



ANAIS do 37º Congresso Brasileiro de Espeleologia

Curitiba - Paraná, 26 a 29 de julho de 2023



O artigo a seguir é parte integrante dos Anais do 37º Congresso Brasileiro de Espeleologia, disponível gratuitamente em www.cavernas.org.br.

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

TIMO, J. B.; MAGNO, J. N.; TIMO, M. B.. Mineralogia e composição química de espeleotemas em cavidades no município de Itatiaiuçu, MG. In: MISE, K. M.; GUIMARÃES, G. B. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 37, 2023. Curitiba. *Anais...* Campinas: SBE, 2023. p.100-108. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais37cbe/37cbe_100-108.pdf>. Acesso em: *data do acesso*.

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

MINERALOGIA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE ESPELEOTEMAS EM CAVIDADES NO MUNICÍPIO DE ITATIAIUÇU, MG

*CHEMICAL COMPOSITION OF SPELEOTHEMS IN CAVES
IN THE MUNICIPALITY OF ITATIAIUÇU, MINAS GERAIS STATE*

Juliana Barbosa TIMO¹; Juliana Nascimento MAGNO¹; Mariana Barbosa TIMO¹

¹ Spelayon Consultoria .

Contatos: juliana.timo@spelayonconsultoria.com.br.

Resumo

Na região do Quadrilátero Ferrífero (MG), os espeleotemas que ocorrem em cavidades desenvolvidas em rochas ferríferas na maioria das vezes estão em pouca quantidade e de forma restrita. Os depósitos químicos estão dispostos na forma de lâminas, compostos por sílica ou ferro de forma predominante, sendo comuns os oxi-hidróxidos de ferro, hematita e goethita. A diversidade química é representada pela presença de concentrações de fosfatos, associadas ao material orgânico do guano de morcego. Amostras de espeleotemas foram coletadas em três cavidades na Serra Azul, município de Itatiaiuçu, MG. Entre as cavidades amostradas, em duas não houve vestígios de ocupação por morcegos e em uma se registrou uma colônia expressiva de morcegos hematófagos. Nesta última cavidade, além da sílica, o espeleotema apresenta fósforo em sua composição. Nas outras duas cavidades, sem registro de morcego, os espeleotemas são compostos ora por sílica e ora por ferro de forma predominante.

Palavras-Chave: Espeleotemas; Rochas ferríferas; Fosfato.

Abstract

In the Quadrilátero Ferrífero region, Minas Gerais state, caves speleothems developed in iron rocks are normally few in number and restricted. The chemical deposits are arranged in the form of blades, mainly composed of silica or iron, with iron oxyhydroxides, hematite and goethite being common. Chemical diversity is represented by the presence of phosphate concentrations, associated with the organic material of bat guano. Speleothem samples were collected in three cavities in Serra Azul, Itatiaiuçu, MG. Among the cavities sampled, in two there were no traces of occupation by bats and in one there was a significant colony of hematophagous bats. In this last cavity, in addition to silica, the speleothem has phosphorus in its composition. In the other two cavities, with no record of bats, the speleothems are predominantly composed of silica and iron.

Keywords: Speleothems; Iron rocks; Phosphate.

1. INTRODUÇÃO

Depósitos químicos em cavernas ferruginosas são recorrentes, apesar da ocorrência restrita e pouca quantidade. Engloba mineralogia do grupo de óxi-hidróxidos de ferro (hematita, goethita, lepidocrocita, maghemita), óxidos de alumínio (gibbsita), fosfatos (leucofosfita, variscita, estrengita, fosfoferrita), sulfatos (aluminita, gipsita), além de quartzo (SIMMONS, 1964; HILL; FORTI 1986; HILL; FORTI, 1997; PILÓ; AULER, 2009; GONÇALVES; SOUSA, 2011). Na região da Província Espeleológica de Carajás, estado do Pará, os minerais fosfáticos estão em maior quantidade e são associados às ocorrências de expressivos acúmulos de guano (MAURITY; KOTSCHOUBEY, 1995; ALBUQUERQUE *et al.*, 2015; ALBUQUERQUE *et al.*, 2017; GONÇALVES

et al., 2017; SCHERER; PILÓ; SOUZA-FILHO *et al.*, 2017). Na região da Província Espeleológica do Quadrilátero Ferrífero, estado de Minas Gerais, os minerais do grupo do fosfato também ocorrem em cavidades ferríferas, porém estão de forma subordinada em relação aos minerais goethita e hematita, além do quartzo (PILÓ; AULER, 2007; TOTARO *et al.* 2019; TIMO, ROMANO; TIMO, 2015).

O guano de morcegos está relacionado aos processos de corrosão, redução microbiana do ferro, vínculo com a quantidade e variações de espeleotemas (SCHERER; PILÓ; SOUZA-FILHO *et al.*, 2017). Colônias numerosas desta ordem de mamíferos têm potencial influência na alteração do microclima cavernícola, já que a execução de suas atividades comportamentais e fisiológicas interferem nas

dinâmicas do ambiente cavernícola (LADLE *et al.*, 2012), destacando a influência físico-química pelos níveis de CO₂ e ureia que podem reagir com outros compostos ali presentes, além da liberação do fósforo e do ferro para a formação dos espeleotemas (BERNARD *et al.*, 2022; SCHERER; PILÓ; SOUZA-FILHO *et al.*, 2017). Assim, os morcegos são considerados engenheiros desse ecossistema (BERNARD *et al.*, 2022), principalmente quando estão presentes em quantidade significativa.

No presente estudo, as amostras de espeleotemas foram analisadas com objetivo de caracterização química e mineralógica visando ao conhecimento acerca da possível diversidade de minerais presentes em depósitos ferruginosos. As cavidades onde os espeleotemas se desenvolveram foram alvo de supressão e a divulgação das análises de elementos geológicos são condicionantes no processo de licenciamento ambiental, como forma de ampliação do conhecimento a respeito do tema.

2. METODOLOGIA

Espeleotemas do tipo coraloides e crostas foram amostrados em três cavidades desenvolvidas em rochas ferríferas. As amostras de espeleotemas que tiveram quantidade suficiente, foram analisadas por Difração de Raios X (DRX) para determinação mineralógica. As crostas foram individualizadas da rocha de forma criteriosa, com a utilização de ponteiros e talhadeiras de tamanho adequado para a separação. A amostra da cavidade US_045 apresentou espeleotema na forma de uma película recobrimo o substrato rochoso com pequenos coraloides proeminentes. Devido à espessura da película, não foi possível sua retirada sem a presença de parte da rocha. A partir do material formado por rocha e espeleotema, foi produzida lâmina delgada polida em corte transversal à foliação da rocha, atingindo a crosta sobreposta. O posicionamento do corte foi escolhido de modo a representar a estrutura da rocha e a organização interna constituinte do espeleotema. Foi realizada análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), identificando a composição química em lâmina polida. As análises laboratoriais das amostras foram realizadas no Laboratório de Caracterização Tecnológica - LCT da USP.

A Difração de Raios X (DRX) se enquadra nos métodos clássicos para caracterização mineralógica. O estudo foi efetuado através do método do pó, com preparação realizada no laboratório, em Difratômetro Empyrean, Geração III – Panalytical, com tubos de raios X: Cu e Co. O detector é sensível à po-

sição PIXcel3D, Ótica Multicore BBHD, e *software* X'Pert Data Collector. 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*.

A análise do tipo MEV compreendeu a coleta de imagens com detector de elétrons retroespalhados (BSE) e seleção de pontos ou áreas para microanálise química qualitativa por detector de energia dispersiva (EDS), para a definição da composição das fases presentes. A preparação das amostras para a análise por MEV/EDS contou com as etapas de recobrimento da superfície das lâminas com carbono para torná-las condutoras de eletricidade (condição necessária para análise no MEV) e com a fixação das lâminas em suporte próprio. O estudo foi efetuado em microscópio eletrônico de varredura, modelo Quanta 650 FEG, marca FEI, equipado com espectrômetro de raios X por dispersão de energia (EDS) Quantax 400 (tecnologia SDD – Silicon Drift Detector) e *software* Esprit, marca Bruker.

O registro e identificação dos morcegos aconteceu em etapas, sendo elas: localização dos indivíduos, contagem estimada, captura, identificação, marcação dos espécimes e soltura dos morcegos capturados. Como método de captura, aplicou-se a busca ativa com o uso de puçá e de espera com uso das redes de neblina (*mist net*). O procedimento de identificação ocorreu *in loco* após a captura dos espécimes (Autorização para Manejo de Fauna Silvestre Terrestre nº 424.049/2022 – SEI/GOV MG nº 51356363).

3. CARACTERIZAÇÃO DAS CAVIDADES

A área está localizada no município de Itaiapuçu, Minas Gerais, na região noroeste do Quadrilátero Ferrífero, inserida na vertente sul da Serra Azul. As cavidades são de pequenas dimensões, sendo que duas delas têm dimensões próximas de 5 metros e não foram verificados vestígios de ocupação pela quiropterofauna (MUS_001 e MUS_003). Em uma das cavidades (US_045), com cerca de 8 metros de projeção horizontal, foi registrada uma colônia da espécie *Desmodus rotundus* e expressivos depósitos de guano desta espécie.

Os principais dados espeleométricos referentes às cavidades estão na Tabela 1 e a localização das cavernas é apresentada na Figura 1. A seguir é mostrada a descrição de cada cavidade.

CAVIDADE MUS-001: tem entrada na base do afloramento com perfil levemente ascendente para o interior, com seção variando de lenticular a retangular. Está in-

Tabela 1: Localização das cavidades e suas dimensões espeleométricas.

Nome	UTM SIRGAS 2000			PH (m)	Área (m ²)	Vol. (m ³)	DL (m)
	E	N	Z				
US_045	557680	7771455	1082	8,91	42,59	30,66	-
MUS-0001	560041	7771803	969	3,06	7,01	1,47	3,81
MUS-0003	560040	7771854	986	4,03	4,73	2,08	4,38

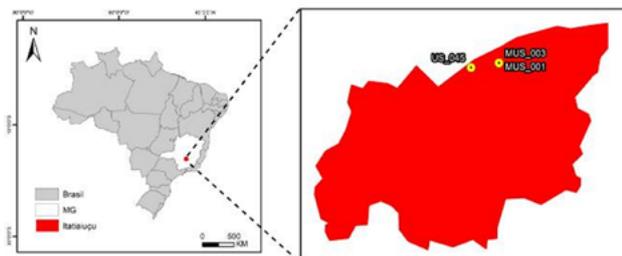


Figura 1: mapa de localização das cavidades no município de Itatiaiuçu, MG.

serida em afloramento rochoso isolado em pequena quebra de relevo, sendo o terreno com declividade de gradiente baixo a médio (figuras 2A e 2B). É formada por rocha ferrífera do tipo canga detrítica, com alto grau de intemperismo. A canga é matriz suportada, com clastos de itabirito e canga retrabalhada. Os fragmentos estão dispostos de maneira caótica em matriz laterítica de coloração marrom escura. Os clastos são angulosos, de baixa esfericidade, variando de grânulos a blocos, com predominância de seixos.

Na entrada da cavidade observou-se musgos recobrendo as paredes e partes do teto. Já na parte interna há grande concentração de material vegetal, representado por folhas e galhos secos, com raízes superficiais observadas pelo piso, dispostas aleatoriamente (figuras 2C e 2D). Não foram observados excrementos oriundos da fauna.



Figura 2: A. Vertente de inserção da cavidade; B. Entrada e interior da cavidade; C. Detalhe da entrada onde se observa musgos na parede; D. Material vegetal, detritos e raízes no piso.

CAVIDADE MUS-003: tem entrada na base do afloramento com perfil ascendente e corte retangular e ir-

regular. Está inserida em afloramento rochoso isolado, sendo o terreno com declividade de gradiente baixo a médio (figuras 3A e 3B). É formada por rocha ferrífera do tipo canga detrítica, com médio grau de intemperismo. A rocha é matriz suportada, com clastos de itabirito e canga retrabalhada. Os clastos variam de grânulo até seixos dispostos em matriz laterítica de coloração marrom avermelhada. Foram observadas trincas irregulares no arcabouço rochoso. Há uma drenagem ativa cerca de 20 m a jusante da entrada.

Na entrada da cavidade observou-se organismos fotossintetizantes representados por musgos e brotos. Em seu interior observou-se grandes concentrações de material vegetal e detritos, formando camadas de serapilheira sobre o piso em pontos esparsos. As raízes superficiais também foram observadas sobre o chão da cavidade, dispostas espaçadamente (figuras 3C e 3D). Fezes de vertebrados não voadores e guano não foram identificadas.



Figura 3: A. Vertente de inserção da cavidade; B. Entrada e interior da cavidade, C. Acúmulo de material vegetal no interior da cavidade; D. Raiz, detritos e material vegetal no piso.

Cavidade US_045: está localizada na base de afloramento de itabirito, sendo que o terreno possui inclinação elevada. A morfologia da cavidade é condicionada pela combinação entre a foliação da rocha e seu padrão de fraturamento. Ocorrem superfícies planas decorrentes do deslocamento produzido pelo intemperismo e erosão ao longo da linha evolutiva da própria feição espeleológica.

A caverna é retilínea com um único nível, salão amplo e pequeno conduto na posição distal. As suas paredes são regulares, seguindo um padrão de fraturas com mergulho subvertical e direção aproximada N-S e E-W. Já o teto é condicionado pela foliação, com mergulho suave para S (Figura 4). Ocorrem blocos e sedimentos finos no



Figura 4: conduto da cavidade com vista de dentro para fora, mostrando o teto parede e piso.

piso e com relação aos sedimentos químicos, a cavidade apresenta baixa diversidade. Os depósitos são pouco significativos e pontuais, restringindo-se à ocorrência discreta de coraloides milimétricos.

Com relação ao aporte trófico, tem-se o vento e os morcegos como agentes carreadores de recursos de importância média e alta, respectivamente. No interior da cavidade, os organismos fotossintetizantes ocorrem na forma de briófitas localizadas nas paredes da região de entrada (Figura 5A). Também foi observado material vegetal e detritos, representados pela presença de alguns galhos e folhas secas, formando camadas de serapilheira concentradas nas porções próximas da entrada, bem como as raízes (Figura 5B).

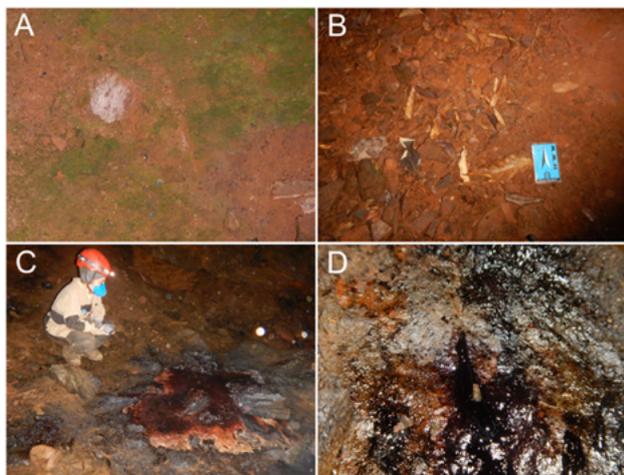


Figura 5: A. Musgos na parede da cavidade; B. Material vegetal no piso próximo à entrada; C., D. Poça recente de guano de morcego hematófago.

Havia em seu interior uma colônia de morcegos hematófagos da espécie *Desmodus rotundus*, com cerca de 200 indivíduos. O guano produzido por esta colônia encontra-se em diferentes momentos de deposição, desde acúmulos recentes a manchas totalmente exauridas, dispersos pelo piso, sobre blocos e, em alguns pontos, formando poças (figuras 5C e 5D). Observou-se, também, guano de morcegos carnívoros. Além disso, verificou-se a presença de carcaça e ossada de morcegos, bem como de penas ao longo da cavidade.

Durante a amostragem foram capturados nove indivíduos da espécie *D. rotundus* (Figura 6). Esta espécie de morcegos de coloração cinza possui folha nasal reduzida, apresenta dieta exclusivamente hematófaga, alimenta-se de sangue de mamíferos de médio e grande porte, incluindo espécies domésticas. É uma espécie amplamente distribuída, sendo encontrada desde áreas florestadas até regiões desérticas, devido ao seu grande potencial adaptativo. Abrigam-se em ocos de árvores, bueiros e cavernas, onde podem formar colônias que variam de vinte a mais de cinco mil indivíduos. Por serem vetores da raiva bovina, muitas destas colônias foram e continuam a ser dizimadas em todo país.

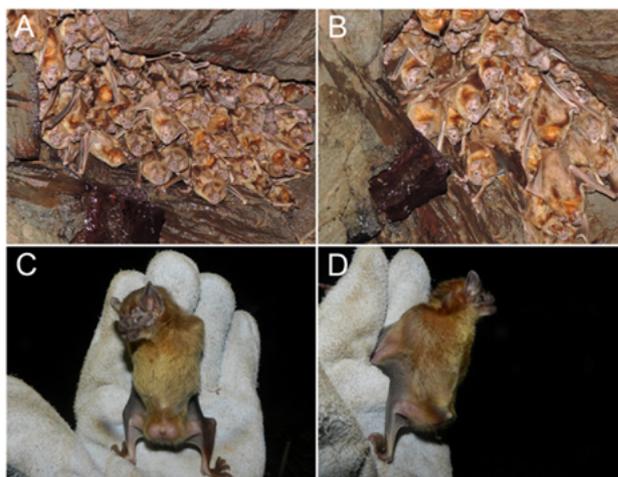


Figura 6: colônia de *Desmodus rotundus*: A., B. aglomeração dos indivíduos no teto; C., D., Machos da espécie.

4. CROSTAS FERRUGINOSAS

Foram coletadas amostras de espeleotemas do tipo crosta ferruginosa: MUS-001-ESP02 e MUS-003-ESP-02.

A amostra **MUS-001-ESP02** é formada por crosta ferruginosa marrom escura avermelhada, com espessura de aproximadamente 1 cm sobre canga detrítica (Figura 7), em zona eufótica de baixa umidade. A irregularidade da canga subjacente condiciona alta porosidade para a amostra que apresenta muitos espaços vazios entre camadas de crosta. A amostra foi retirada do teto, no interior da cavidade, próximo à entrada.



Figura 7: amostra de crosta MUS-001-ESP02.

No difratograma obtido (Figura 8) são assinaladas as linhas de difração correspondentes às fases identificadas (cor vermelha), sendo o eixo y a intensidade de picos de cada mineral e o eixo x os valores 2θ para tubo de cobre. Cada fase pode ser diferenciada por uma cor, sendo azul para hematita, verde para goethita, cinza para quartzo, marrom para caulinita

e vermelho para magnetita. Essa legenda é indicada para todos os difratogramas apresentados neste trabalho. A análise da crosta da amostra MUS-001-ESP02 por DRX indicou a presença de quartzo, goethita, hematita e caulinita (Figura 8).

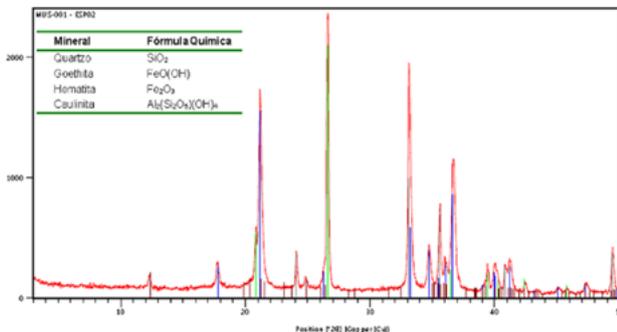


Figura 8: difratograma de raios X da amostra MUS-001-ESP02.

Amostra **MUS-003-ESP02** é formada por crosta ferruginosa marrom escura bastante delgada, com 1 mm de espessura sobre a canga detrítica (Figura 9). A amostra foi coletada em uma parede da cavidade, em região de zona eufótica de baixa umidade. Não foram observados gotejamentos nem outra atividade de fluxo hídrico.

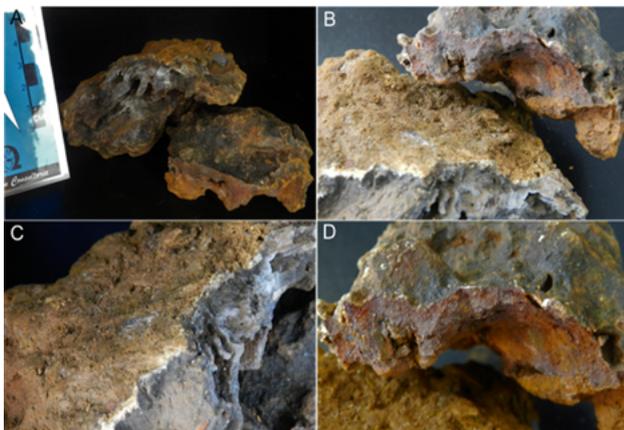


Figura 9: amostra de crosta MUS-003-ESP02.

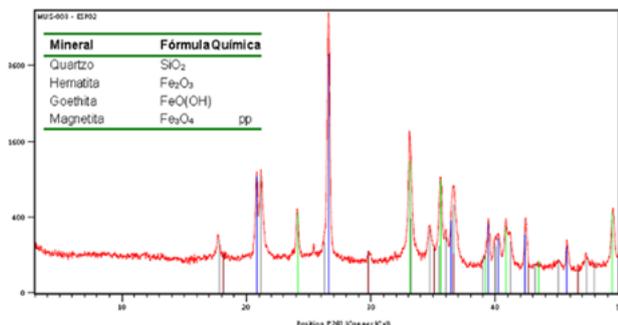


Figura 10: difratograma de raios X da amostra MUS-003-ESP02.

A análise da crosta por DRX indicou a presença de quartzo, hematita, goethita e uma possível presença de magnetita (Figura 10).

5. CORALOIDES

Foram coletadas amostras de espeleotemas do tipo coraloide nas 3 (três) cavidades: MUS-001-ESP01, MUS-003-ESP01 e US_045-ESP01.

Os coraloides da amostra **MUS-001-ESP01** estão depositados sobre canga detrítica, de coloração marrom escura avermelhada a acinzentada (Figura 11). Ocorrem esparsos, em pouca quantidade e em escala milimétrica, apresentando baixa resistência e podendo fragmentar ao manuseio. A amostra foi retirada do teto da cavidade em salão de pequenas dimensões. Não foi observado fluxo hídrico ativo na cavidade.

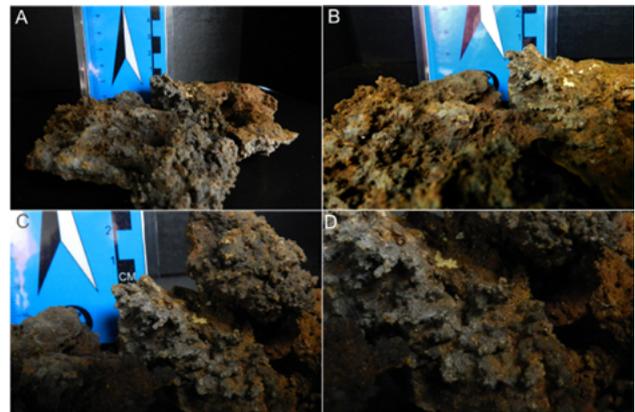


Figura 11: coraloide na amostra MUS-001-ESP01.

A análise dos coraloides por DRX indicou a presença de hematita, goethita, quartzo e possivelmente caulinita (Figura 12).

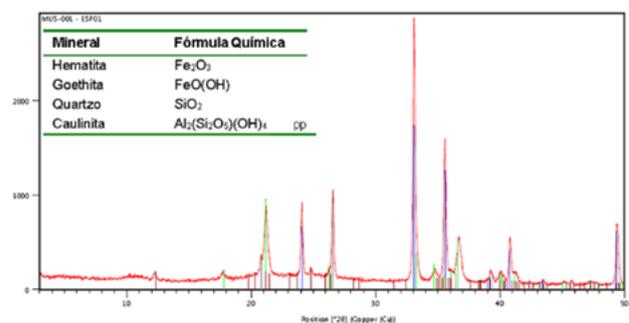


Figura 12: difratograma de raios x da amostra MUS-001-ESP01.

A amostra **MUS-003-ESP01** é composta por coraloides milimétricos de coloração marrom escura ou acinzentada, precipitados sobre canga detrítica

(Figura 13). Este tipo de espeleotema ocorre em pouca quantidade e de forma espaçada, sendo de baixa resistência podendo fragmentar-se ao manuseio. A amostra foi coletada do teto, em zona disfótica de baixa umidade.

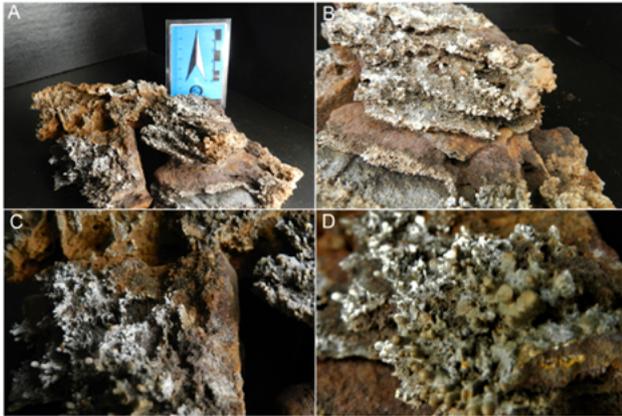


Figura 13: coraloide da amostra MUS-003-ESP01

São observadas as estruturas concêntricas de crescimento do espeleotema no qual se desenvolve uma camada fina (da ordem de vários micrômetros até próximo do milímetro, em alguns pontos) de crosta branca e composição silicosa, que serve de substrato para o crescimento de coraloídes que se projetam perpendicularmente às superfícies em que se apoiam.

A análise dos coraloídes por DRX indicou a presença de quartzo, goethita, hematita e caulinita (Figura 14).

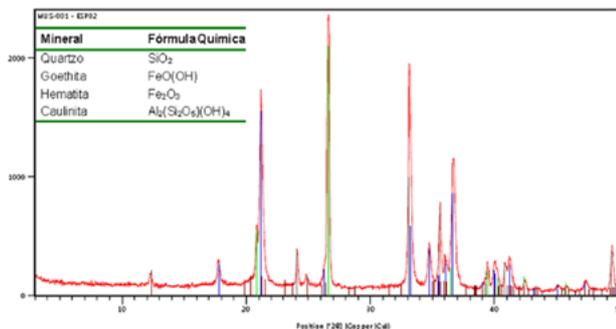


Figura 14: difratograma de raios x da amostra MUS-003-ESP01.

A amostra **US_045-ESP01** corresponde a fragmento de itabirito coberto por coraloídes associados a uma pequena quantidade de crosta branca e foi retirada nas imediações da entrada da cavidade. A amostra evidencia o itabirito com bandamento e foliação bem marcados, típicos da rocha. Em uma fina camada cobrindo a rocha ocorre o espeleotema. É uma deposição delgada formando crosta nas superfícies proeminentes e em alguns pontos ocorre formação de pequenos coraloídes (Figura 15).

Figura 15: coraloídes da cavidade US_45



As imagens seguintes correspondem ao registro fotográfico mesoscópico da amostra US_045-ESP01 (Figura 16). É evidenciado o bandamento do itabirito e também as dobras estruturais na rocha. Sobre a rocha ocorrem precipitações em fina camada.



Figura 16: dobras observadas na amostra US_045-ESP01, com espeleotema sobre a rocha.

Foi produzida lâmina delgada polida da amostra, composta em sua maioria pelo itabirito e coberta por um filme de deposição de espeleotema. Escolheu-se um corte perpendicular ao bandamento e que também interceptou a crosta branca e o coraloide. O espeleotema ocorre como uma fina massa, depositada sobre o itabirito, em camadas botrioidais que aproveitaram qualquer plano de fraqueza para precipitar (Figura 17).

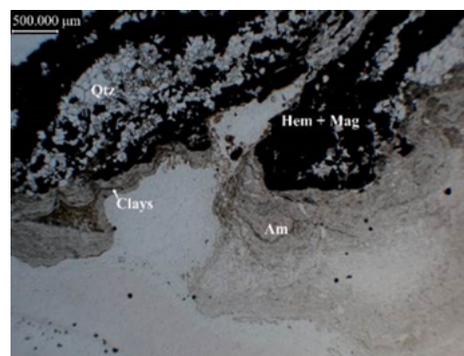


Figura 17: aspecto da transição entre o material amorfo (Am) depositado sobre a rocha, observado na amostra US_045-ESP01. Imagem em luz transmitida plano-polarizada com a objetiva de 2,5x.

O material depositado mostra uma coloração levemente amarronzada/amarelada (porção indicada com Am na Figura 17) e é possível observar uma intercalação de regiões mais claras (predominantes) e mais escuras. Pequenos cristais de quartzo (inferiores a 0,1 mm) ocorrem dispersos nesta região, além de uma precipitação de finos óxidos/hidróxidos avermelhados (possivelmente goethita).

Análises executadas ao microscópio eletrônico de varredura – MEV evidenciam que a rocha ferrífera bandada domina a maior parte da lâmina e o espeleotema está depositado como uma delgada película recobrando a parte exposta da rocha. O espeleotema ocorre com estrutura em lâminas, intercalando microlâminas de diferentes composições químicas. As lâminas que compõem o espeleotema têm em sua composição química P, Fe e Si, sugerindo presença de fosfato.

A análise de elementos indica a presença de Fe e Si na rocha ferrífera, sendo que o espeleotema é formado principalmente por sílica e ocorre deposição de P em finas lâminas intercaladas na sílica. A Figura 18 representa o limite entre o itabirito e o espeleotema. Com a observação da textura podem ser diferenciados os cristais de quartzo da rocha ferrífera, que são bem formados e homogêneos, enquanto a sílica presente no espeleotema tem granulometria muito fina e aspecto amorfo.

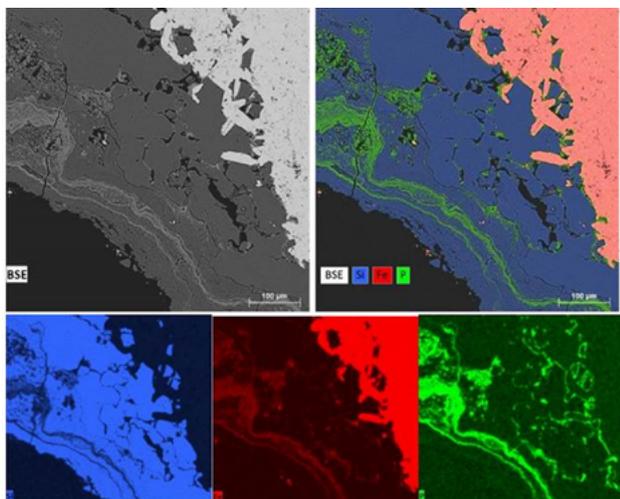
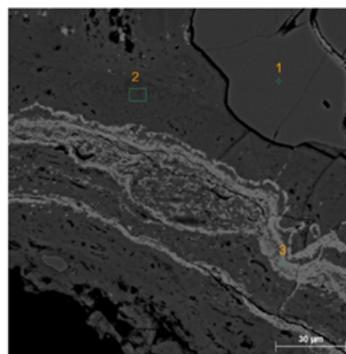


Figura 18: imagem de elétrons retroespalhados (BSE) e mapas composicionais em falsa cor na US_045-ESP01. Área em vermelho revela maior concentração de Fe, a área em azul maior concentração de Si e em verde de P.

Foi dado detalhamento da imagem no local das lâminas do espeleotema com o contato com o itabirito. É possível identificar deposição com níveis de

composição diferente intercalados. A análise de elementos indica a presença de Si de forma predominante no espeleotema, e a precipitação de P em camadas ou níveis em meio à sílica (Figura 19).



Pontos	Elementos	
	Principais	Secundários
1	Si	O
2	Si	O
3	P	O, Fe, Si, K

Figura 19: imagem de elétrons retroespalhados (BSE). Os pontos numerados representam as análises por EDS e a tabela ao lado apresenta os elementos químicos principais e secundários de cada ponto analisado.

6. RESULTADO E DISCUSSÃO

Observa-se a ocorrência de concentrações de ferro para todas as amostras, com presença de hematita e goethita. Material composto por sílica também é recorrente. Concentração de fósforo foi identificada por MEV na amostra de coraloide da cavidade US_045, sendo que o método de análise indica a composição química.

Quanto à mineralogia dos espeleotemas foram identificados óxido-hidróxidos e silicatos. Entre os óxido-hidróxidos foram registrados hematita (Fe₂O₃), goethita (FeO(OH)) e magnetita (Fe₃O₄). A hematita e goethita são minerais característicos de espeleotemas ferruginosos e foram identificados em todas as cavidades. O mineral silicático presente em todas as amostras é o quartzo (SiO₂), com ocorrência possivelmente residual nos espeleotemas. Outro mineral silicático identificado em DRX foi a caulinita.

Entre as crostas, o quartzo ocorre de forma majoritária nas duas cavidades em que foi amostrada, mas a presença de hematita e goethita é marcante. A crosta da cavidade MUS_001 apresenta caulinita de forma subordinada, enquanto na da cavidade MUS_003 a magnetita aparece em pequenas quantidades.

Os coraloídes são compostos basicamente por uma massa depositada em lâminas ou em delgados níveis, que pode representar ciclos de deposição. Em algumas porções, de forma macroscópica, núcleos de hematita e goethita desenvolvem nódulos com pontas arredondadas, na forma de coraloídes. Na

amostra da cavidade MUS_003 se observa o recobrimento por camadas sucessivas de sílica. Na cavidade MUS_001 os coraloides são compostos predominantemente por óxidos/hidróxidos de ferro (hematita, goethita). A caulinita ocorre de forma subordinada ou foi identificada a sua possível presença.

Na cavidade US_045 o espeleotema é composto principalmente por sílica, mas ocorrem níveis ricos em fosfato intercalados com a sílica ou em maiores concentrações. A ocorrência de fosfato é associada à presença de depósitos orgânicos como o guano dos morcegos hematófagos presentes nesta cavidade.

7. CONCLUSÃO

Há diversidade na composição química de espeleotemas depositados em cavernas ferríferas, principalmente com a ocorrência de fosfato. A origem dos depósitos de fosfato nos espeleotemas está

associada ao acúmulo de guano de morcego em cavernas com colônias significativas.

No estudo apresentado correm espeleotemas de composição predominante de sílica, outros têm composição ferruginosa com sílica subordinada. Também foi identificado espeleotema com fosfato em sua composição, em cavidade com presença de expressiva de guano oriundo de colônia de morcegos.

Como minerais predominantes nas amostras analisadas, estão a hematita e goethita.

8. AGRADECIMENTOS

O trabalho para elaboração deste artigo foi viabilizado através das determinações inseridas na Instrução Normativa MMA nº 02/2017. Agradecimentos ao empreendimento da Mineração Usiminas e à Spelayon Consultoria pelo apoio na coleta de dados e desenvolvimento do documento.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. R. L.; GONÇALVES, D. F.; SANTOS JUNIOR, A. E. A. Petrografia e geoquímica de espeleotemas em cavidades naturais, N4E-08 E N4WS-72, em formações ferríferas da região de Carajás – unidade geomorfológica Serra Norte. In: RASTEIRO, M. A.; SALLUN FILHO, W. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 33, 2015. Eldorado. **Anais**. Campinas: SBE, 2015. p.615-622.
- ALBUQUERQUE, A. R. L. *et al.* Contribuição do guano de morcego na formação de espeleotemas fosfáticos em cavernas ferríferas de Carajás. 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.301-311.
- BERNARD, E. *et al.* Bats as ecosystem engineers in iron ore caves in the Carajás National Forest, Brazilian Amazonia. **bioRxiv**, 2022-04.
- GONÇALVES, D. F. *et al.* Resgate de espeleotemas e litotipos em cavidades da Unidade Espeleológica Carajás, sudeste do estado do Pará – procedimentos e técnicas. 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.447-456.
- HILL C.A.; FORTI P. **Cave minerals of the world** (first edition). Huntsville, Alabama: National Speleological Society: 238 p. 1986.
- HILL C.A.; FORTI P. **Cave minerals of the world** (2nd ed.). Huntsville: National Speleological Society: 464 p. 1997.
- LADLE, R. J., J. V.; FIRMINO, A.; MALHADO, A.; RODRÍGUEZ- DURÁN. Unexplored diversity and conservation potential of Neotropical hot caves. **Conservation Biology**, 26: 978-982. 2012.
- MAURITY, C. W.; KOTSCHOUBEY, B. 1995. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1, Serra dos Carajás-PA. Degradação, pseudocarstificação, espeleotemas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Série Ciências da Terra 7: 331-362.

- PILÓ, L. B.; AULER, A. S. Mineralogia de espeleotemas das grutas de minério de ferro de Capão Xavier, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ESTUDOS DO CARSTE, 2., 2007, São Paulo. **Caderno de Resumos...** São Paulo: Instituto de Geociências, IG-USP, 2007. p. 32.
- PILÓ L. B.; AULER A. Geoespeleologia das cavernas em rochas ferríferas da Região de Carajás, PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 2009, Montes Claros, MG. **Anais**. v. 30, p. 181-186.
- 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, Ouro Preto. **Anais...** Campinas: SBE, 2017. p.409-416. 2017.
- TIMO, J. B.; ROMANO, W. R.; TIMO, M. B. Caracterização do Espeleotemas de 2 Cavernas em Rochas Ferríferas na Unidade Geomorfológica Quadrilátero Oeste, Congonhas – MG. **Revista Espeleo-Tema**, SBE – Campinas, SP. V.2, n.1. 2015.
- TOTARO, J. H. R. *et al.* Resgate de rochas e espeleotemas em cavernas do complexo Abóboras (Etapa 1), Rio Acima, Minas Gerais, Brasil. In: ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35, 2019. Bonito. **Anais...** Campinas: SBE, 2019. p.91-98.
- WHITE, W. B. Speleothems. In: White, W. B; Culver, D. C; Pipan, T. **Encyclopedia of Caves** (Third Edition), Academic Press, 2019, 1006-1017. 2019.