



35^o
Bonito - MS

ANAIS do 35^o Congresso Brasileiro de Espeleologia
19 - 22 de julho de 2019 - ISSN 2178-2113 (online)



O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 35^o Congresso Brasileiro de Espeleologia disponível gratuitamente em www.cavernas.org.br.

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

TIMO, J.B. et al. Monitoramento hídrico na cavidade AP_0038, sítio espeleológico Apolo, Santa Bárbara, Minas Gerais, Brasil. In: ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35, 2019. Bonito. *Anais...* Campinas: SBE, 2019. p.164-169. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe_164-169.pdf. Acesso em: *data do acesso*.

Esta é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia.
Consulte outras obras disponíveis em www.cavernas.org.br

MONITORAMENTO HÍDRICO NA CAVIDADE AP_0038, SÍTIO ESPELEOLÓGICO APOLO, SANTA BÁRBARA, MINAS GERAIS, BRASIL

WATER MONITORING IN AP_0038 CAVE, APOLO SPELEOLOGICAL SITE, SANTA BÁRBARA, MINAS
GERAIS, BRAZIL

Juliana Barbosa TIMO (2); Mariana Barbosa TIMO (1,2); Georgete Macedo DUTRA (4); Luiz
Eduardo Panisset TRAVASSOS (1,3); Frederico, Augusto RIBEIRO (2); Ívia LEMOS (2); Rafael
Neves SALVADOR (2)

- (1) Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Pós-graduação em Geografia.
- (2) Spelayon Consultoria EPP.
- (3) Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Pós-graduação em Geografia, Bolsista de
Produtividade em Pesquisa (PQ-2) do CNPq.
- (4) Vale S.A.

Contatos: juliana.spelayon@gmail.com; mariana@spelayonconsultoria.com.br; georgete.dutra@vale.com;
luizepanisset@gmail.com; frederico.spelayon@gmail.com; ivia.spelayon@gmail.com;
rafael.spelayon@gmail.com.

Resumo

O monitoramento espeleológico é uma importante ferramenta no processo de compatibilização da utilização dos recursos naturais e da preservação do patrimônio espeleológico e é eficaz na busca de informações que demonstram a real interferência do meio externo nas condições ambientais e físicas das cavidades. Com o monitoramento hídrico, pode ser avaliada a dinâmica das águas na cavidade e o acompanhamento dos parâmetros ao longo do ano hidrológico. Além disso, a aferição de dados de temperatura e umidade contribui para o conhecimento e a conservação do clima na cavidade. Na área denominada APOLO está inserida a cavidade AP_0038. A cavidade está inserida em alta vertente, no topo do platô de canga, sendo que a região apresenta declividade suave. Considerando os dados coletados durante o ano hidrológico 2017-2018, pode-se inferir que a água meteórica pode estar sendo dissipada e preenchendo os poros da rocha, devido à característica porosa da rocha matriz. Um monitoramento contínuo é importante para o melhor entendimento da dinâmica hídrica da cavidade.

Palavras-Chave: hidrológico; monitoramento; AP_0038; infiltração.

Abstract

Caving monitoring is an essential tool in the process of allowing the use of natural resources and the preservation of speleological heritage and is useful in the search for information that demonstrates the real interference of the external environment in the environmental and physical conditions of the caves. With the water monitoring, the dynamics of the water in the cave can be evaluated and the monitoring of the parameters throughout the hydrological year. Also, the measurement of temperature and humidity contributes to the conservation of the climate in the cave. In the area called APOLO is inserted the AP_0038 cave. The cave is in high slope, at the top of the canga plateau, and the region presents a gentle slope. Considering the data collected, during the hydrological year 2017-2018, it can be inferred that the meteoric water may be being dissipated and filling the pores of the rock, due to the porous characteristic of the matrix rock. The historical series is still insufficient for in-depth analysis. Continuous monitoring is essential for the understanding of the hydraulic dynamics of the cave.

Keywords: hydrological; monitoring; AP_0038; infiltration.

1. INTRODUÇÃO

O Patrimônio Espeleológico é detentor de atributos cênicos de grande beleza; a fragilidade e a complexidade são características notórias deste ambiente, principalmente, em função de aspectos

como o confinamento espacial, a ausência de luz, as delicadas formações geológicas e geomorfológicas e a fauna endêmica especializada (LOBO; BOGGIANI, 2013).

Por essa razão, o monitoramento espeleológico se torna uma importante ferramenta no processo de compatibilização da utilização dos recursos naturais e da preservação do patrimônio espeleológico. Na busca de informações que demonstram a real interferência do meio externo nas condições ambientais e físicas das cavidades, é possível propor com segurança uma área de proteção eficiente de tais feições geomorfológicas.

A área de influência deve ser avaliada levando em consideração os parâmetros que condicionam a dinâmica evolutiva e a manutenção do ecossistema cavernícola. Em relação à dinâmica evolutiva de uma caverna, têm-se os processos geomorfológicos e hidrológicos como a entrada de água superficial, meteórica, e de infiltração.

A cavidade AP_0038 localiza-se na área denominada APOLO, no município de Santa Bárbara, região do Quadrilátero Ferrífero – MG (Figura 1). Este monitoramento hídrico tem como objetivo avaliar a dinâmica das águas na cavidade e em seu entorno, ao longo de um período pré-determinado. Além disso, a aferição de dados de temperatura e umidade pode contribuir para o conhecimento acerca do microclima da cavidade.

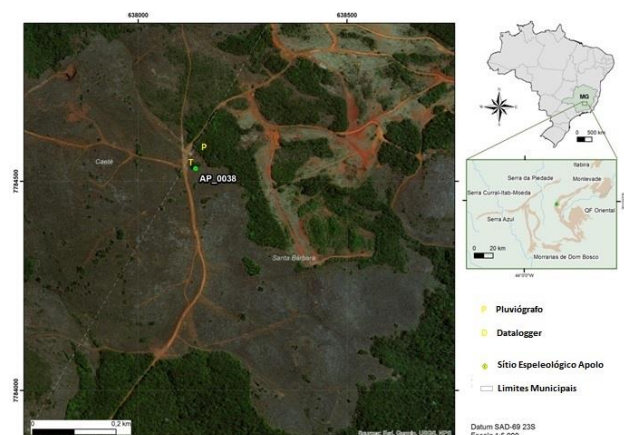


Figura 1: Mapa de localização da cavidade AP_0038 no Quadrilátero Ferrífero, incluindo a localização dos equipamentos de monitoramento instalados no entorno da cavidade.

2. METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa foi baseada no trabalho desenvolvido por Dutra (2017). Para que o monitoramento hídrico fosse possível, foram instalados - dentro e fora da AP_0038 - pluviôgrafos e *dataloggers* de temperatura e umidade de forma a estimar a quantidade e variação das águas infiltradas.

Durante os trabalhos de campo, os dados dos equipamentos instalados no interior da cavidade

e na região de entorno, foram aferidos. Nesta etapa, também foi realizada a leitura e salvamento das informações dos *dataloggers* e dos pluviôgrafos, além da verificação das condições dos instrumentos.

Os pontos de água no interior da cavidade foram mapeados, com a identificação no croqui dos locais de gotejamento, percolação e jorro de água nos condutos, sempre a cada missão de campo. Além disso, realizou-se avaliação dos pontos de infiltração no interior das cavidades, identificando a existência de fraturamentos ou zonas de acúmulo de água, bem como a descrição da rocha encaixante com variações na litologia e suas estruturas.

Na cavidade AP_0038 foram instalados 2 pluviôgrafos, sendo 1 interno à cavidade e 1 na área externa. Em relação aos *dataloggers* de temperatura e umidade, foram instalados 4 equipamentos, sendo 3 no interior da cavidade e 1 na área externa (Figura 1 e Figura 2).

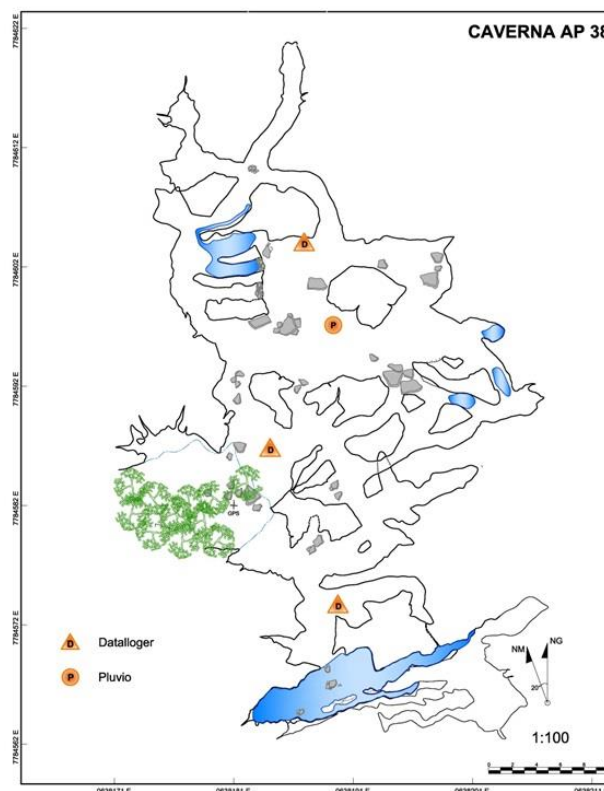


Figura 2: Croqui topográfico da cavidade com a localização dos instrumentos/equipamentos instalados em seu interior.

Geralmente as atividades de campo são programadas pelo menos uma vez ao mês. Porém, devido a condições climáticas ou problemas técnicos não foi possível coletar os dados em todos os equipamentos da cavidade em todas as visitas. O dado fica armazenado nos instrumentos, que pode ser aferido no mês seguinte.

Em resumo, foram realizadas missões de campo desde o mês de outubro de 2017 até setembro de 2018, completando um ano hidrológico.

No escritório, os dados foram tratados a fim de permitir a elaboração de gráficos de pluviosidade, temperatura e umidade. Além disso, os dados coletados foram organizados, fotos foram separadas e os croquis com o a espacialização dos locais de gotejamento foram digitalizados.

3. BREVE CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de ocorrência da cavidade está nos domínios da cobertura de Canga, unidade cenozoica, da Formação Cauê, Supergrupo Minas, com um grande hiato deposicional (SPELAYON, 2018).

Em campo, verifica-se que a área de entorno da cavidade é formada por canga detrítica, que recobre a formação ferrífera (Formação Cauê), formando platôs nas porções elevadas da serra.

A canga detrítica identificada é formada por fragmentos mal selecionados de tamanhos variados, desde blocos a grânulos, compostos por formação ferrífera e hematita. Os fragmentos são angulares a subangulares, dispostos de forma caótica e cimentados em uma matriz laterítica.

No domínio morfoestrutural do Quadrilátero Ferrífero (QF), contrastes bastante significativos alternam áreas aplainadas com picos e cristas elaboradas. O processo de dissecação no QF é marcado por um nítido controle estrutural, com intensidade controlada pela diferença litológica e atuação de processos tectônicos. A preservação de porções elevadas do relevo é favorecida pela existência de extensas áreas cobertas por resistentes crostas ferruginosas, também chamadas de canga ou laterita, que recobrem tanto o topo de superfícies aplainadas, quanto diversos níveis das vertentes (VARAJÃO, 1988).

As principais serras que compõem os limites do QF são a Serra do Curral (ao norte), a Serra da Moeda (a oeste), Serra Dom Bosco (ao sul) e as serras do Caraça e do Gandarela (a leste). Os topos possuem formatos mais ou menos arredondados, com a predominância de vertentes dissecadas por eventos erosivos. As altitudes médias são de cerca de 1.000 m e os patamares mais elevados são encontrados na Serra do Caraça, chegando a alcançar 2.000 m. Já os pontos de menor altitude situam-se nos morros residuais que aparecem ao longo do Vale do Rio das Velhas, que chegam a

alcançar altitudes em torno de 900 metros (SILVA, 2007).

A área da pesquisa se insere no contexto da Serra do Gandarela, no centro-leste do QF (Figura 3). A caverna está localizada no extremo sudoeste da serra, em cotas altimétricas elevadas próximas a 1.550 m. No local a cobertura de canga forma um platô, cujo relevo é aplainado na região de topo.

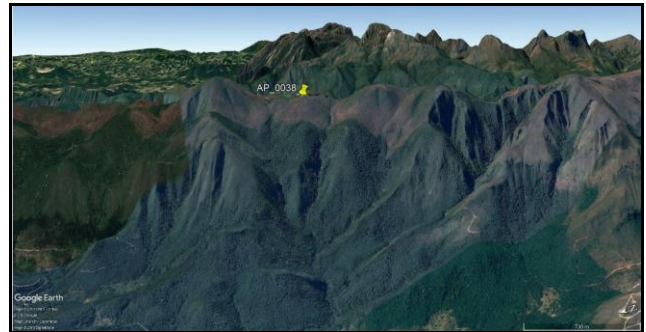


Figura 3: Localização da cavidade AP_0038 em meio a Serra do Gandarela. A imagem foi retirada do *Google Earth*, com projeção 3D do relevo considerando um exagero de 3 vezes na elevação.

A cavidade AP_0038 está inserida em alta vertente, no topo do platô de canga, sendo que a região apresenta declividade suave. No local onde se desenvolveu a cavidade é possível identificar uma depressão e uma pequena escarpa de até 1,5 m de desnível. A entrada da cavidade se localiza justamente na base desta escarpa (Figura 4). A área de contribuição hídrica da cavidade abrange a região do platô onde está inserida, sendo que já está posicionada em alto topográfico local.

Observa-se pelo menos duas entradas que apresentam teto baixo, com até 1 m de altura na porção mais central. As paredes na região de entrada são largas, afunilando nas extremidades. Apresenta projeção horizontal de 345 m, área de 676 m², volume aproximado de 798 m³ e um desnível total de 6,8 m.

Devido a morfologia dos condutos e supostas impressões de garras de animais nas paredes, a cavidade é considerada uma paleotoca. O padrão planimétrico da cavidade pode ser considerado ramificado ou espongiforme. Nas duas entradas formam-se salões amplos com piso de alta declividade para o interior dos condutos. Dos salões de entrada, a cavidade se ramifica em diversos condutos. Além disso, existem conexões entre os condutos, gerando uma rede interconectada.

O teto e as paredes são, em sua maioria, regulares. Seus condutos são arredondados (Figura

5). Em pontos do teto e paredes ocorrem canalículos arredondados que levam para dentro da cavidade sedimentos finos retirados da rocha encaixante e também conduzem a água.

Em geral, a inclinação do piso é descendente em direção a porção mais distal da caverna. Nos salões próximos das entradas a declividade é mais acentuada e nos condutos interiores, mais suave. O teto é predominantemente baixo, sendo que localmente fica mais alto em pontos onde ocorrem salões. No piso, os sedimentos são predominantemente finos, do tipo argiloso. Em um salão mais interior, é possível identificar banco de sedimento com variedade de tamanho de fragmentos que indicam origem autóctone. Ocorrem abatimentos de parte do teto que são intensificados pelo processo de percolação de água.



Figura 4: Entrada da cavidade com teto baixo.



Figura 5: Ramificação de condutos com formas arredondadas.

Na maior parte do ano verifica-se gotejamento e percolação hídrica nos condutos, com parte das paredes, teto e sedimentos úmidos. Nos condutos mais distais da cavidade ocorre acúmulo

de água por infiltração que, em períodos chuvosos, formam lâminas d'água. Durante eventos de precipitação, toda a cavidade pode ser alagada. Quanto aos espeleotemas, observa-se que ocorrem crostas e escorrimentos ferruginosos nas paredes, associados a pontos de infiltração de água nos condutos. Na superfície dos escorrimentos observa-se a formação de microtravertinos (Figura 6).



Figura 6: Escorrimento ferruginoso na parede com formação de microtravertinos na superfície do escorrimento.

Na área de contribuição hídrica da cavidade, no seu entorno, foi instalado um pluviógrafo externo na porção aplainada da cobertura de canga (Figura 7). O pluviógrafo faz medições de eventos pluviais com a indicação em milímetros da altura da lâmina d'água acumulada durante a precipitação. Na Figura 8 pode ser verificado o gráfico gerado a partir dos registros do instrumento relativos ao ano hidrológico 2017-2018, contemplando os meses de outubro de 2017 a setembro de 2018.



Figura 7: Localização do pluviógrafo externo à cavidade AP_0038.

Verifica-se que a maior concentração de chuvas ocorre nos meses de novembro e dezembro

de 2017 e fevereiro de 2018. O mês de fevereiro apresenta valores próximos a 500 mm. Com exceção do mês de agosto, os meses de maio a setembro apresentaram baixos valores de pluviosidade sendo que nos meses de maio e junho esses valores foram de aproximadamente 1 mm. No mês de julho ocorreram eventos que somaram 8,5 mm e no mês de setembro ocorreu registro de 6,25 mm.

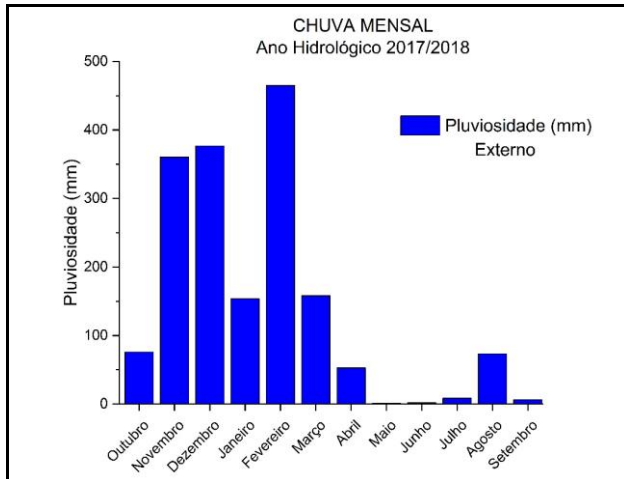


Figura 8: Gráfico da pluviosidade aferida no instrumento instalado na região externa à cavidade.

Os *dataloggers* de temperatura e umidade fazem medições de hora em hora dos valores apresentados pelo ambiente em que está instalado. O dado da temperatura é apresentado em graus celsius (°C) e a umidade relativa do ar em porcentagem (%). O *datalogger* externo foi instalado no mês de fevereiro de 2018 e, por isso, os dados do período chuvoso (primavera-verão) são referentes apenas aos meses de fevereiro e março (Figura 9).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O monitoramento de temperatura e umidade no interior da cavidade é realizado através da aferição dos dados de três *dataloggers* instalados no interior dos condutos.

Cada gráfico gerado corresponde aos registros de um instrumento, TU Entrada, TU Interno Salão e TU Virador. Os registros são relativos ao ano hidrológico 2017-2018, que contempla os meses de outubro de 2017 a setembro de 2018. O gráfico do equipamento externo também foi inserido na figura para que fosse possível a comparação dos resultados (Figura 9).

No *datalogger* TU Entrada percebe-se maior variação nos dados de temperatura e umidade ao longo do ano. A umidade atingiu a saturação em vários registros e, no mês de agosto, teve seu valor mais baixo, com registro de 30%. A temperatura

apresenta uma variação diária, mas entre os meses de janeiro a abril de 2018 houve os maiores registros.

Nos dois *dataloggers* instalados em condutos internos, TU Interno Salão e TU Virador, a umidade se manteve saturada ao longo de todo o ano hidrológico. A temperatura também se manteve constante nos dois instrumentos, sendo observada uma elevação dos valores entre os meses de janeiro e abril de 2018.

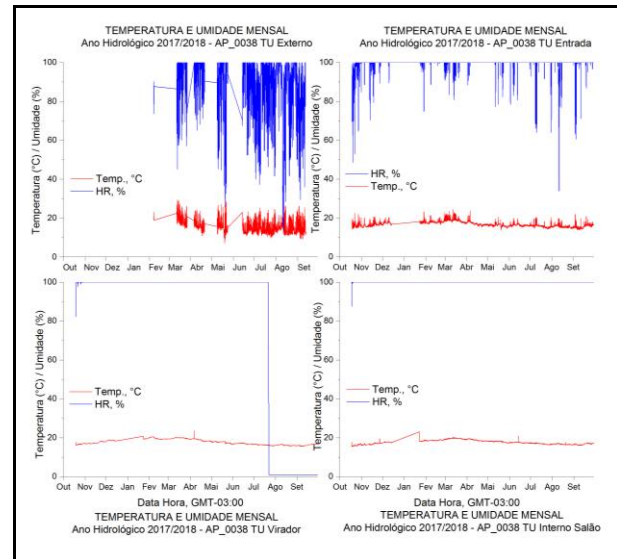


Figura 9: Gráfico com os dados dos instrumentos de TU instalados no interior e no entorno da cavidade AP_0038.

O monitoramento da infiltração no interior da cavidade é realizado por meio da aferição dos dados de um pluviógrafo instalado no interior do conduto e também da avaliação dos pontos de gotejamento observados em cada campanha. O pluviógrafo interno foi instalado em local que apresentou gotejamento constante. O instrumento registrou os eventos de gotejamento de água que infiltrou pela canga e chegou até o interior da cavidade no ponto que estava localizado.

Na Figura 10 são apresentados os dados coletados nos pluviógrafos interno e externo no ano hidrológico 2017/2018. Verifica-se que a maior concentração de infiltração ocorreu nos meses de fevereiro e março de 2018. No mês de fevereiro a infiltração apresentou valores próximos a 80 mm. Entre os meses de abril e setembro de 2018 ocorreram os mais baixos valores de infiltração, sendo que no período de junho a setembro de 2018 não houve registros de infiltração no equipamento instalado.

No ano hidrológico 2017-2018, o início das chuvas se deu em outubro. Contudo, o registro da

água de infiltração só iniciou em novembro, como pode ser observado na Figura 10.

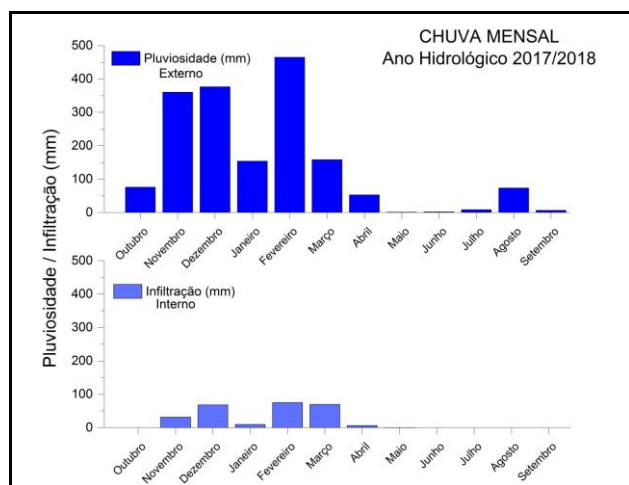


Figura 10: Gráfico da pluviosidade/infiltração do ano hidrológico comparando os dados externo e interno para a cavidade AP_0038.

Com o início das chuvas, a água infiltra no maciço e parte dela é direcionada para o interior da cavidade, que está inserida de forma rasa no relevo. Ao comparar os dados de pluviosidade aferidos no equipamento externo e os dados de infiltração do equipamento interno à cavidade, verifica-se que o volume de infiltração no interior da cavidade é inferior ao volume registrado para a chuva no exterior. O valor infiltrado equivale a menos de 1 terço da água meteórica registrada no pluviógrafo externo. Esta situação pode ser justificada pela distribuição da água ao logo da bacia hidrográfica e pela perda de água pela evapotranspiração.

Novembro e dezembro de 2017 e fevereiro de 2018 foram os meses mais chuvosos. O

REFERÊNCIAS

- DUTRA, Georgete Macedo. **Análise de susceptibilidade de duas cavidades em litologia de ferro na Serra do Gandarela, MG.** Estudo de caso: AP_0009 e AP_0038. 2017. 114 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.
- LOBO, Heros Augusto Santos; BOGGIANI, Paulo César. **Cavernas como patrimônio geológico.** *Boletim Paranaense de Geociências*, v. 70, p. 190-199, 2013.
- SILVA, F. R. **A paisagem do Quadrilátero Ferrífero, MG:** potencial para o uso turístico da sua geologia e geomorfologia. 144 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. – UFMG. 2007.
- SPELAYON – SPELAYON CONSULTORIA EPP. **Monitoramento Hídrico de Cavidades Naturais Subterrâneas:** Sítio Espeleológico Apolo. pp. 55, 2018.
- VARAJÃO, C.A.C. **Estudo comparativo das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero, MG.** 1988. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 1988.

equipamento externo registrou 360, 375 e 465 mm de chuva, respectivamente. No mesmo período o equipamento interno registrou 31, 68 e 75 mm de chuva, respectivamente.

É possível observar uma relação entre a água meteórica e a de infiltração. Apesar da água infiltrada ser bem menor que a meteórica, a infiltração só ocorre quando existem registros de chuva no ambiente externo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os dados coletados durante o ano hidrológico 2017-2018, pode-se inferir que parte da água meteórica está infiltrando para o interior da cavidade e preenchendo os poros da rocha, devido à característica porosa da rocha matriz. O restante da água meteórica provavelmente está escoando ao logo da bacia hidrográfica. Devem também ser consideradas as perdas pela evapotranspiração.

Ao cessar o aporte de água pela chuva, a umidade no interior do maciço se redistribui, com menores teores de umidade próximo à superfície e maiores nas camadas mais profundas. Além da umidade ser drenada para as camadas mais profundas do maciço, parte da água é transferida para a atmosfera por evapotranspiração.

6. AGRADECIMENTOS

A toda a equipe envolvida na coleta e tratamento dos dados, à Spelayon Consultoria e à Vale, pelo subsídio financeiro.