

## ASPECTOS DA MORFOLOGIA E ESPELEOGÊNESE DA CAVERNA PIANOS – UM EXEMPLO DA INFLUÊNCIA DE DIQUES INTRUSIVOS NO AQUÍFERO CÁRSTICO

*MORPHOLOGY ASPECTS AND SPELEOGENESIS OF PIANOS CAVE – EXAMPLE OF INFLUENCE OF  
INTRUSIVE DIKES IN KARSTIC AQUIFER*

**Lucas Padoan de Sá Godinho (1,2), Yuri Bugarin Woiski Miranda (1), Ricardo Angelin Pires-Domingues (1), Leonardo Aguiar (1), Camila Augusto dos Santos (1) & Lucas Andreata Ribeiro (1)**

(1) GGEO (Grupo de Espeleologia da Geologia - USP).

(2) Programa de Geoquímica e Geotectônica - USP.

Contatos: [lucaspsgodinho@gmail.com](mailto:lucaspsgodinho@gmail.com); [yuri\\_supera@hotmail.com](mailto:yuri_supera@hotmail.com); [wolverine.geo@gmail.com](mailto:wolverine.geo@gmail.com).

### Resumo

Diques de diabásio ou outras rochas ígneas intrusivas podem influenciar grandemente na dinâmica hidráulica de aquíferos, pois constituem normalmente camadas impermeáveis, ou barreiras hidráulicas, que restringem a circulação da água subterrânea. No presente trabalho foi estudada a ocorrência de um dique de diabásio na Caverna Pianos, município de Guapiara, SP, que por apresentar feições claras de desgaste ou erosão mostra que esse tipo de rocha intrusiva não representa necessariamente uma barreira hidráulica durante toda a evolução de um sistema cárstico. A partir do mapeamento topográfico da caverna Pianos e do levantamento de características geológicas básicas, formulamos hipóteses preliminares a respeito das possíveis influências que o dique de diabásio teria exercido na morfologia e evolução dos condutos. Consideramos a hipótese de que a ocorrência do dique teria sido responsável pelo desenvolvimento do maior salão da caverna, possivelmente devido a diferenças na velocidade de desgaste entre o diabásio e o metacalcário encaixante. Duas hipóteses levantadas acerca da evolução dos condutos são: (i) a caverna Pianos poderia ter se desenvolvido como um único sistema, com galerias superiores mais antigas e galerias inferiores mais recentes e (ii) o dique poderia ter atuado como uma barreira hidráulica até um estágio indeterminado, dividindo inicialmente a caverna Pianos em dois sistemas distintos, que teriam sido interligados após o desgaste ou erosão do dique de diabásio.

**Palavras-Chave:** Caverna Pianos, dique de diabásio, morfologia, evolução dos condutos.

### Abstract

*Diabase dikes and other types of intrusive igneous rocks could influence greatly in the hydraulic dynamic of an aquifer, because normally they are impermeable layers, or hydraulic barriers, restricting the underground water flow. This paperwork studied an occurrence of diabase dike in the Pianos Cave, Guapiara city, SP, that presents clear features of physical erosion caused by the water flow, showing that this kind of intrusive rock does not represent necessarily a hydraulic barrier during the entire evolution of a karst system. Basin on the topographic mapping and gathering of basic geological features of the Pianos cave, some preliminary hypothesis were erected with respect to the possible influences that the diabase dike could have carried out in the morphology and evolution of the passages. It was considered the hypothesis that the occurrence of the dike could have been responsible by the development of the bigger hall in the cave, possibly by differences in erosion rates between the diabase and the marble. Two hypothesis concerning the evolution of the passages are: (i) the Pianos cave could have been developed as one single system, with older superior passages and younger inferior passages and (ii) the dike could have acted as a hydraulic barrier until an undetermined stage, initially dividing the Pianos cave into two distinct systems, that would have been interconnected after the erosion of the diabase dike.*

**Key-words:** Pianos Cave, Diabase dike, morphology, conduits evolution.

### 1. INTRODUÇÃO

Na região do sudeste brasileiro é muito comum a ocorrência de intrusões de diques básicos que, no contexto de aquíferos, podem atuar como

camadas impermeáveis ou pouco permeáveis que agem como barreiras hidráulicas. Apesar de alguns testes de bombeamento em poços tubulares mostrarem que diques básicos podem dividir um

aquífero cárstico em compartimentos isolados hidráulicamente (eg. Filho et al. 2002), os trabalhos que discutem a relação e influência que esses tipos de rochas intrusivas possuem nos aquíferos cársticos são, ainda, escassos.

Áreas cársticas estão sujeitas a acomodações naturais no relevo que podem ser aceleradas, por exemplo, pela exploração indevida de poços tubulares, sendo o estudo da hidrogeologia muito importante nessas áreas. Dessa forma, as possíveis influências que diques básicos podem exercer na dinâmica de aquíferos cársticos também devem ser consideradas em estudos hidrogeológicos que visam o gerenciamento do aquífero.

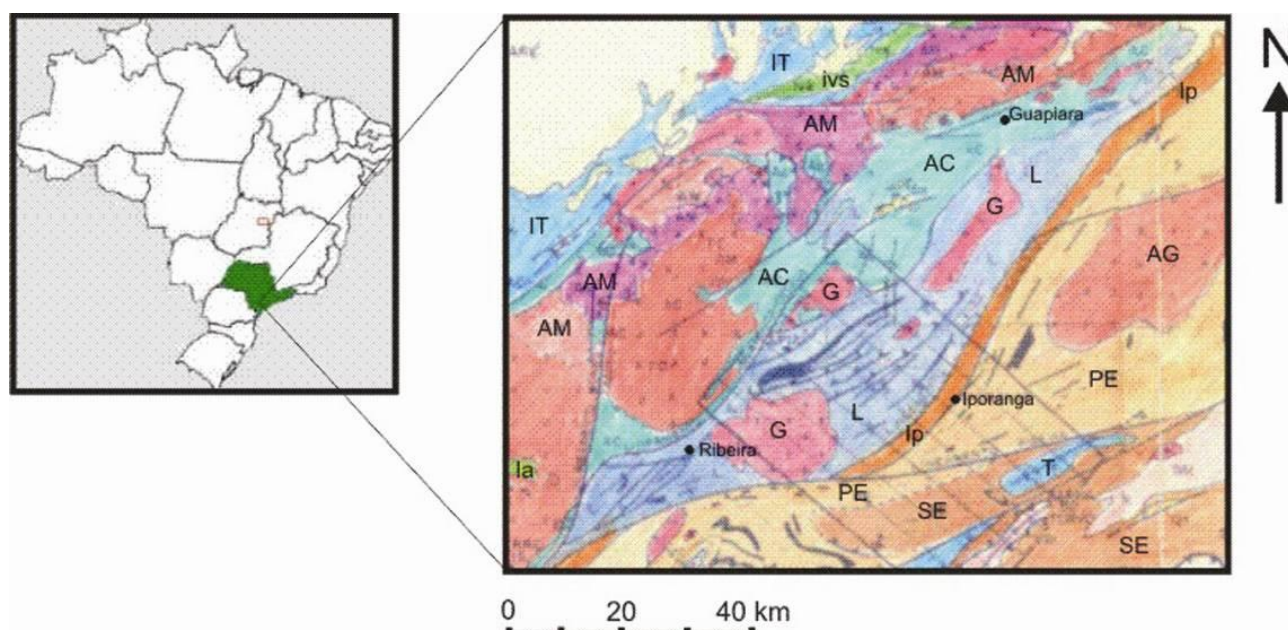
Neste trabalho apresentamos o exemplo da Caverna Pianos, situada no município de Guapiara-SP, na zona de amortecimento do PEI (Parque Estadual Intervalas) e próxima a algumas mineradoras. Nesta caverna verificou-se a ocorrência de um dique de diabásio interceptando os condutos da caverna, que revelou-se um interessante estudo de caso para questionar o potencial que esse tipo de intrusão pode ter como barreira hidráulica em um aquífero cárstico.

Este trabalho tem como objetivos constatar a presença de um dique de diabásio em aquífero cárstico que atualmente não age como barreira hidráulica, assim como iniciar a discussão da influência de diques em aquíferos cársticos, suas

relações com a morfologia dos condutos e espeleogênese. Os resultados apresentados são de caráter preliminar, porém apresentam argumentos morfológicos sólidos. Para uma análise mais completa da espeleogênese, o sistema hidrológico do aquífero deveria ser caracterizado, assim como a geomorfologia da região, sendo estes os próximos passos do presente estudo.

## 2. GEOLOGIA REGIONAL

A Caverna Pianos, objeto de estudo deste trabalho, encontra-se encaixada em mármores e metacalcários cinza-escuros do Subgrupo Lajeado (figura 1), que é composto majoritariamente por rochas carbonáticas e psamo-pelíticas de ambiente plataformar de águas rasas, não litorâneo, pertencente ao Supergrupo Açungui (*sensu* Campanha, 1991). O Subgrupo Lajeado é dividido em sete unidades, sendo elas, da base para o topo: Formações Betari (unidade basal, com metarenitos e metarritmitos), Bairro da Serra (mármores e filitos), Água Suja (metassiltitos, metarenitos e filitos), Mina de Furnas (mármores e filitos similares aos da Formação Bairro da Serra), Serra da Boa Vista (metarenitos e metaconglomerados), Passa Vinte (essencialmente mármores), Gorutuba (metapelitos, calciossilicáticas e mármores intercalados) e Gabro de Apiaí (unidade de topo) (Campanha, 1991).



**Figura 1:** Mapa geológico da região de Guapiara, Iporanga e Ribeira. L – Subgrupo Lajeado; AC – Formação Água Clara; AM – Complexo Apiaí Mirim; IT – Formação Itaiacoca; ivs – Formação Itaiacoca (sequências vulcanossedimentares); AG – Complexo Granitóide Agudos Grandes; G – Granitóides pós-tectônicos; PE – Formação Perau e correlatos; Ip – Formação Iporanga e correlatos; SE – Formação Setuva e correlatos; T – Mármore da Tapagem; Ia – Rochas intrusivas alcalinas mesosóicas. Extraído de Campanha (1991).

Ocorrem também nesse contexto intrusões de diques básicos Juro-Cretáceos, constituídos por diabásio, diabásio porfirítico e lamprófiros. São corpos tabulares que se apresentam de forma esparsa, com mergulho sub-vertical e espessura que varia geralmente entre alguns centímetros a poucos metros, podendo chegar até cerca de 70 m (Dique do Rio Betari). Os diques normalmente cortam todos os litotipos presentes, apresentando direções preferenciais para NW, NNW e para NE, ENE (Campanha, 1991).

A entrada da Caverna Pianos está localizada nas coordenadas UTM N 7317793 e E 0754653, pertencendo ao município de Guapiara. Ela está situada nas proximidades do Parque Estadual Intervalos (PEI) e também na região limítrofe entre as cartas topográficas Guapiara (SG.22-X-B-11) e Capão Bonito (SG.22-X-B-III).

### 3. METODOLOGIA

Através do trabalho de campo foi realizado o mapeamento topográfico da caverna Pianos, assim como um levantamento preliminar de características geológicas da rocha encaixante, como medidas de acamamento, litotipos e contatos geológicos presentes. Alguns termos para caracterizar a morfologia dos condutos seguem a proposta de Palmer (1991).

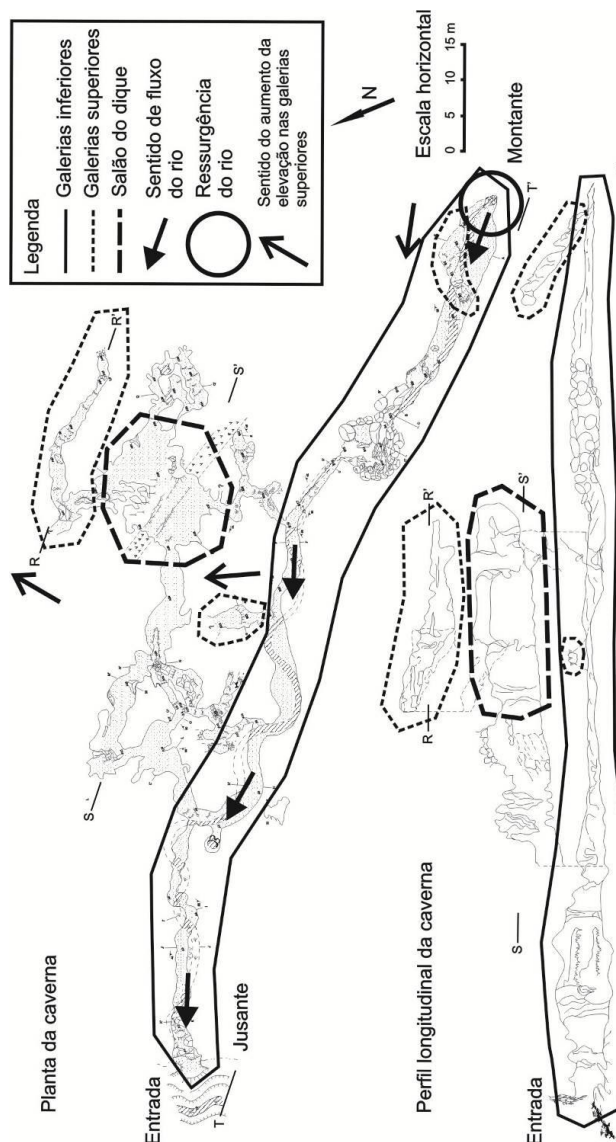
### 4. DISCUSSÃO E RESULTADOS

A caverna Pianos apresenta um desenvolvimento em planta de aproximadamente 363 m e desnível de 14 m, com morfologia predominantemente anastomosada, espeleotemas ativos e substrato quase sempre composto por preenchimento sedimentar clástico.

#### Morfologia dos condutos

Os condutos apresentam um desenvolvimento com formas lineares a sinuosas, que de modo geral acompanham a direção do acamamento dobrado dos metacalcários, que varia de NW para NE (figura 2). O perfil longitudinal da caverna mostra a existência de duas unidades principais: (i) galerias inferiores que possuem um maior desenvolvimento horizontal, com direção WNW – ESE e substrato caracterizado por um preenchimento sedimentar argilo-arenoso. Ocorre um rio que percorre os condutos das galerias inferiores, cuja ressurgência encontra-se na região extremo SE da caverna e possui continuidade

submersa não explorada, como indicado na figura 2; (ii) galerias superiores com maior desnível e menor desenvolvimento horizontal, atualmente secas, mas com evidências de depósitos fluviais antigos devido ao substrato composto por sedimentos que variam desde argila até areia e cascalho. Os condutos das galerias superiores apresentam elevação que aumenta gradativamente para NE ou para NW, até serem obstruídos pelo mesmo tipo de preenchimento sedimentar que compõe o substrato (figura 2).



**Figura 2:** Mapa topográfico em planta e perfil longitudinal da caverna Pianos. As regiões das galerias inferiores, galerias superiores e salão do dique estão indicadas por contornos no mapa. A posição e orientação dos perfis longitudinais T – T', S – S' e R – R' encontram-se indicados no mapa em planta.

As galerias superiores e inferiores são interligadas no maior salão da caverna, denominado no presente trabalho como salão do dique, pois é interceptado por uma intrusão de um dique de

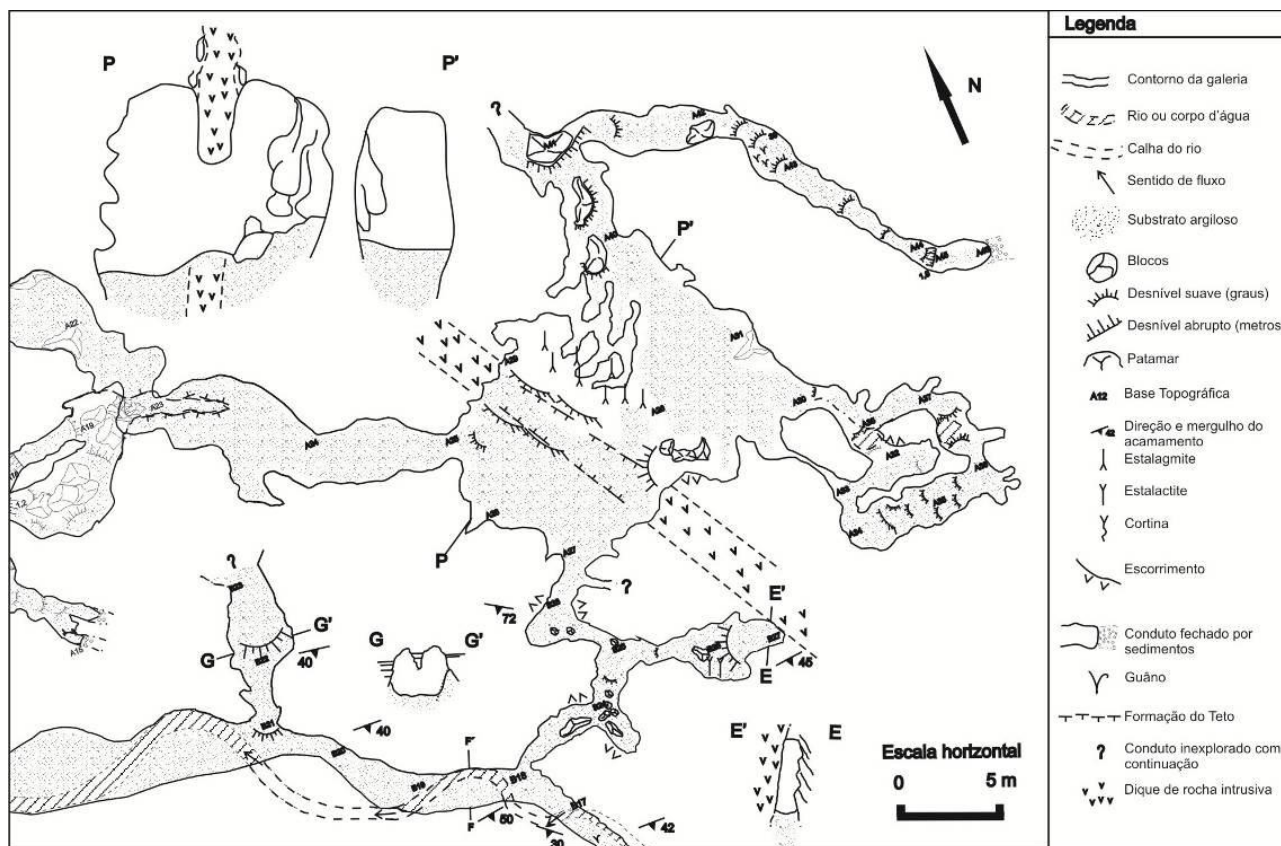
diabásio (figuras 2 e 3). Esse dique apresenta direção NW – SE, espessura de aproximadamente 2 a 3 m e mergulho sub-vertical (figura 4). No mapa detalhado do salão do dique (figura 3) a seção P – P’ mostra claramente que o diabásio se apresenta fortemente desgastado, ou erodido, possivelmente durante o desenvolvimento do conduto. A seção E – E’ (figura 3) mostra que a mesma rocha intrusiva intercepta outro conduto da caverna, mas nesse local não apresenta feições de desgaste ou erosão bem desenvolvidas.

O dique apresenta contato discordante com a rocha encaixante e em suas bordas ocorrem xenólitos centimétricos a decimétricos de metacalcário (figura 5). O diabásio apresenta cor avermelhada em sua superfície, indicando provavelmente ação de intemperismo químico (figura 5). Os sentidos de mergulho aparente nos blocos de metacalcário separados pela intrusão são opostos (figura 4), o que possivelmente indica um plano de falha com componente rotacional, que teria sido aproveitada como caminho preferencial de intrusão do dique.

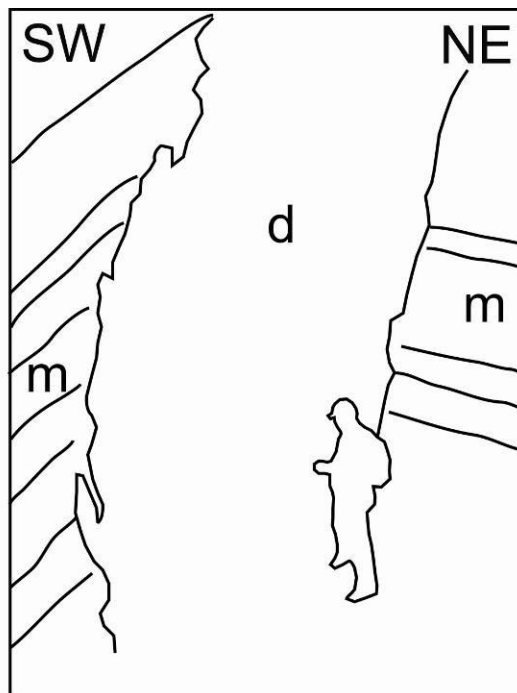
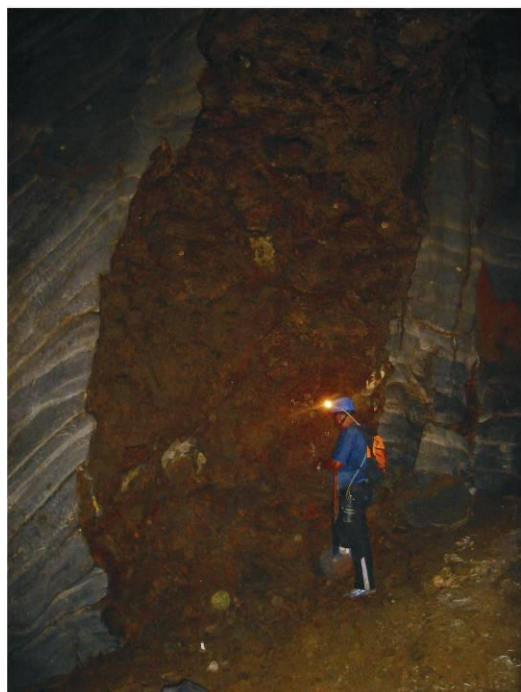
### Considerações preliminares sobre a evolução dos condutos

As considerações que serão apresentadas nesta seção referem-se à hipóteses preliminares e tem como intuito iniciar uma discussão a respeito das possíveis influências que o dique de diabásio, encontrado na caverna Pianos, poderia ter exercido na morfologia e gênese dos condutos.

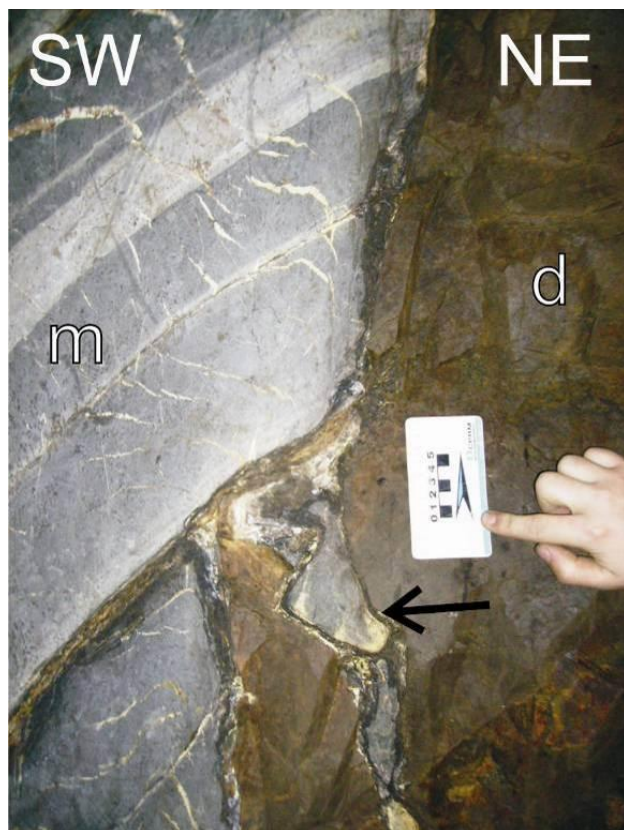
Pelo fato da ocorrência do dique de diabásio estar associada ao maior salão em volume da caverna, levantamos a hipótese de que a dimensão desse salão poderia ter sido atingida por um desgaste mais lento do diabásio (minerais silicáticos) e um desgaste mais acelerado do metacalcário (minerais carbonáticos). Não se sabe qual ou quais os processos que mais influenciaram no desgaste do dique, mas consideramos aqui a hipótese de que tanto agentes mecânicos como químicos podem ter ocorrido.



**Figura 3:** Detalhe do mapa topográfico destacando, no centro, o salão do dique, interceptado por uma intrusão de diabásio com direção NW - SE. A seção transversal P – P’ mostra que o dique encontra-se erodido e a seção E – E’ mostra a continuidade lateral dessa mesma rocha ígnea, interceptando outro conduto da caverna.



**Figura 4:** Foto do dique de diabásio no salão da Caverna Planos, a esquerda, e interpretação das estruturas presentes, a direita. m – metacalcário; d – dique de diabásio. É possível reconhecer o contato discordante do dique com a rocha encaixante, assim como os sentidos opostos de mergulho apresentados pelos blocos de metacalcário separados pelo dique. Foto: Nicolás Misailidis Strikis.



**Figura 5:** Detalhe da borda do dique de diabásio, com destaque para os xenólitos centimétricos de metacalcário, indicados na figura por uma seta. m – metacalcário; d – diabásio. É possível observar também a cor avermelhada na superfície do diabásio. Foto: Nicolás Misailidis Strikis.

Duas outras hipóteses preliminares sobre a evolução dos condutos serão apresentadas a seguir:

A primeira hipótese consiste na evolução dos condutos da caverna Planos como um único sistema, formado por galerias superiores mais antigas e galerias inferiores mais recentes, fruto de um entalhamento vadoso. Esta hipótese é suportada pela presença do atual rio nas galerias inferiores e pela ocorrência de depósitos sedimentares compostos por argila, silte, areia e seixos, interpretados como de origem fluvial, no substrato das galerias superiores. Porém, esta não explica a constatação da ampliação do salão tanto a NE como a SW do dique. No caso de haver apenas um sistema de fluxo, espera-se que a porção a montante do dique tenha um salão mais desenvolvido, enquanto a porção a jusante deveria se apresentar mais estreita, assim como os demais condutos da caverna.

A segunda hipótese considera que o dique de diabásio poderia ter atuado como uma barreira hidráulica, até um estágio indeterminado de evolução dos condutos, dividindo a caverna Planos em dois sistemas de fluxo distintos, um situado a NE e outro a SW. A morfologia da caverna indica um fluxo de água distinto a NE e a SW do dique, que durante o período no qual poderia ter atuado como barreira hidráulica, promoveu o desenvolvimento da caverna numa direção paralela à direção do dique, possibilitando assim a anomalia

morfológica do largo salão em relação aos condutos mais estreitos. Outro ponto que corrobora essa hipótese é o desgaste maior no teto do conduto do salão em relação à proporção perfurada do dique, como pode ser verificado na seção P – P' da figura 3.

Posteriormente com a atuação de agentes químicos e mecânicos o dique teria sido cortado, unindo os dois sistemas de fluxo, sugerindo que a atuação como barreira hidráulica depende de um aspecto temporal e, provavelmente, da passagem para um fluxo turbulento já em zona vadosa, o que poderia intensificar o intemperismo mecânico.

A anomalia da largura do salão do dique tanto a NE como a SW do mesmo sugere que este teria agido como barreira hidráulica para os dois sistemas de fluxo, do contrário, seria notada uma anisotropia desta anomalia, sendo que uma porção da caverna teria um largo salão e a outra adjacente deveria manter as feições de condutos estreitos verificadas no restante da caverna.

A existência de galerias superiores, interpretadas como galerias mais antigas que as inferiores, tanto nas regiões a NE como a SW do dique indicam que poderia ter ocorrido um desenvolvimento independente dos condutos durante uma presumida fase de isolamento hidráulico entre os dois sistemas separados pelo dique (figura 2).

## 5. CONCLUSÕES

A presença de um dique de diabásio com feições de desgaste ou erosão bem desenvolvidas, que intercepta transversalmente os condutos da Caverna Pianos, mostra claramente que esse tipo de rocha intrusiva não representa, necessariamente, uma barreira hidráulica dentro de aquíferos cársticos. Dessa forma trabalhos de hidrogeologia em áreas cársticas, que apresentem feições de intrusão de diques, devem levar em conta testes como simulações de rebaixamento em poços para avaliar se o aquífero é, ou não, dividido em compartimentos hidrologicamente isolados devido a presença de diques (eg. Filho et al. 2002).

Uma hipótese levantada considera que a evolução dos condutos da caverna Pianos poderia ter se desenvolvido como um único sistema, com galerias superiores mais antigas e galerias inferiores mais recentes.

No entanto, a morfologia dos condutos da caverna Pianos mostra que provavelmente o dique

atuou como barreira hidráulica até ser perfurado por um fluxo turbulento, já em zona vadosa, no aquífero cárstico. Sua ação como barreira é evidenciada pela anomalia da largura do salão do dique em relação aos estreitos condutos do restante da caverna, mostrando que a água desse sistema, ao encontrar uma rocha menos solúvel, passou a dissolver a rocha calcária perpendicularmente à linha principal de fluxo, consequentemente de forma paralela à direção do dique.

Mais estudos são necessários para compreender melhor as influências que rochas intrusivas, como diques de diabásio, podem exercer na morfologia e evolução de condutos cársticos. Os próximos trabalhos nesta caverna terão como objetivo a discussão da espeleogênese relacionando-a com as outras cavernas da região do Vale do Ribeira, onde as cavernas mostram eventos de intenso preenchimento sedimentar que foram posteriormente entalhados por fluxos de água. Este tipo de feição mostra a presença de mudanças climáticas durante a espeleogênese, que podem ser relacionadas com as encontradas em estudos paleoclimáticos através da análise de espeleotemas.

Para isso serão necessários o mapeamento em detalhe dos contatos do corpo carbonático e estudo da geomorfologia, a fim de se delimitar as zonas de recarga e descarga do aquífero cárstico, a ocorrência de diques e um estudo da proveniência sedimentar dos depósitos aluvionares na caverna, cuja composição pode indicar o início da perfuração do dique através da presença de camadas com fragmentos líticos de diabásio.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao diretor e funcionários do Parque Estadual Intervales (PEI), que forneceram apoio de transporte e estadia durante a etapa de campo. Agradecemos a todos os integrantes do GGEO (Grupo de Espeleologia da Geologia da USP) que participaram do mapeamento, confecção do mapa da Caverna Pianos ou discussões sobre este projeto: Bruno Daniel Lenhare, Camila Augusto dos Santos, Eline Alves de Souza Barreto, Flávio Rogério da Silva, Henrique Polido Tanganelli, Leonardo Aguiar, Lucas Andreatta Ribeiro, Lucas Padoan de Sá Godinho, Luis Henrique Sapiensa Almeida, Natasha da Silveira Pinto, Ricardo Angelim Pires-Domingues e Yuri Bugarin Woiski Miranda. Agradecemos também a Carla Hachul Burattini pelo auxílio no tratamento das imagens e ao Prof. Dr. Ivo Karman pelo auxílio em discussões e revisão do texto.

## REFERÊNCIAS

- ARTHUR N. PALMER. Origin and morphology of limestone caves. Geological Society of America Bulletin, v.103, p. 1 - 25, 1991.
- CAMPANHA, G. A. Tectônica Proterozóica no Alto e Médio Vale do Ribeira, Estados de São Paulo e Paraná. 1991. 296 f. Tese de doutoramento – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1991.
- ERNANI R. FILHO; GIL POLIDORO; TILL HARUM; ALVARO A. LISBOA, ARLINEU RIBAS; HANS ZOJER. Projeto Carste - relatório consultivo final. 2002. Disponível em: [www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/rel\\_final.pdf](http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/rel_final.pdf). Acesso em: Outubro de 2008.