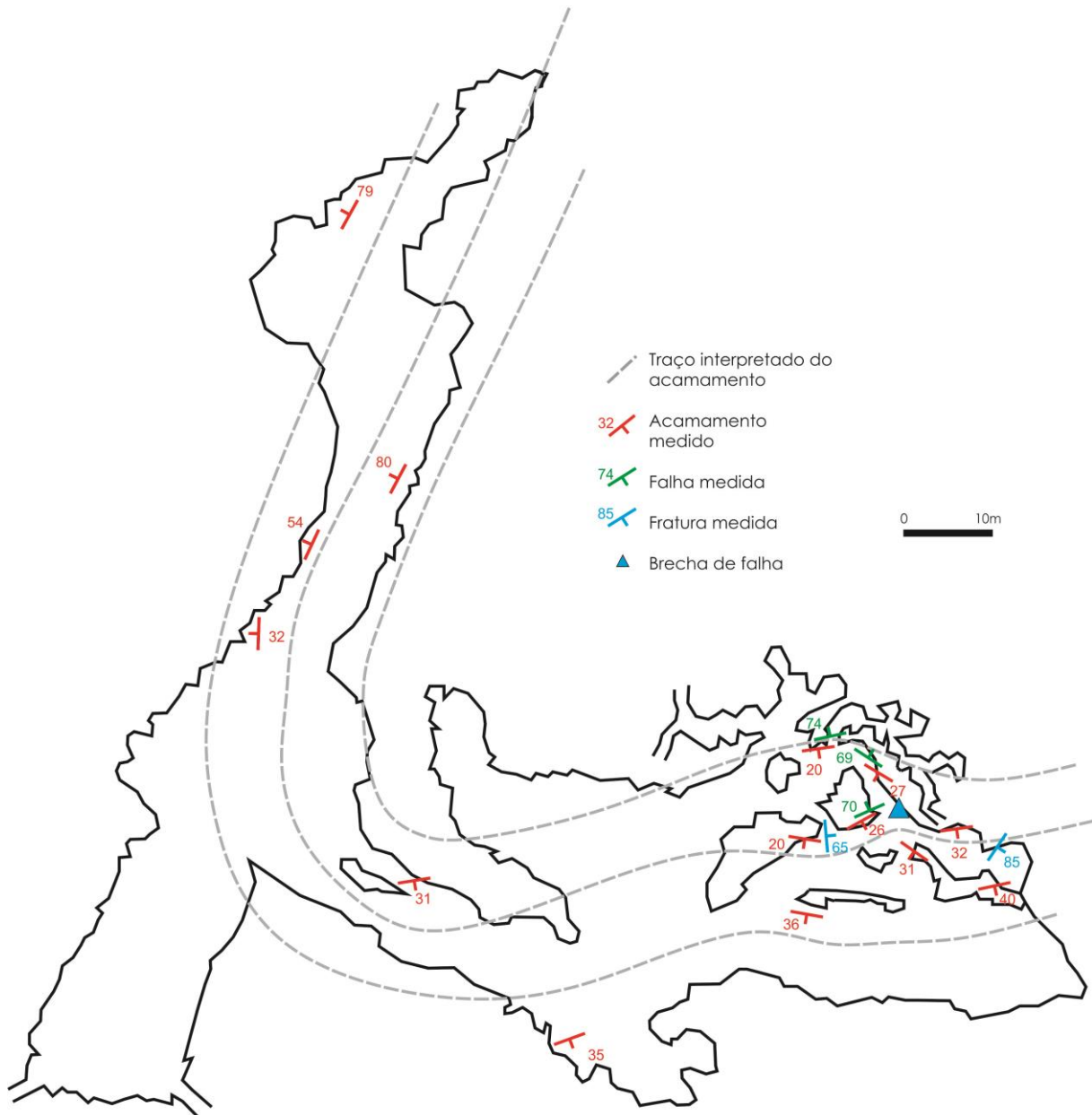
#### 4.2 Aspectos litológicos e estruturais

A rocha da Gruta dos Rodrigues se trata de um metacalcário de coloração cinza clara, ocasionalmente negro, calcítico, com estruturas de acamamento visíveis e inclinadas, quando não modificadas por dobras locais e falhas. A granulação da rocha calcária varia entre calcilutitos e calcarenitos. Ocorrem também brechas carbonáticas tectônicas (p.ex. Figura 5, perfil D).

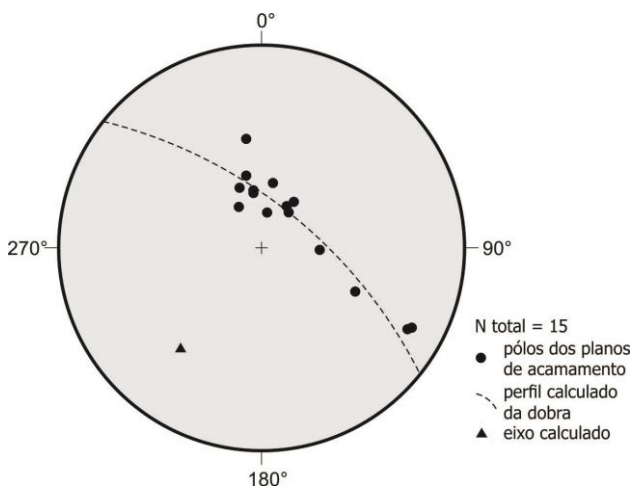
A gruta possui condicionamento estrutural evidente (acamamento) na direção dos condutos dos setores central e oeste (Figura 8). O conduto retilíneo do setor oeste se inicia na entrada 1 e segue em planta a direção de acamamento média, medida ao longo desse setor (azimute 201), e em perfil o entalhamento acompanha aproximadamente direção do mergulho. A direção do conduto também coincide com uma direção de fratura, mostrando a

infiltração da água preferencialmente no contato entre direção de acamamento e fratura, originando um conduto grande e uniforme na sua direção. A zona oeste, entretanto, se diferencia da direção dos acamamentos medidos nos demais setores da caverna, variação interpretada como causada por uma dobra, uma anticlinal com eixo de direção 218/24 (Figuras 8 e 9).

O maior salão da caverna se encontra no setor central e sua continuação é um conduto retilíneo de direção WNW-ESE, que segue a direção de acamamento nesse lado da gruta. Os demais condutos menores do setor nordeste têm orientações parecidas com as direções de acamamento e mergulho do acamamento medidas nessa parte da caverna, dissolvendo porém menos calcário e formando também condutos menores e menos uniformes.



**Figura 8.** Mapa com medidas estruturais da caverna e traços do acamamento interpretados.



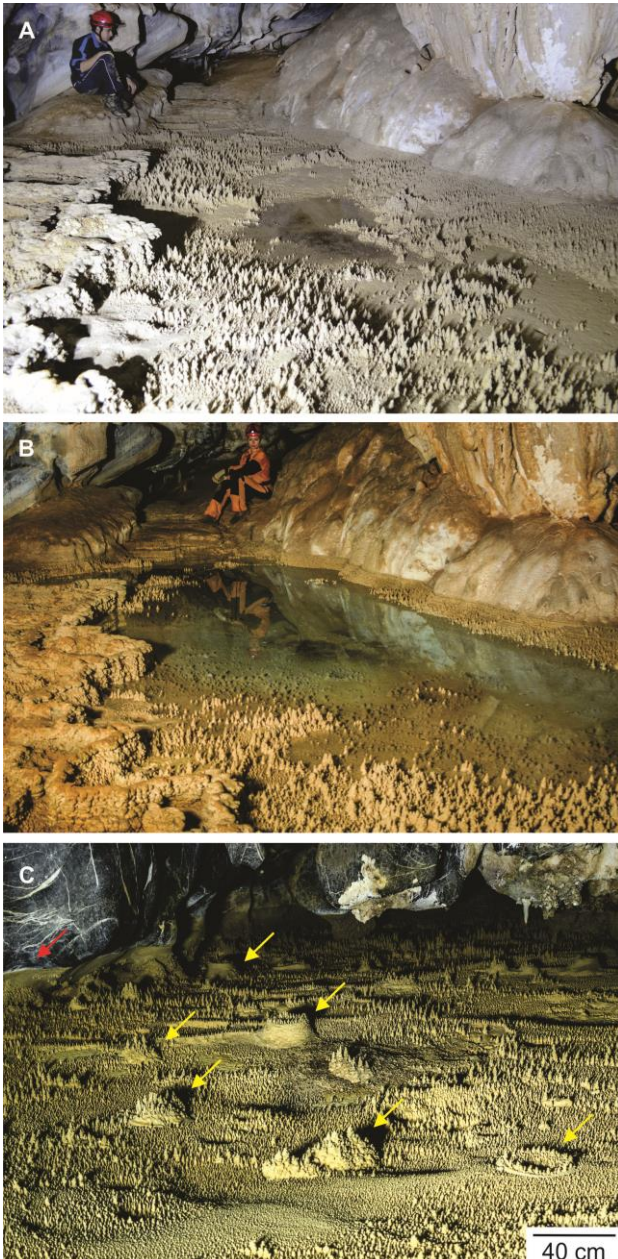
**Figura 9:** Estereograma da Gruta dos Rodrigues com os pólos do acamamento dos metacalcários, o círculo máximo calculado do perfil da dobra e o eixo calculado da dobra.

### 4.3 Depósitos sedimentares e espeleotemas

Uma grande variedade de espeleotemas foi encontrada na Gruta dos Rodrigues, dentre os quais alguns comuns como travertinos, cortinas, escorrimento, coralóides estalagmites, estalactites, pérolas, helictites, flores de gipsita e coralóides.

Dentro de algumas represas de travertino foram encontrados espeleotemas subaquáticos em abundância na qual denominamos de “pinheirinhos” (Figura 10). Estes espeleotemas são denominados *tower coral*, e são pequenos cones subaquáticos de forma não arredondada (HILL; FORTI, 1997). Martini (1987) se referiu a estes espeleotemas como “florestas em miniatura” em cavernas da África do Sul, cuja a gênese foi atribuída como subaérea e subaquática, porém neste caso tem constituição mais fina e delicada. Também já foram denominados de

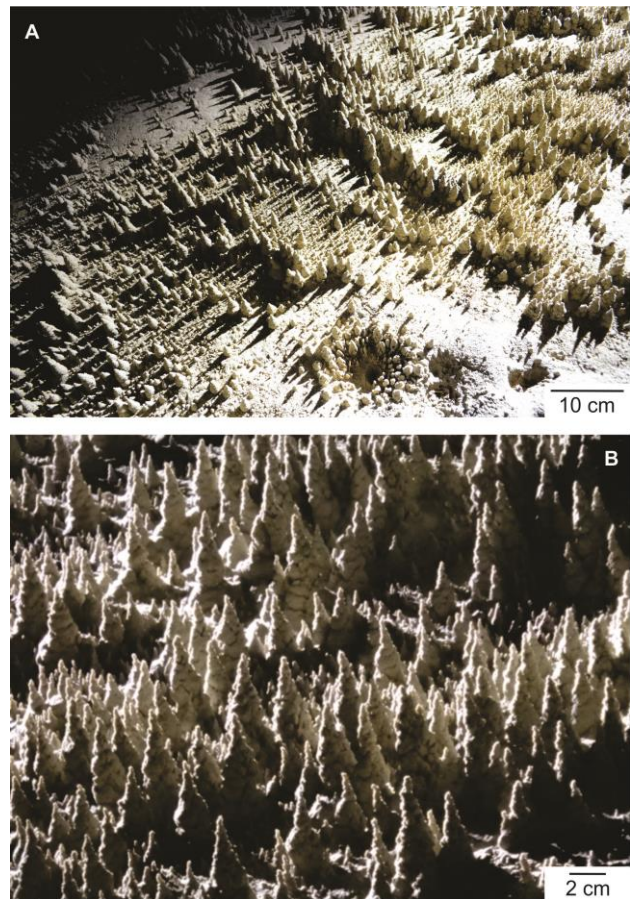
“100.000 soldados” (HILL; FORTI, 1997). Notou-se que os travertinos em que se encontravam estes “pinheirinhos” estavam secos na estação mais seca (abril) (Figura 10A e C). Já na estação mais úmida (dezembro), após período de chuvas, percebeu-se que os travertinos estavam cheio de água com os “pinheirinhos” submersos, ou seja, ainda estão em formação (Figura 10B). Alguns conjuntos formam alinhamentos, devido a gotajamentos alinhados do teto (Figuras 10C, 11A). No geral são centimétricos e possuem forma cônica, pontiaguda e ereta (Figura 11B).



**Figura 10:** Espeleotemas subaquáticos “pinheirinhos” (*tower coral*): A- em travertinos secos (estação seca); B- no mesmo travertino, porém cheio de água (estação chuvosa); C- pequenos cones ou vulcões subaquáticos (setas amarelas) no fundo da represa, crescendo em associação com os *tower corals*, e ao fundo, marca do nível da água da represa de travertino, dada por crosta calcífica subaquática (seta vermelha).

Flores de gipsita foram observadas especialmente no conduto inferior do setor oeste da caverna, em fraturas de paredes inclinadas, em trecho onde o calcário encontra-se bastante deformado e fraturado, com níveis de material siliciclástico alterado.

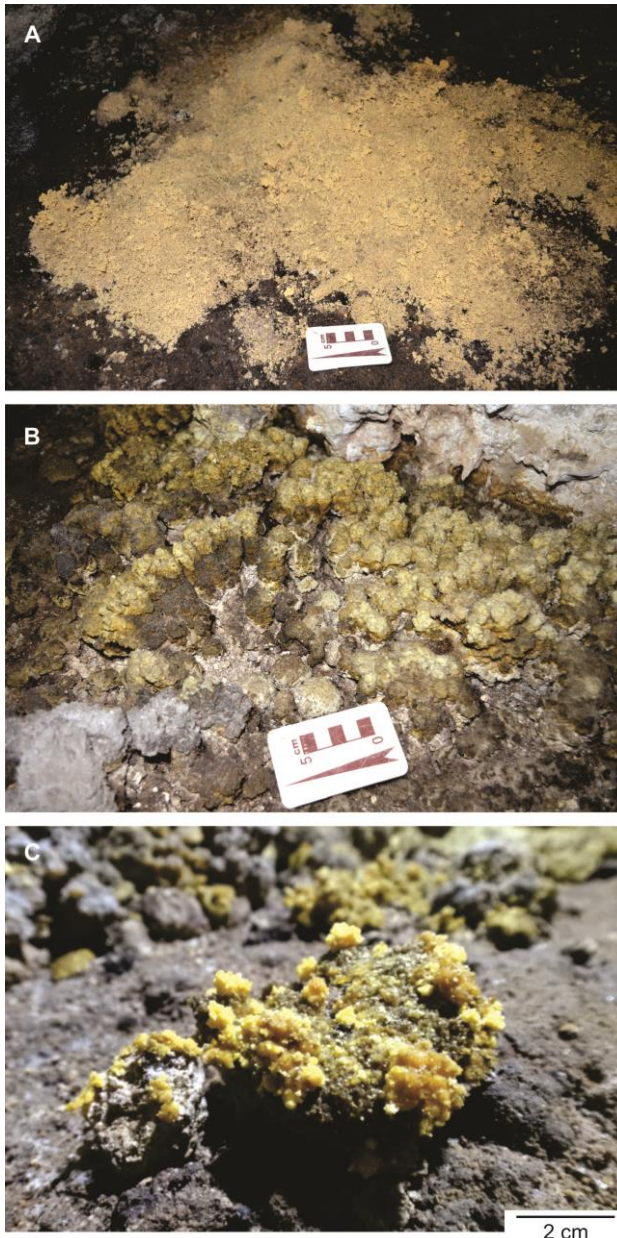
Ainda no setor oeste, próximo às flores de gipsita, foram encontrados coralóides (Figura 12A) e depósitos pulverulentos (pó fino) (Figura 12B), de cor amarelada e formado sobre guano no piso, em uma área de cerca de 4m<sup>2</sup>. Posteriormente, este material teve mineralogia identificada por difração de raios-X como ardealita, um fosfato hidratado de cálcio de fórmula química  $Ca_2(HPO_4)(SO_4) \cdot 4H_2O$ , mineral formado da interação de calcita com guano (FROST et al., 2011). A ardealita encontra-se associada com gipsita, calcita e sulfato de cálcio hidratado ( $Ca(SO_4) \cdot 0,5 H_2O$ ).



**Figura 11:** Detalhes dos espeleotemas subaquáticos “pinheirinhos” (*tower coral*) em travertino seco (mesmo da Figura 10): A- Visão de um conjunto, no fundo da represa de travertino, onde se nota concentrações e alinhamentos entre si; B- Vista lateral da morfologia cônica, pontiaguda e ereta. Foto B: Ericson Cernawsky Igual.

No setor nordeste superior parte dos condutos são preenchidos por sedimentos areno-argilosos. Na rampa que conecta os níveis superiores do setor

nordeste com os inferiores do setor central há conglomerado com clastos de quartzo e diabásio com esfoliação esferoidal e mais de 15 centímetros de diâmetro em matriz areno-argilosa. Na mesma região, a sobreposição de camadas de crosta carbonática ao longo dos anos dá origem a depósitos estratificados, que cobrem o conglomerado. Nos condutos dos setores nordeste e central, o piso é recoberto por sedimentos, sem precisão da espessura, além de crostas de calcita, travertinos, coralóides e pérolas.



**Figura 12:** Ardealita pulverulenta (A) e em forma de coralóides (B, C). Foto C: Ericson Cernawsky Igual.

Foram observados também vários ossos, posteriormente identificados como ossos de mamíferos, anfíbios, fragmentos ósseos de táxons não identificados e conchas de gastrópodes íntegras e fragmentadas (JESUS et al., 2016). Alguns

bioclastos estavam incrustados de calcita e sedimento lamoso numa mistura temporal que ocorre até atualmente. Tal mistura provavelmente se deve à proximidade com a boca (entrada 1) da caverna, com ação de água pluvial depositando novos sedimentos externos à caverna e retrabalhando sedimentos antigos (JESUS et al., 2016).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A espeleogênese depende da combinação de diversos fatores geológicos, químicos e hidrológicos (PALMER, 2007) de modo que para a investigação e estudo da gênese e desenvolvimento de uma caverna, múltiplos dados são necessários. Neste trabalho foi possível analisar a gruta de diversos modos: do ponto de vista geológico, estrutural, morfológico, genético e espeleológico.

A análise morfológica dos perfis transversais e longitudinais da caverna permite descrever duas etapas principais de formação. A evolução se dá com uma etapa de abertura com iniciação freática dos condutos, evidenciada pela forma arredondada do topo dos condutos do setor nordeste da caverna e níveis mais altos do setor central, seguida de uma etapa de paragênese, com entupimento dos condutos dos níveis superiores por sedimentos, evidenciado por depósito sedimentar argilo-arenoso e conglomerático. A terceira fase de desenvolvimento da gruta se deu com o entalhamento vadoso, formando seções transversais do tipo “buraco de fechadura” e seções do tipo cânion. A iniciação freática da caverna pode ter acontecido próximo as entradas 2 e 3, com posterior entalhamento vadoso indicando fluxo subterrâneo em três direções distintas: a primeira seguindo a direção do mergulho do acamamento (SW) na parte nordeste e central da caverna após iniciação freática, a segunda na direção NW se conectando ao conduto principal após o salão dos pinheirinhos e a terceira na direção SW dando origem ao maior e mais uniforme conduto da caverna, no setor oeste. Conglomerado com seixos centimétricos arredondados de diabásio e depósitos areno-argilosos espessos no setor nordeste indicam paleofluxo com alta capacidade de transporte, o que não ocorre atualmente, sendo que a gruta recebe apenas recarga pluvial. Entretanto, a formação de espeleotemas, inclusive os subaquáticos, ainda é ativa.

A caverna desenvolveu-se controlada por estruturas geológicas, tais como dobra, fraturas e acamamento que juntas comandaram as direções principais de abertura de condutos: SW-NE no lado oeste controlada pelo encontro da direção de acamamento com direção de fratura e entalhando

condutos inclinados de acordo com a direção e ângulo de mergulho e NW-SE a zona central da caverna, controlada principalmente pela direção e mergulho do acamamento, que difere do lado oeste, pois o acamamento está dobrado. Analisando estruturalmente as medidas de acamamento foi verificado uma dobra anticlinal, cujo eixo inclinado tem direção SW-NE e mergulho para SW, onde o conduto principal segue a mesma direção de acamamento do flanco NW, e o conduto secundário, ramificado em diversos condutos menores, se alinha com o mergulho e direção de acamamento do flanco SE, tendo sua gênese diretamente relacionada com os planos de acamamento desse flanco.

A caverna se encontra agora acima do nível d'água, contando apenas com recarga autogênica de percolação vadosa pelo teto.

A proximidade da Gruta dos Rodrigues com a Caverna dos Paiva e semelhanças como mesma direção de condutos e tipos de espeleotemas sugerem que ambas podem fazer parte de um mesmo sistema, ainda sem passagens penetráveis conhecidas, mas que juntas possuiriam mais de 4km de desenvolvimento horizontal. Quando ocorrerem novos mapeamentos de ambas as grutas será possível observar se há ou não correlação entre níveis, ou seja, se elas foram formadas concomitantemente ou se a Gruta dos Rodrigues representa os estágios iniciais do sistema, como postulado neste trabalho.

Dentre os espeleotemas observados, dois chamam atenção devido a sua raridade nas cavernas da região: os *tower corals* (pinheirinhos) e os depósitos de ardealita. Hill; Forti (1997) colocam que a gênese dos tower corals ocorre em piscinas rasas onde evaporação torna a área próxima à superfície levemente mais saturada em calcita que o fundo, ocasionando maior precipitação no topo do coralóide, favorecendo seu crescimento vertical.

Minerais do grupo do fosfato estão presentes amplamente em caverna sempre que uma caverna contém guano fresco ou fóssil ou depósitos de ossos, e dependendo função da água que percola pelo guano, reage com rochas carbonatadas ou minerais argilosos, os fosfatos ricos em Ca ou Mg e ricos em Al serão formados pela alteração destes materiais (ONAC; VEREŞ 2003). A importância da matéria orgânica (guano, restos de esqueletos e ácidos derivados de solo lixiviado) para o estudo de minerais de caverna não reside apenas na sua habilidade de “emprestar” compostos químicos que são escassos ou inexistentes em cavernas carbonáticas, mas também nas reações químicas que ela gera. A decomposição de carcaças de vertebrados e guano nas cavernas libera P (fósforo) e

N (nitrogênio), elementos químicos que fazem parte de uma grande variedade de minerais, alguns apenas encontrados em cavernas (HILL; FORTI 1997, ONAC; FORTI 2011).

Essas interações podem estar associadas a fatores ambientais (ex. umidade); condições físico-químicas (presença ou falta de certos cátions, pH, etc) dentro da caverna e nos horizontes ricos em guano e presença de outros minerais, pois uma fase mineral pode se transformar em outra quando condições mudam (HILL; FORTI 1997). A ardealita foi descrita como uma espécie mineral por Schlader (1934) na Caverna Cioclovina na região da Transilvânia, Romênia, e seu nome deriva de *Ardeal* que significa Transilvânia em Romeno. As associações de fosfatos ricos em cálcio em cavernas, tais como hidroxiapatita, bruxita, monetita e ardealita, residem em um suporte de carbonato, implicando que eles são produtos de reação entre carbonato e soluções ácidas derivadas de guano (MARINCEA et al. 2004, FROST et al. 2011, ONAC; VEREŞ 2003, HILL; FORTI 1997). Em pH mais elevado a hidroxiapatita é o único fosfato a se formar, enquanto valores de pH de até 5,5 desestabilizam a bruxita e a hidroxiapatita, favorecendo a formação de ardealita, se S estiver disponível (MARINCEA et al. 2004). A solução rica em fosfato emerge do guano com proporções diversas de sedimentos carbonáticos e argilosos e produz uma auréola de fosfato ao redor do guano (ONAC; VEREŞ 2003). Estudos sobre a ardealita realizados na caverna de Liliacilor (Romênia), identificada junto a bruxita, hidroxiapatita e gipsita, mostram sua ocorrência em condições 11 e 34% de umidade e numa faixa de pH entre 5.7 e 6.6 (PUŞCAŞ et al. 2014).

Na Gruta dos Rodrigues, o depósito de ardealita é pequeno, não ocupando mais que uma área de 4m<sup>2</sup>, mas indica condições favoráveis para formação deste mineral, principalmente a grande quantidade de guano depositada no local, a presença de ossos e a calcita do embasamento. Possivelmente as condições locais de pH, umidade e química das águas percoladas também favoreceram a formação deste mineral. Porém estudos específicos a este respeito não foram conduzidos, e seriam possibilidades interessantes para trabalhos futuros. Apesar da ardealita ser considerada um mineral relativamente comum no mundo (HILL; FORTI, 1997), não foram encontradas referências a sua ocorrência no Brasil. Assim acreditamos que a ocorrência na Gruta dos Rodrigues se trata do primeiro registro de ardealita em cavernas no Brasil.

## AGRADECIMENTOS

À FAPESP pelo apoio na forma de Auxílio à Pesquisa (W. Sallun Filho, proc. 12/05632-2), bolsa de mestrado (B.D. Lenhare, proc. 12/01424-6) e bolsa de iniciação científica (B.C. Consentino, proc. 13/07541-7). Ao CNPq pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa (W. Sallun Filho, 2012-2018). Aos

colegas do GMPE, pelo mapa da Gruta dos Rodrigues e apoio em campo. Ao Parque Estadual Intervales e seus funcionários pelo apoio a esse estudo. Aos colegas Beatriz H. Boggiani, Bruna B. Myraia, Luis H. S. Almeida, Natalia A. Santiago e José Flóido pelo apoio em campo. Ao CECAV pela autorização das coletas.

## REFERÊNCIAS

- CAMPANHA, G.A.C. **Tectônica proterozóica no Alto e Médio Vale do Ribeira, Estados de São Paulo e Paraná**. 1991. 296p. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- CAMPANHA, G.A.C. **O papel do sistema de zonas de cisalhamento transcorrentes na configuração da porção meridional da Faixa Ribeira**. 2002. 105p. Tese (Livre-Docência Livre-Docência junto ao Departamento de Mineralogia e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- CAMPANHA, G.A.C.; SADOWSKI, G.R. Tectonics of the Southern Portion of the Ribeira Belt (Apiá Domain). **Precambrian Research**, v.98, n.1-2, p.31-51, 1999.
- FROST, R.L.; PALMER, S.J.; HENRY, D.A.; POGSON, R. A Raman spectroscopic study of the 'cave' mineral ardealite  $\text{Ca}_2(\text{HPO}_4)(\text{SO}_4)\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . **Journal of Raman Spectroscopy**, v.42, n.6, p.1447-1454, 2011.
- FURLAN, S.A., LEITE, S.A. (Coords.) Plano de manejo do Parque Estadual Intervales. Disponível em: [fflorestal.sp.gov.br/pagina-inicial/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-concluidos/plano-de-manejo-pe-intervalos/](http://fflorestal.sp.gov.br/pagina-inicial/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-concluidos/plano-de-manejo-pe-intervalos/). Acesso em: 18 mar. 2019.
- GMPE – Grupo Pierre Martin de Espeleologia. **Mapa da Gruta dos Rodrigues**. São Paulo: GPME, 1999. 1 mapa.
- HILL, C.; FORTI, P. **Cave Minerals of the World**. Huntsville, AL, EUA: National Speleological Society, 1997. 463 p.
- JESUS, J.F.M.; DIAS, W.A.F.; PEIXOTO, B.C.P.M.; BUCK, P.V.; NASCIMENTO, C.S.I.; IGUAL, E.C.; LENHARE, B.D.; MARINHO, M.A.; FERNANDES, M.A. Mistura temporal em depósitos cársticos do Parque Estadual Intervales, Estado de São Paulo: Implicações para o registro fossilífero. In: Grillo, O.N.; Romano, P.S.R.; Oliveira, G.R. (Eds.) SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA DE VERTEBRADOS, X, 2016, Rio de Janeiro. **Boletim de Resumos**. Boletim informativo da Sociedade Brasileira de Paleontologia. Rio de Janeiro: UFRJ, 2016. p.93.
- KARMANN, I. **Evolução e dinâmica atual do sistema cárstico do alto Vale do Rio Ribeira de Iguape, sudeste do estado de São Paulo**. 1994. 241p. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- KARMANN, I.; SANCHEZ, L.E. Distribuição das rochas carbonáticas e províncias espeleológicas do Brasil. **Espeleo-Tema**, n.13, p.105-167, 1979. Disponível em: [www.cavernas.org.br/espeleo-tema/Espeleo-Tema\\_v13\\_105-167.pdf](http://www.cavernas.org.br/espeleo-tema/Espeleo-Tema_v13_105-167.pdf).
- KARMANN, I.; SÁNCHEZ, L.E. Speleological Provinces in Brazil. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ESPELEOLOGIA, 9, 1986, Barcelona. **Comunicaciones**. p.151-153.
- LENHARE, B. D. **Vulnerabilidade do carste nas cabeceiras dos rios das Almas, São José de Guapiara (Bacia do Rio Paranapanema) e do rio Pilões (Bacia do Rio Ribeira de Iguape) na região do Parque Estadual Intervales (PEI), estado de São Paulo**. 2014. 99p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Geotectônica), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- LENHARE, B. D.; SALLUN FILHO, W. O carste nas cabeceiras dos rios das Almas, São José de Guapiara (Bacia do Paranapanema) e do Rio Pilões (Bacia do Rio Ribeira de Iguape), SP. **Geociências**, v.33, p.686-700, 2014.

- LENHARE, B.D.; SALLUN FILHO, W. Diferenças espeleométricas entre as cavernas do Planalto de Guapiara e Serra de Paranapiacaba, na região do Parque Estadual Intervales (PEI), estado de São Paulo. In: RASTEIRO, M.A.; SALLUN FILHO, W. (Orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 33, 2015, Eldorado. **Anais**. Campinas: SBE, 2015. p.495-503. Disponível em: [www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe\\_495-503.pdf](http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe_495-503.pdf).
- LENHARE, B. D.; SALLUN FILHO, W. Application of EPIK and KDI methods for identification and evaluation of karst vulnerability at Intervales State Park and surrounding region (Southeastern Brazil). **Carbonates and Evaporites**, v.34, n.1, p.175-187, 2019.
- MARINCEA, Ș.; DUMITRAȘ, D. G.; DIACONU, G.; BILAL, E. Hydroxylapatite, brushite and ardealite in the bat guano deposit from Peștera Mare de la Merești, Perșani Mountains, Romania. **Neues Jahrbuch für Mineralogie-Monatshefte**, n.10, p.464-488, 2004.
- MARTINI, J.E.J. The miniature forest in Cango III and its implications for the understanding of speleogenesis. **South African Speleological Association Bulletin**, v.28, p.7-10, 1987.
- ONAC, B.P.; FORTI, P. State of the art and challenges in cave minerals studies. **Studia UBB Geologia**, v.56, n.1, p.33-42, 2011.
- ONAC, B.P.; VEREȘ, D.Ș. Sequence of secondary phosphates deposition in a karst environment: evidence from Magurici Cave (Romania). **European Journal of Mineralogy**, v.15, n.4, p.741-745, 2003.
- PALMER, A.N. **Cave Geology**. Dayton, OH, EUA: Cave books, 2007. 454p.
- PUȘCAȘ, C.M.; KRISTALY, F.; STREMTAN, C.C.; ONAC, B.P.; EFFENBERGER, H.S. Stability of cave phosphates: Case study from Liliecilor Cave (Trascău Mountains, Romania). **Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen: Journal of Mineralogy and Geochemistry**, v.191, n.2, p.157-168, 2014.
- ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo: escala 1:500.000**. São Paulo: Departamento de Geografia-FFLCH-USP/IPT/FAPESP, 1997. 64 p.
- SALLUN FILHO, W.; FERRARI, J.A.; HIRUMA, S.T.; SALLUN, A.E.M.; KARMANN, I. O carste no plano de manejo do Parque Estadual Intervales e zona de amortecimento, Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Escola de Minas**, v.63, n.3, p.441-448, 2010.
- SCHADLER, J. Ardealit, ein neues Mineral  $\text{CaHPO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$ . **Zentralblatt für Mineralogie**, Abt. A., p.40-41, 1932.

---

**Fluxo editorial:**

Recebido em: 05.04.2019

Aprovado em: 16.09.2019



A revista *Espeleo-Tema* é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE).  
Para submissão de artigos ou consulta aos já publicados visite:

[www.cavernas.org.br/espeleo-tema.asp](http://www.cavernas.org.br/espeleo-tema.asp)