



ANAIS do 34º Congresso Brasileiro de Espeleologia

Ouro Preto SP, 13-18 de junho de 2017 - ISSN 2178-2113 (online)



O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 34º Congresso Brasileiro de Espeleologia disponível gratuitamente em www.cavernas.org.br/34cbeanais.asp

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

SCHERER, R. S.; *et al.*. Ocorrência de espeleotemas e feições morfológicas raras em cavernas ferríferas da Serra dos Carajás, no Pará. In: RASTEIRO, M.A.; TEIXEIRA-SILVA, C.M.; LACERDA, S.G. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 34, 2017. Ouro Preto. *Anais...* Campinas: SBE, 2017. p.409-416. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais34cbe/34cbe_409-416.pdf>. Acesso em: *data do acesso*.

A publicação dos Anais do 34º CBE contou com o apoio do Instituto Brasileiro de Mineração. Acompanhe a cooperação SBE-IBRAM em www.cavernas.org.br/sbe-ibram

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



IBRAM 40 anos
INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO
Brazilian Mining Association
Câmara Mineira de Brasil

OCORRÊNCIA DE ESPELEOTEMAS E FEIÇÕES MORFOLÓGICAS RARAS EM CAVERNAS FERRÍFERAS DA SERRA DOS CARAJÁS, NO PARÁ

*OCCURRENCE OF PHOSPHATE SPELEOTHEMS AND RARE MORPHOLOGICAL FEATURES IN IRON
CAVES OF THE SERRA DOS CARAJÁS, PARÁ*

**Rafael dos Santos SCHERER (1,4); Luís B. PILÓ (2); Pedro Walfir Martins SOUZA-FILHO (3);
Airton da Silva BARATA (1); Bruno dos Santos SCHERER (4)**

(1) Vale SA, Canaã dos Carajás PA.

(2) Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, Belo Horizonte MG.

(3) Instituto Tecnológico Vale, Belém PA.

(4) Grupo Espeleológico de Marabá, Marabá PA.

Contatos: lbpilo7@gmail.com; schererafael@gmail.com.

Resumo

Em pouco mais de 10 anos, a região da serra dos Carajás se tornou a maior província espeleológica de cavernas ferríferas (formação ferrífera e canga) do país. Atualmente são conhecidas aproximadamente 2.300 cavernas. No entanto, uma parcela destas cavernas desenvolveu feições morfológicas distintas e espeleotemas diferenciados, considerados raros, incluindo estalagmites, colunas e estalactites de fosfatos, além de coralóides com reduzida ocorrência. O objetivo deste trabalho é aprofundar o conhecimento sobre as feições morfológicas distintas e espeleotemas raros estudando sua mineralogia e morfologia. Para isso, foram realizados estudos cartográficos, geoespeleológicos e mineralógicos em sete cavernas visando uma melhor compreensão da origem e evolução desses depósitos químicos e feições morfológicas. Para investigar a mineralogia dos depósitos químicos foram utilizados métodos de difração de raios X e fluorescência de raios X. A análise morfológica foi realizada a partir dos levantamentos topográficos em nível 5D e estudos geoespeleológicos. Estas avaliações permitiram identificar cavernas com câmaras compostas constituídas por mais de um compartimento. Planimetricamente as sete cavernas se enquadraram no padrão espongiiforme. As seções longitudinais mostraram cavernas com pisos inclinados, concordantes com a vertente. Todas apresentam drenagem perene ou temporária alimentadas por águas pluviais que percolam por fraturas, oriundas do escoamento subsuperficial das encostas. O gotejamento e o escoamento são os principais responsáveis pela geração de diversas feições nos pisos e nas paredes. O guano existente nas cavernas, possivelmente, é o responsável pela geração da expressiva acidez da água que circula nessas cavernas. Os processos que formam esses espeleotemas e feições raras são, principalmente, biogênicos e estes são formados quase que exclusivamente de fosfato. Os principais minerais fosfáticos identificados foram: francoanellita, fosfosiderita, fosfato de cálcio, leucofosfita, newberyita, sfeniscidita, variscita e strengita. No grupo dos fosfatos ocorreram dois minerais raros, a Francoanellita e a Newberyita, ambos com pouca ocorrência no mundo e registrados pela primeira vez no Brasil.

Palavras-Chave: espeleotema; morfologia; cavernas ferríferas; Serra dos Carajás.

Abstract

In a little more than 10 years, Carajás region has become the largest speleological province of iron formation caves in the country. About 2,300 caves are currently known. However, a portion of these caves developed distinct morphological features and differentiated speleothems, considered rare, including stalagmites, columns and stalactites of phosphate, as well as chorioids with reduced occurrence. The objective of this work is to deepen the knowledge about the distinct morphological features and rare speleothems studying its mineralogy and morphology. For this, cartographic, geoespeleological and mineralogical studies were carried out in seven caves in order to better understand the origin and evolution of these chemical deposits and morphological features. To investigate the mineralogy of the chemical deposits, methods of X-ray diffraction and X-ray fluorescence were used. The morphological analysis was performed from topographic surveys at 5D level and geoespeleological studies. These evaluations allowed to identify caves with only composite chambers consisting of more than one compartment. Planimetrically the seven caves fit the spongiform pattern. The longitudinal sections showed caves with inclined floors,

concordant with the slope. All of them present perennial or temporary drainage where rainwater accumulates and participate in the subsurface flow of the slopes. Drip and drainage are the main responsible for the generation of diverse features on floors and walls. The guano in the caves is possibly responsible for generating the expressive acidity of the water circulating in these caves. The processes that form these speleothems and rare features are mainly biogenetic and these are formed almost exclusively of phosphate. The main phosphatic minerals identified were: francoanellite, fosfosiderite, calcium phosphate, leucophosphite, newberyite, spheniscidite, variscite and strengite. In the phosphate group, two rare minerals, Francoanellita and the Newberyita, both with little occurrence in the world and registered for the first time in Brazil.

Key-words: speleothems, morphologies, iron caves, Serra dos Carajás.

1. INTRODUÇÃO

As primeiras referências às cavernas ferríferas em Carajás são do início da década de 1970. Destaca-se o trabalho de Tolbert et al. (1971) sobre as jazidas de minério de ferro recém-descobertas. O referido autor fez referência ao manto de canga que continha grandes cavernas. Já na década de 1980, os primeiros estudos sobre as cavernas de Carajás foram conduzidos por Pinheiro et al. (1988) e Pinheiro e Maurity (1988).

Em seu primeiro relatório sobre as cavernas de Carajás, Pinheiro et al. (1985) detalharam quatro cavernas, no Platô de N1, na Serra Norte, além de discorrerem sobre as feições encontradas e sua possível gênese. Este trabalho foi detalhado em Pinheiro e Maurity (1988), onde a interpretação espeleogenética foi aprimorada. Maurity e Kotschoubey (1995) posteriormente produziram um estudo não só sobre a gênese das cavidades, como também sobre a mineralogia de alguns espeleotemas. Somente em 2011 novos estudos foram realizados por Piló e Auler (2011) sobre a tipologia e mineralogia de espeleotemas em cavernas ferríferas da região de Carajás.

Os autores Maurity e Kotschoubey (1995) e Piló e Auler (2011) têm relatado algumas características comuns em relação aos espeleotemas e as morfologias registradas nas cavernas ferríferas, características aparentemente recorrentes. No entanto, há uma pequena parcela dessas cavernas (<1%) onde se desenvolveram depósitos químicos diferenciados. São cavernas com espeleotemas considerados raros, no contexto das cavernas ferríferas, incluindo estalagmites, colunas e estalactites, além de excêntricos coraloides.

Essas cavernas, onde se desenvolveram esses espeleotemas, também são ambientes onde ocorrem morfologias raras, destacando canais de drenagem no piso da caverna, buracos e furos de corrosão, além de caneluras nas paredes. É importante salientar que pouco foi discutido sobre a origem

dessas feições morfológicas e desses espeleotemas. O presente artigo pretende analisar e discutir, diante de uma amostra selecionada de sete cavernas (S11C_0041, S11D_0083, S11B_0094, N3_0023, N3_0074, N4WS_67 e N4WS_72) a origem dessas feições morfológicas e desses espeleotemas no interior da Floresta Nacional de Carajás e do Complexo Minerário de Carajás, no sudeste do Pará (Figura 1).

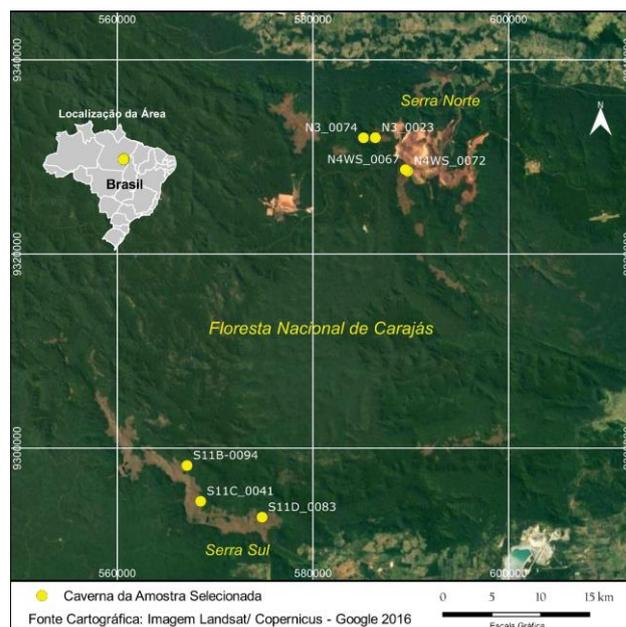


Figura 1: Localização das cavernas estudadas.

2. MÉTODOS E TÉCNICAS

Inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico, que buscou trabalhos acadêmicos, relatórios técnicos e estudos relacionados ao tema abordado nesta pesquisa.

Em seguida foram selecionadas sete cavernas que continham um conjunto de atributos, incluindo espeleotemas raros e aspectos morfológicos peculiares como expressivas bolsas de corrosão no piso, caneluras nas paredes, ravinas e outras feições morfológicas consideradas raras na região da Serra dos Carajás.

Foi elaborada uma ficha de campo para coleta sistemática dos dados com campos objetivos e descritivos, como também foi realizado o levantamento topográfico das cavernas (5D – BCRA). Para o cálculo da área, volume, desnível e projeção horizontal (descontinuidade) adotou-se os cálculos definidos por Rubbioli e Moura (2005).

A classificação do padrão planimétrico das cavernas foi baseada na proposta de Palmer (1991, 2003) para cavernas carbonáticas, no entanto, não foram consideradas para este estudo as interpretações espeleogenéticas definidas pelo referido autor. As feições morfológicas observadas no piso e nas paredes das cavernas amostradas também foram identificadas e analisadas.

Para analisar os parâmetros de pH e condutividade elétrica dos corpos hídricos existentes nas cavernas foi utilizado o equipamento portátil HANNA COMBO HI 98129.

Em cada caverna foram definidos no mínimo três pontos de coleta. Os materiais e equipamentos utilizados foram martelo de mão, espátula, formão, escala, saco plástico de 1kg, caixa plástica hermética para transporte, papel vegetal, etiqueta, máquina fotográfica Nikon D5000 e lente Nikon 18-105mm/3.5. A coleta foi autorizada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, através da Autorização para atividades com finalidade científica (SISBio N. 50212-12).

As amostras de espeleotemas foram analisadas pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP, no Laboratório de Caracterização Tecnológica. As amostras para análises químicas foram prensadas na calibração STD-1 (*Standardless*), relativa à análise sem padrões dos elementos químicos compreendidos entre o flúor e o urânio, em espectrômetro de fluorescência de raios-X. A difração de raios-X utilizou o método a pó, mediante o emprego de difratômetro de raios-X com detector sensível a posição. A identificação das fases cristalinas foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - *International Centre for Diffraction Data e ICSD - Inorganic Crystal Structure Database*.

3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As sete cavernas estudadas estão no contato da canga (brecha clasto-suportada) com a formação ferrífera. A rocha máfica não foi encontrada como único litotipo em nenhuma das cavernas amostradas, mas ocorre no contato com a canga, com o jaspilito

ou com ambos. Macambira e Schrank (2002), através da análise de 62 amostras de jaspilito de Serra Norte, revelaram teores médios de Fe_2O_3 = 53,65%; SiO_2 = 44,60 %; Al_2O_3 = 0,63%; FeO = 1,31%; MnO = 0,06%; MgO = 0,1%; CaO = 0,04%; Na_2O = 0,04%; K_2O = 0,02%; P_2O_5 = 0,01%. Nota-se que o teor de fósforo é muito baixo no jaspilito.

Analisando valores médios (em porcentagem) de Fe_2O_3 = 84,82; SiO_2 = 0,78; Al_2O_3 = 5,8; P_2O_5 = 1,63; SO_3 = 0,12 de cinco amostras da matriz da canga que cimentavam clastos de hematita ou fragmentos de jaspilito coletadas em cavernas de S11D, Piló e Auler (2011) relatam que há aumento dos valores de alumínio em relação ao jaspilito, assim como a presença do fósforo (inferior a 3%) e do enxofre (inferior a 1%). Na amostra da caverna S11D-13, o fósforo chegou a registrar 2,7%. Esses resultados indicam que a canga pode ser uma fonte de fósforo para a formação dos espeleotemas, mas essa contribuição é limitada. Um ponto importante é que não há na bibliografia o registro importante da apatita (fonte de fósforo) de origem hidrotermal nos jaspilitos da Serra dos Carajás, como já identificado nas formações ferríferas de Hamersley, na Austrália. (TAYLOR et al., 2001). Tudo indica que o guano é a principal fonte do fósforo para a formação dos espeleotemas, como já proposto por Maurity e Kotschoubey (1995).

A análise dos dados dimensionais das sete cavernas da amostra registrou uma média da projeção horizontal (PH) de 190,18m, com valor máximo e mínimo de 283,0m e 121,0m, respectivamente (Figura 2). O desnível médio é de 12,28m, com valor máximo de 16,9m e mínimo de 6,10m. O volume médio é de 1.397m³, com valor máximo de 2.138m³ e mínimo de 878,0m³.

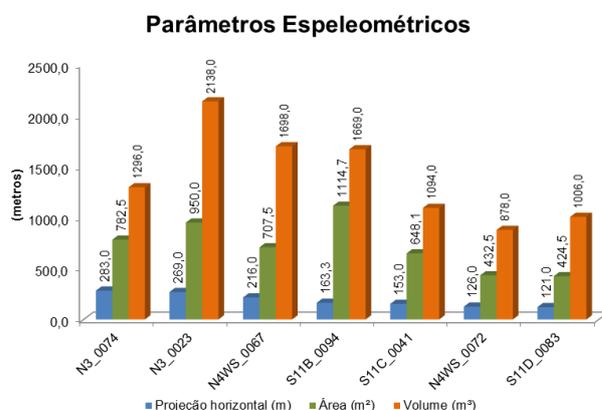


Figura 2: Parâmetros espeleométricos das cavernas estudadas.

Os dados de desnível também apresentaram grande variação. A caverna N4WS_0072, com

16,9m, é a que apresenta o maior desnível. A S11D_0083 foi a que teve o menor entre elas, 6,1m. A média da amostra é de 12,28m.

Foi possível constatar que as cavernas selecionadas são constituídas por expressivos valores dimensionais, isto é, são cavernas bem acima da média das cavernas de Carajás. Por exemplo, em uma amostra de 1.196 cavernas a média da PH das cavernas de Carajás foi de 34,2m. Todas as cavernas da amostra estudada apresentaram valores superiores a 120 m de projeção horizontal (PH) e acima de 800 m³ de volume. A média da PH da amostra foi superior a 190 m.

Foram analisadas sete plantas baixa (Figura 3) das cavernas em questão, que possibilitaram a identificação de cavernas com câmaras compostas,

constituídas por mais de um compartimento. Planimetricamente as cavernas se enquadram em dois padrões, retilíneo (N4WS_0072) e esponjiforme (N3_0023, N3_0074, N4WS_0067, S11D_0083, S11C_0041 e S11B_0094).

O padrão esponjiforme é dominante, gerando câmaras com certo confinamento nos setores finais das cavernas. São cavernas que apresentam pisos concordantes com a inclinação da vertente, indicando a conexão dessas cavernas com o escoamento pluvial das encostas (Figura 4).

Foi possível registrar que todas as cavernas da amostra selecionada apresentaram, nas paredes e pisos, um conjunto bem particular de feições morfológicas, destacando-se caneluras, alvéolos, furos, canal de escoamento concentrado e bolsas de corrosão nas paredes e pisos.

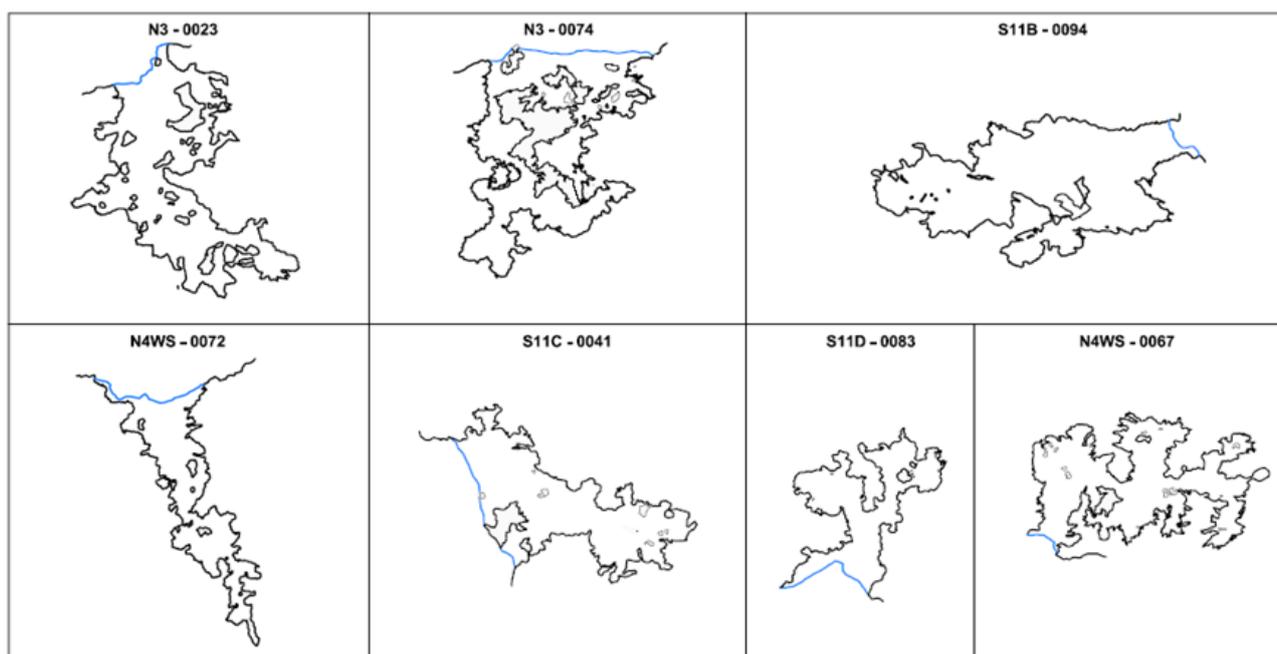


Figura 3: Morfologia planimétrica das cavernas estudadas - sem escala.

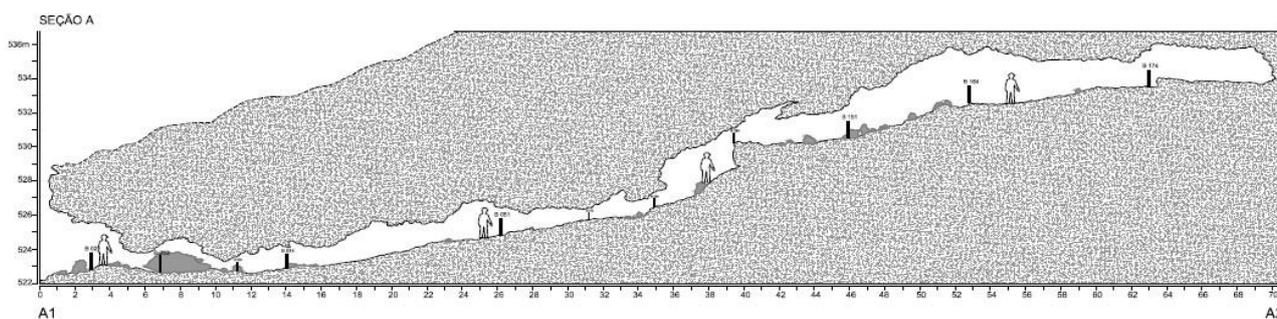


Figura 4: Perfil longitudinal da caverna N3_0074, que acompanha a inclinação da vertente; as cavernas da amostra estão conectadas ao escoamento subsuperficial das vertentes. Todas apresentaram escoamento perene ou temporário.

As feições hidrológicas das cavernas amostradas se diferem do que ocorre na maioria das cavernas ferríferas de Carajás, ou seja, cavernas predominantemente secas e com baixa incidência de drenagens subterrâneas perenes ou temporárias. As cavernas analisadas apresentam importantes processos hidrológicos ou evidências destes. Sobretudo as cavernas S11D_0083, S11C_0041 e S11B_0094 apresentaram feições perenes como pequenos lagos e poças. Foram coletados dados de pH em cinco poças com água que continham guano na caverna S11B_0094. O pH médio foi de 3,59. Parker et al. (2014) também registrou na caverna N4WS_0067 em uma poça com guano um pH de 2,11. Nessa mesma poça também foi registrada uma grande quantidade de ferro na forma solúvel.

Em todas as cavernas analisadas foi constatada a presença do guano. Ocorre guano nas drenagens que formam os canais na rocha, assim como no interior das poças e nas paredes. Segundo Onac e Forti (2011), o guano é palco de uma variedade de reações complexas (principalmente de origem biológica), liberando ácidos nítrico, fosfórico e sulfúrico, que então reagem com a rocha e os sedimentos para formar minerais secundários. O guano decomposto pode gerar soluções aquosas extremamente ácidas formando feições morfológicas de corrosão (Figura 5) como também libera (solubiliza) fósforo e ferro para a formação, principalmente, de espeleotemas de fosfato de ferro (Tabela 1). Em cavernas com expressivos depósitos de guano fresco há liberação de água e CO₂, que são

conduzidos por convecção e acabam se condensando nas paredes e teto, levando ao possível desenvolvimento de feições de corrosão. Após a condensação também ocorre o gotejamento de água ácida vinda do teto e das paredes, que pode provocar o desenvolvimento de furos de corrosão, caneluras e dissolução parcial de espeleotemas de fosfatos, como observado na caverna S11D-0083.

Em algumas cavernas os depósitos de guano não são compatíveis com o tamanho atual das colônias de morcegos, o que pode significar sucessivos ciclos de ocupação da mesma caverna. Os processos que formam esses espeleotemas e essas feições raras são biogênicos. O guano também tem uma importância indireta na espeleogênese dessas cavernas ferruginosas, pois as soluções ácidas biogênicas dissolvem a rocha ferruginosa, ampliando pisos e paredes (Figura 5).

Quanto à mineralogia dos espeleotemas foi possível registrar 17 minerais, abrangendo óxidos-hidróxidos de ferro, fosfatos, sulfatos e silicatos. Foi constatado que os fosfatos são os mais abundantes nas amostras, ocorrendo em todas as amostras analisadas e presente nas estalactites, estalagmites, escorrimentos e coraloídes (Figura 6). Foram registrados oito minerais fosfáticos: fosfato de cálcio, monetita, newberyita, variscita, francoanellita, fosfosiderita, strengita e leucofosfita. Os minerais fosfáticos mais abundantes foram a leucofosfita, que ocorreu em 28 do total de amostras analisadas, seguido da strengita (18), fosfosiderita (16) e sfeniscidita (10).



Figura 5: Buracos, furos e formas residuais de piso recobertas por guano na caverna N4WS_0072 (A) e N3_0023 (B).

Tabela 1: Análise química de diferentes espeleotemas nas cavernas S11B_0094 e S11D_0083, destacando a presença do fósforo e do ferro.

S11B_0094	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
94 - A1	0,081	2,78	1,53	37,3	0,036	0,335	0,064	36,8
94 - A2	0,148	1,81	0,325	37,7	0,032	0,394	0,051	38,9
94 - A3	0,163	2,46	0,203	36,5	0,086	3,62	0,157	36,2
94 - A4	<0,001	1,63	0,229	37,5	<0,001	0,255	<0,001	39,4
94 - A5	<0,001	0,521	0,309	37,3	0,021	0,134	<0,001	41,1
94 - A6	0,108	0,973	0,984	24	0,043	0,811	<0,001	59,7
83 - A1	0,079	2,3	0,775	37	0,089	0,785	<0,001	37,7
83 - A2	0,088	1,36	0,165	37,6	0,035	0,782	<0,001	40
83 - A3	0,092	1,7	0,912	23,7	0,087	2,67	<0,001	55,8
83 - A4	0,08	0,524	0,482	37,4	0,046	0,351	<0,001	41,2



Figura 6: Estalactites e crostas de fosfato de ferro na caverna S11B-0094.

Minerais de óxidos de ferro podem surgir em cavernas a partir de gotejamento e de escorrimento de produtos de intemperismo de sulfetos (ex. pirita) ou como depósito argiloso secundário. Ferrobactérias, geralmente, participam da deposição dos minerais de óxido de ferro.

Foram registrados apenas dois óxido-hidróxidos de ferro: goethita e hematita. Esses minerais foram observados em 10 amostras, o que corresponde a 27,7% das amostras coletadas, sendo que em muitas amostras os dois minerais foram registrados em associação. O mais frequente foi a hematita, detectado em nove amostras, representando 25% do total.

Embora os silicatos correspondam a mais de 95% dos minerais da crosta terrestre, em cavernas não são abundantes. Os minerais argilosos são silicatos hidratados de alumínio, magnésio, sódio e cálcio. Vários minerais argilosos têm sido registrados em cavernas, mas a maioria tem origem externa (ocorrência residual), não sendo formada no interior da caverna. Esses minerais foram

registrados em sete amostras (19%), sendo identificado dois minerais: andalusita e quartzo.

Os sulfatos ocorreram em 16 amostras (44%). Foram detectados cinco minerais: alunita, jarosita, gipso, sulfato de cálcio hidratado e sfeniscidita. Cinco fontes para a ocorrência de sulfatos em solução têm sido propostas: oxidação de sulfetos; rocha de sulfato; rocha basáltica; fumarolas ativas e guano de morcego. As reações químicas envolvendo sulfatos são complexas. Muitas delas ainda não são totalmente compreendidas. Alguns mecanismos, no entanto, têm sido propostos para a deposição de sulfatos como a precipitação por evaporação, substituição-solução e efeito do íon comum e água saturada. (HILL; FORTI, 1997).

4. CONCLUSÕES

Não foi observada nenhuma diferenciação do tipo de rocha na elaboração das feições morfológicas e na formação desses espeleotemas raros. As cavernas com espeleotemas e feições morfológicas raras foram geradas na canga, na formação ferrífera ou em cavernas com os dois litotipos. Não foi registrada a presença significativa de fósforo no jaspilite ou na canga detrítica.

A comparação dos mapas das cavernas da amostra constatou que seis, das sete cavernas estudadas, têm morfologia planimétrica tipo esponjiforme. A única exceção é a caverna N4WS-0072, que tem planimetria mais retilínea, mas que também apresenta muitas irregularidades. Todas as cavernas são muito irregulares, com salões mais isolados da entrada e com temperaturas mais elevadas nos setores mais internos, o que pode ter sido um atrativo para a ocupação das colônias de

morcegos. As seções longitudinais das cavernas mostram o piso concordante com a inclinação da vertente. Todas as cavernas apresentaram canais de drenagem de água pluvial infiltrada perene ou temporária. Essas cavernas participam do escoamento subsuperficial das encostas. Essas drenagens podem ter trazido umidade para os morcegos, criando microambientes úmidos e estáveis. As observações de campo colocam o gotejamento e o escoamento como os principais responsáveis pela geração de diversas feições raras nos pisos e nas paredes (buracos de dissolução, caneluras, canais de escoamento, pináculos de piso etc.).

O guano existente nos pisos e paredes das cavernas pode ser o responsável pela expressiva acidez da água que circula nas cavernas. Atualmente todas as cavernas têm importantes depósitos de guano. O guano também parece ser o principal responsável pelo aporte de fósforo para a formação dos espeleotemas raros das cavernas estudadas. A canga pode ter alguma participação porque contém algum fósforo, mas parece não ser a fonte principal. O guano decomposto gera, ao que tudo indica, soluções aquosas extremamente ácidas formando feições morfológicas de corrosão como também libera fósforo e ferro para a formação dos espeleotemas. O CO₂ liberado pelo guano também pode gerar acidez nas águas circulante, intensificando o poder de corrosão da rocha e dos espeleotemas.

Em algumas cavernas os depósitos de guano não são compatíveis com o tamanho atual das colônias de morcegos, o que pode significar sucessivos ciclos de ocupação da mesma caverna. Os processos que formam esses espeleotemas e essas feições raras são biogênicos. O guano também tem uma importância indireta na espeleogênese dessas cavernas ferruginosas, pois as soluções ácidas dissolvem a rocha ferruginosa, ampliando pisos e paredes.

Os espeleotemas analisados são formados quase que exclusivamente de fosfato. Os principais minerais fosfáticos identificados foram: francoanellita, fosfosiderita, fosfato de cálcio, leucofosfita, newberyita, sfeniscidita, variscita e strengita. Predomina a combinação fosfato de ferro. Mesmo para as estalactites formadas no teto, a fonte de soluções contendo fósforo e ferro pode ter vindo de cima (salões oclusos) ou através da percolação dentro da rocha ou através de fraturas, como foi observado nas cavernas S11B_0094, N4WS_0067 e S11C_0041.

No grupo dos fosfatos ocorreram dois minerais raros, a Francoanellita e a Newberyita, ambos com pouca ocorrência no mundo e registrados pela primeira vez no Brasil.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Tecnológico Vale e Vale S/A pelo apoio institucional e financeiro.

REFERÊNCIAS

- HILL, C.A; FORTI, P. **Cave Minerals of the World**. National Speleological Society - NSS, 1997.
- MACAMBIRA, J. B.; SCHRANK, A. Químico-estratigrafia e evolução dos jaspilitos da Formação Carajás (PA). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, n. 4, p. 567-578. 2002.
- MAURITY, C. W.; KOTSCHOUBEY, B. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 – Serra dos Carajás-PA. Degradação, pseudocarstificação, espeleotemas. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. Série Ciências da Terra**, v. 7, p. 331-362. 1995.
- ONAC, B. P.; FORTI. Minerogenetic mechanisms occurring in the cave environment: an overview. **International Journal of Speleology**. v. 40, n. 2, p. 79-98. 2011.
- PALMER, A. N. **Cave Geology**. Dayton, Ohio: Cave Books. 454p. 1991.
- PALMER, A. N. Speleogenesis in carbonate rocks. Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers, **Virtual Journal**. v. 1, p. 1-11, 2003.



- PARKER, C.W.; AULER, A.S.; SENKO, J.; SASOWSKY, I.D., PILÓ, L.B.; SMITH, M; JOHNSTON, M.; BARTON, H. Microbial iron cycling and biospeleogenesis: cave development in the Carajás Formation, Brazil. In: ICS. **Proceedings**. p. 442–446. 2013.
- PILÓ, L. B.; AULER, A. S. **Mineralogia de Espeleotemas em rochas ferríferas da Região de Carajás, Pará**. Instituto do Carste. Belo Horizonte. 60 p. (Inédito). 2011.
- PINHEIRO, R. V. L. et al. **Considerações Preliminares sobre a Espeleologia da Serra dos Carajás (PA)**. Grupo Espeleológico Paraense. Belém. 38 p. (Inédito). 1985.
- PINHEIRO, R. V. L.; MAURITY, C. W. As cavernas em rochas intempéricas da Serra dos Carajás (PA) – Brasil. In: CONGRESSO DE ESPELEOLOGIA DA AMÉRICA LATINA E DO CARIBE, 1., 1988, Belo Horizonte. **Anais...**Belo Horizonte: [s.n.], p. 179-186. 1988.
- RUBBIOLI, E.; MOURA, V. **Mapeamento de Cavernas: Guia Prático**. São Paulo: Redespeleo Brasil. 92 p. 2005.
- TAYLOR, D. et al. Genesis of High-Grade Hematite Orebodies of the Hamersley Province, Western Australia. **Economic Geology**, v. 96, p. 837-873, 2001.
- TOLBERT, G. E. et al. The recently discovered Serra dos Carajás iron deposits, northern Brazil. **Economic Geology**, v. 66, p. 985-994. 1971.