

CARACTERIZAÇÃO DOS ESPELEOTEMAS DE 2 CAVERNAS EM ROCHAS FERRÍFERAS NA UNIDADE GEOMORFOLÓGICA QUADRILÁTERO OESTE, CONGONHAS (MG)

THE SPELEOTHEMS CHARACTERIZATION OF 2 IRON CAVES IN THE GEOMORPHOLOGICAL UNIT QUADRILÁTERO OESTE, CONGONHAS (MG)

Juliana Barbosa Timo (1), Antônio Wilson Romano (2) & Mariana Barbosa Timo (3)

- (1) Geóloga pela UFMG, Coordenadora de Geoespeleologia da Spelayon Consultoria, Belo Horizonte MG.
(2) Professor Doutor do Departamento de Geologia do Instituto de Geociências da UFMG, Belo Horizonte MG.
(3) Eng. Ambiental pela UFOP/EM, Dir. Técnica da Spelayon Consultoria, Mestre em Geografia pela PUC Minas, Belo Horizonte MG.

Contatos: juliana.geologia@gmail.com; mariana@spelayonconsultoria.com.br.

Resumo

A Unidade Geomorfológica Quadrilátero Oeste está inserida no Quadrilátero Ferrífero (QF), importante província metalogenética que abriga a segunda maior concentração de cavernas do Estado de Minas Gerais. Grande parte das ocorrências de cavidades está registrada em rochas ferríferas, como cangas, minério de ferro, itabiritos, hematita compacta e laterita. A região apresenta intensa atividade minerária, com potencial de impactos ambientais e conflitos socioeconômicos. Neste contexto estão inseridas as cavidades CV05 e CV06, objeto de estudo de análise de relevância durante o processo de licenciamento ambiental da empresa FERROUS RESSOURCES DO BRASIL S.A., no município de Congonhas, Minas Gerais. As duas cavidades apresentaram alto grau de relevância espeleológica e com o presente estudo pretende-se a caracterização morfológica e mineralógica dos espeleotemas ferruginosos existentes no interior dos condutos. Nas duas cavidades ocorrem crostas lateríticas e coraloides, na cavidade CV05 ocorre ainda escorrimento. Foram realizadas descrições macroscópicas, descrições de lâminas delgadas, análise por Difração de Raio X (DRX) e análise em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Os espeleotemas analisados são compostos principalmente por hematita e goethita, subordinadamente lepidocrosita. Nas crostas ferruginosas ocorre ainda a leucofosita e no escorrimento a strengita.

Palavras-Chave: Quadrilátero Ferrífero; cavernas; espeleotemas; mineralogia.

Abstract

The geomorphological Unit Quadrilátero Oeste is inserted in the Iron Quadrangle (IQ), an important metallogenic province that is home to the second largest concentration of caves in Minas Gerais. Much of events of cavities is recorded in banded iron rocks such as sarongs, iron ore, itabirites, compact hematite and laterite. The region has intense mining activity, with potential environmental impacts and socio-economic conflicts. In this context are the CV05 and CV06 cavities, that was studied during the licensing process of the company FERROUS RESSOURCES OF BRAZIL SA, in the municipality of Congonhas, Minas Gerais. The two cavities showed high degree of relevance and the present study aims to characterization the morphological and mineralogical of speleothems ferruginous existing within the conduits. In the two cavities occur speleothems like coraloides and lateritic crusts, and in the CV05 cavity we can see one flowstone. Were made macroscopic descriptions, descriptions of thin section, analysis by X-Ray Diffraction (XRD) and analysis with scanning electron microscopy (SEM). The speleothems analyzed are mainly composed of hematite and goethite, subordinate lepidocrosite. In ferruginous crusts occurs the leucophosphate and in the flowstone occurs the strengita.

Key-Words: Iron Quadrangle; caves; speleothems; mineralogy.

1. INTRODUÇÃO

O estado de Minas Gerais abriga alguns dos mais expressivos e diversificados patrimônios espeleológicos do planeta, sendo notáveis as

ocorrências em rochas carbonáticas, siliciclásticas e ferríferas. Na região do Quadrilátero Ferrífero ocorre a segunda maior concentração de cavernas de Minas Gerais, com maior ocorrência de cavidades em

rochas ferríferas, como cangas, minério de ferro, itabiritos, hematita compacta e laterita. Os depósitos de minério de ferro do QF estão condicionados por fatores tectônicos, morfoclimáticos e litológicos, onde as coberturas de canga/laterita são responsáveis pela existência da maioria das cavernas neste grupo (OLIVEIRA et al., 2011). A região apresenta intensa atividade minerária e alta densidade populacional; com potencial de impactos ambientais e conflitos socioeconômicos (CAVALCANTI et al., 2012).

No limite sul da Unidade Geomorfológica Quadrilátero Oeste está o Projeto VIGA (Figura 1) da empresa FERROUS RESSOURCES DO BRASIL S.A., localizado no município de Congonhas, Minas Gerais, onde se encontram a jazida e a planta de beneficiamento para a exploração do minério de ferro. Durante o processo de licenciamento ambiental, todo o conjunto de cavidades conhecidas na área da FERROUS e seu entorno foram estudadas para Análise de Relevância (SPELAYON, 2012). Devido à rigidez locacional da jazida de minério de ferro, foi necessário o impacto irreversível nas cavidades CV05 e CV06, autorizado através do Termo de Compromisso Ambiental (TCA) celebrado entre o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e a FERROUS RESSOURCES DO BRASIL S.A. (Processo N°. 02667.000005/2012-76).

Como parte da compensação ambiental foi solicitado o estudo dos sedimentos existentes nas duas cavernas (CV05 e CV06) inseridas em rochas ferríferas e a divulgação dos resultados para a comunidade científica, visando ampliar o conhecimento das cavidades neste tipo de rocha. As duas cavidades apresentaram alto grau de relevância espeleológica, principalmente devido a média riqueza de espécies encontradas no interior dos condutos. Na cavidade CV06 ocorre ainda alta projeção horizontal, área e volume, além de fluxo de água intermitente.

Quanto ao estudo dos depósitos sedimentares no interior das cavidades, os espeleotemas podem ser especialmente analisados. A caracterização geológica associada a estudos mineralógicos e geoquímicos podem ajudar no entendimento da gênese dos espeleotemas e dos processos espeleogenéticos para o litotipo ferrífero. Uma vez que os espeleotemas podem registrar processos deposicionais pretéritos, elucidando questões sobre paisagens e dinâmicas passadas. Depósitos químicos em cavernas ferruginosas são recorrentes, englobando mineralogia diversificada do grupo de óxi-hidróxidos de ferro (hematita, goethita, maghemita), óxidos de alumínio (gibbsita), fosfatos

(leucofosfita, variscita, strengita e fosfoferrita), sulfatos (aluminita, gipsita), além de quartzo.

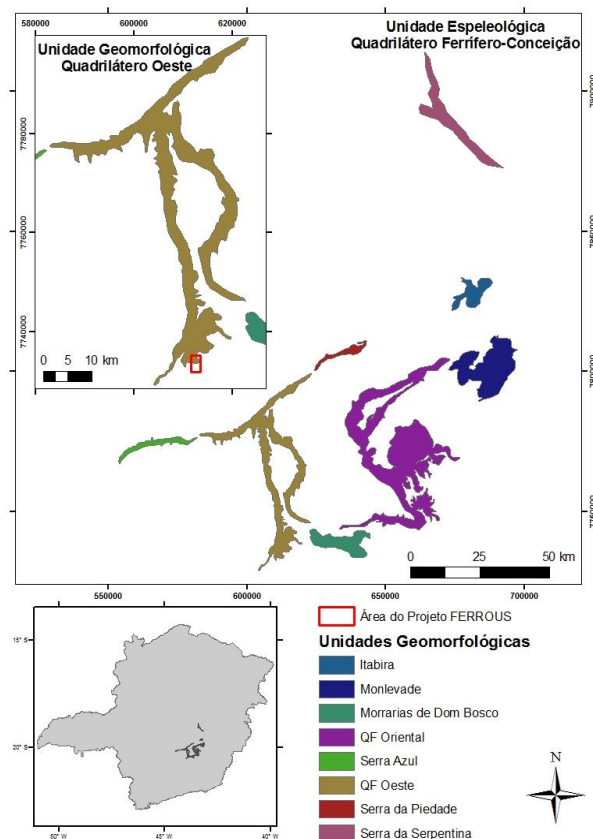


Figura 1: Localização das Cavidades na Unidade Espeleológica Quadrilátero Ferrífero.

2. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido a partir das etapas de levantamento bibliográfico, atividade de campo, análise laboratorial e interpretação dos dados.

2.1 Levantamento Bibliográfico

Foi feito um levantamento das publicações existente sobre depósitos sedimentares em cavidades, com uma busca extensiva por informações a respeito dos tipos de amostras e procedimentos de coleta. Foram pesquisados os tipos de análises que poderiam ser realizadas no material coletado, os locais que realizam a preparação das amostras e possuem os equipamentos necessários, além dos profissionais com conhecimento suficiente para interpretar e trabalhar com os resultados obtidos.

2.2 Atividades de Campo

As cavidades CV05 e CV06 foram visitadas para a coleta das amostras de espeleotemas. Foram identificados os locais com ocorrência de depósitos químicos mais representativos. Como haveria impacto irreversível nos locais, foi coletada a maior quantidade possível de cada tipo. Cada amostra foi fotografada, descrita e cadastrada.

Furos de sondagem foram realizados nas proximidades das cavernas CV05 e CV06, e a recuperação foi utilizada para avaliação dos litotipos.

2.3 Atividades de Laboratório

Nos depósitos químicos, ou espeleotemas, foram realizadas descrições de lâminas delgadas, análise por Difração de Raio X (DRX) e análise em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). As lâminas delgadas foram preparadas na empresa PCM Processamento e Caracterização Mineral, a partir de orientações do profissional que coletou as amostras. As descrições e identificações dos minerais foram realizadas pelo Professor Doutor Antônio Wilson Romano, Departamento de Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

A Difração de Raios X (DRX) é indicada para determinar as fases cristalinas presentes em diversos materiais e se enquadra nos métodos clássicos para caracterização mineralógica. Para análise, o material utilizado foi retirado da amostra em local próximo ao corte realizado para a lâmina delgada. O material a ser analisado foi preparado previamente de acordo com as normas, onde foi utilizado o método do pó com uma granulometria de 200# em moinho ou almofariz. As amostras foram submetidas a análises semiquantitativas por DRX realizadas em um difratômetro Philips-PANalytical modelo EMPYREAN, utilizando radiação $CuK\alpha$ e monocromador. O método de análise se baseou na comparação dos valores das distâncias interplanares e das intensidades dos picos nos difratogramas das amostras analisadas. Foi utilizado o padrão do banco de dados PDF-2 Release 2010 do ICDD – International Centre for Diffraction Data e o software X'Pert HighScore versão 2011.

Para duas amostras de espeleotema foi realizada ainda análise em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) marca FEI, modelo INSPECT S50. A microssonda eletrônica (MSE) é um acessório acoplado ao microscópio eletrônico de varredura (MEV), sendo um instrumento dito de microanálise, usado para identificar e quantificar na escala microscópica os elementos químicos presentes na amostra. A composição química de partículas de microestruturas distintas foi analisada semiquantitativamente por espectroscopia de energia de raios X no microscópio eletrônico.

A preparação das amostras e as análises de DRX e MEV foram realizadas em laboratórios do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). As identificações das fases minerais foram realizadas pelo Professor Doutor Antônio Wilson Romano, Departamento de Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Para a análise dos litotipos recuperados nos furos de sondagem foi utilizado a metodologia de Espectrometria de Fluorescência de Raios X (FRX). Nesta técnica é analisada a porcentagem de Fe e contaminantes (SiO_2 , Al_2O_3 , P, Mn, CaO, MgO, TiO_2) no minério de ferro. A função de um espectrômetro de raios X é induzir uma amostra a emitir radiações características, isolar e medir a intensidade desta radiação. No laboratório da empresa FERROUS foram preparadas e analisadas pastilhas fundidas dos materiais recuperados dos furos de sondagem.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO

Em termos regionais, a área investigada situa-se no setor sudoeste do Quadrilátero Ferrífero (Figura 2). Do ponto de vista geotectônico, o Quadrilátero Ferrífero está inserido na Província São Francisco, no extremo sul da área ocupada pelo Cráton de mesmo nome (ALMEIDA 1977; ALMEIDA; HASSUY, 1984). Compreende quatro grandes conjuntos litológicos: embasamento formado por complexos metamórficos arqueanos, *greenstonebelt* Supergrupo Rio das Velhas e sequência metassedimentar do Supergrupo Minas (Figura 3). Além de rochas máficas intrusivas e coberturas cenozóicas.

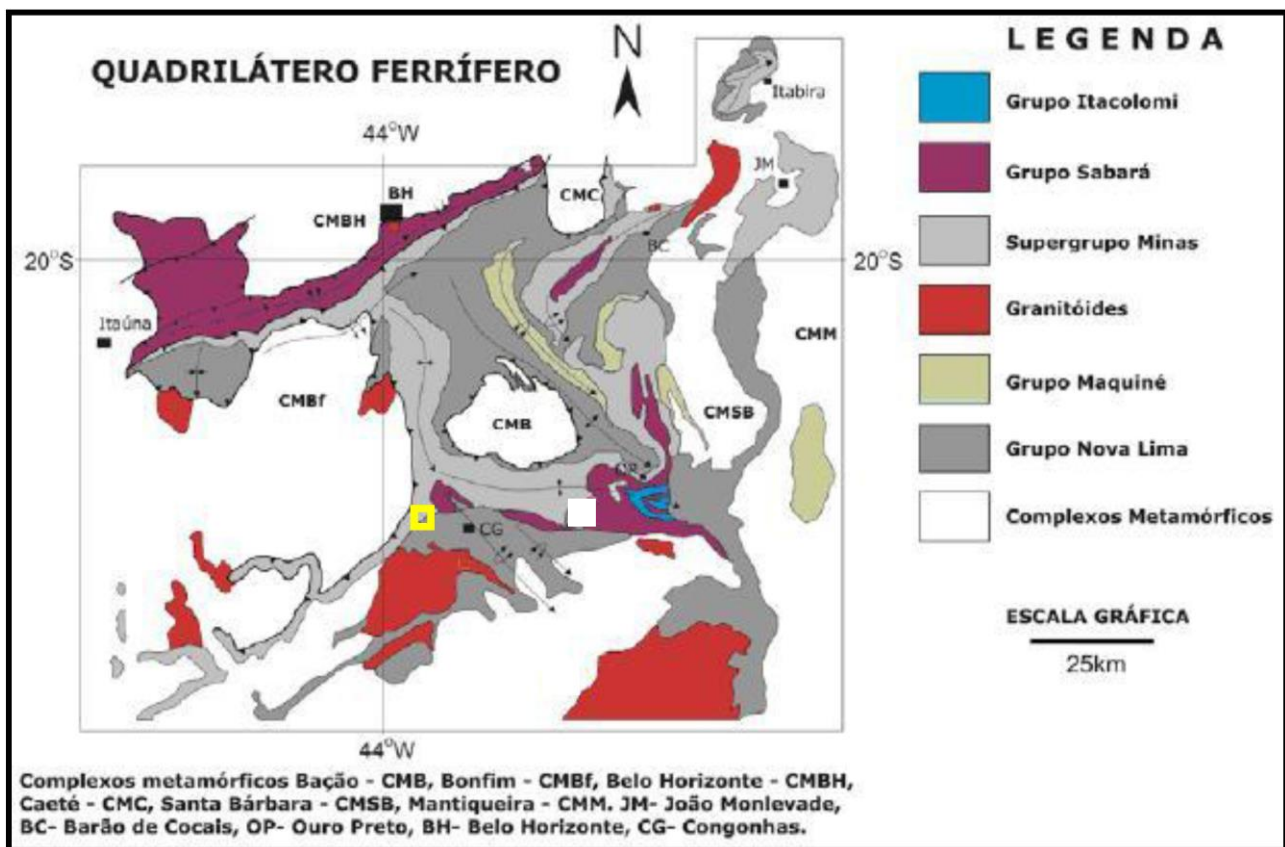


Figura 2: Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero. Destaque em amarelo para a localização da área de estudo.

3.1 Supergrupo Minas

As cavidades de interesse para este relatório se inserem no conjunto de rochas do Supergrupo Minas. Sequência metassedimentar de idade paleoproterozóica (BABINSKI et al., 1991; MACHADO et al., 1989) constituída por xistos, quartzitos, dolomitos e formação ferrífera, assentadas discordantemente sobre gnaisses e mica-xistos. É composto por cinco grandes grupos que atingem mais de 4.000 m.

O Grupo Caraça, que repousa discordante sobre as unidades vulcanossedimentares do Supergrupo Rio das Velhas, é constituído de duas formações: a Formação Moeda, inferior, e a Formação Batatal, superior. O Grupo Itabira compreende duas formações: a Formação Cauê, inferior, que abriga os maiores depósitos de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero e a Formação Gandarela, superior. O Grupo Piracicaba é constituído pelas seguintes formações: Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões e Barreiro. A unidade superior do Supergrupo Minas é constituída pelo Grupo Sabará.

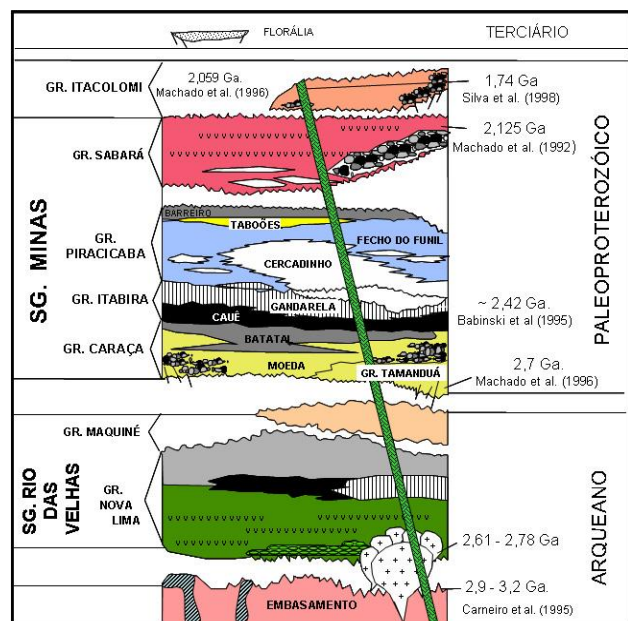


Figura 3: Coluna estratigráfica Quadrilátero Ferrífero (mod. ALKMIM; MARSHAK 1998).

As cavidades do estudo estão inseridas na Formação Cauê, em contato com as coberturas cenozoicas de composição laterítica. A Formação Cauê pertence à base do Grupo Itabira e compreende rochas como itabirito, itabirito dolomítico, itabirito anfíbolítico e pequenas lentes de xisto, filito e margas. Itabiritos (ESCHWEGE, 1833) são

formações ferríferas metamórficas e fortemente oxidadas, apresentando descontinuamente corpos de minério de alto teor (>64% Fe), de morfologia mais ou menos lenticular e dimensões variáveis desde alguns decímetros até centenas de metros.

A Cobertura Cenozóica, também chamada de canga, compõe os topos de serra com uma morfologia aplainada na forma de platô, ocorrendo sobre as rochas da Formação Cauê. Os depósitos de canga do Quadrilátero Ferrífero têm uma espessura média entre 2 e 10m, são compactos e resistentes a erosão mecânica. Nas bordas do platô as rupturas do relevo formam escarpas verticais, onde se desenvolve grande parte das cavidades neste litotipo. Chapadas de canga são depósitos elúvio-coluvionares com seixos, calhaus e matacões de formação ferrífera e hematita com matriz argilosa-laterítica. Também ocorrem na forma de solo laterítico residual. Dorr (1969) apresenta uma classificação para as cangas do Quadrilátero Ferrífero - MG: (i) canga normal, contendo entre 20 – 80% de fragmentos detríticos de hematita ou itabirito ocorrendo em encostas com inclinação de até 20% sobre itabiritos; (ii) canga rica, consistindo em um aglomerado de hematita composto por fragmentos angulares ou arredondados de granulometria variando desde seixo até matacão, no qual o cimento preenche interstícios ou está presente em quantidade bastante apenas para manter os fragmentos coesos, e (iii) canga química, contendo muito pouco, por volta de 5 – 10% de material detrítico comportando fragmentos em geral menores do que 1 cm e muita limonita, ocorrendo comumente em locais afastados da Formação Cauê.

3.2 Geologia Local

As cavidades CV05 e CV06 fazem parte do grupo das rochas ferríferas e os litotipos observados são o itabirito e a canga. O itabirito, observado apenas na CV05, ocorre em escarpa de rocha bastante intemperizada, coberta por canga. A textura do itabirito é bandada em níveis centimétricos intercalados com diferença na composição, o que define a variação na coloração. Bandas quartzosas são esbranquiçadas e bandas ricas em hematita são cinza escuro, ambas com granulacão fina. Essa rocha corresponde à Formação Cauê (Foto 1). Foi medido o plano de bandamento e sua atitude é 110/60.

A cobertura laterítica recente recobre o itabirito na maior parte da região alta da serra, na forma de um platô. Além da CV05 a canga também ocorre na CV06, porém nesta última é a única litologia observada. O litotipo está semi-intemperizado com aspecto compacto. É formado

por clastos de formação ferrífera, cimentados por matriz limonítica. Os clastos apresentam tamanho de seixo a grânulo, são subangulosos e estão caoticamente distribuídos em meio à matriz (Foto 2), que ocorre em pequena quantidade.



Foto 1: Itabirito no final da CV 05, em destaque os planos de bandamento.



Foto 2: Canga compacta na CV 06.

O contato geológico, observado na CV05, é uma significativa descontinuidade condicionante do desenvolvimento das cavidades ferríferas. Além de ser uma importante superfície para percolação da água, ocorre diferença de reologia ou competência entre os materiais, contribuindo para a erosão diferencial. A canga, que sempre ocorre no topo, apresenta grande compacidade e resistência à erosão. Já o itabirito, que predomina na base, encontra-se muitas vezes alterado e friável. Essa diferença de competência pode facilitar o desenvolvimento de cavidades por erosão mecânica e abatimento. A superfície de contato da canga é irregular e tem a mesma direção da vertente. Este contato é discordante e erosivo, com um grande hiato deposicional entre as unidades.

4. CARACTERIZAÇÃO DAS CAVIDADES ANALISADAS

O conjunto de cavidades localizado no entorno do Projeto VIGA foi estudado de forma detalhada na elaboração da Análise de Relevância Espeleológica (SPELAYON, 2012). Para tanto, uma equipe multidisciplinar visitou a área, realizando trabalhos como prospecção espeleológica, geoespeleologia, bioespeleologia e mapeamento topográfico de detalhe das cavidades. Os trabalhos desenvolvidos têm como objetivo analisar o meio físico e biótico das cavernas, além do ambiente como um todo. Foram avaliados os atributos morfológicos, espeleométricos, geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, biológicos, além do estado de conservação das cavernas e de seu entorno. A seguir serão descritas as cavidades objeto de estudo deste trabalho.

Ω Caverna CV05

O ponto localizava-se sob as coordenadas UTM 612.573 E / 7.734.587 N, altitude 1.271 m, zona 23K, datum SAD69, município de Congonhas (MG). A caverna era situada na meia encosta e em alta vertente (Foto 3). A litologia presente é itabirito, alterado superficialmente, e canga. O contato pode

ser observado nas paredes e próximo ao piso. O itabirito é semicompacto, de cor cinza escuro a avermelhado e formado por intercalação de lâminas ricas em ferro e sílica. A canga é compacta, de cor avermelhada e formada por seixos e blocos de formação ferrífera, cimentados por laterita.

Com relação à morfologia, o padrão planimétrico desta cavidade é retilíneo e seu piso é horizontalizado, com uma inclinação suave ascendente para o interior, sendo concordante com a vertente (Foto 4). Trata-se de uma pequena cavidade desenvolvida em conduto único, com diversas ramificações perpendiculares ao conduto (Foto 5). Possui planta baixa linear, perfil longitudinal horizontal, cortes transversais irregulares. O teto é baixo em toda sua extensão e as paredes irregulares. Possui apenas 1 entrada, com altura da boca de aproximadamente 1,5m (Foto 6). Foi realizado o mapeamento com o grau de precisão BCRA 4D (Figura 4). Os atributos de destaque da cavidade CV05 são a média projeção horizontal (11,15 m) e volume (16,72 m³) da mesma quando comparada com as cavidades existentes na mesma unidade espeleológica (Unidade Espeleológica QF-Conceição) e a presença de água de percolação ou condensação.

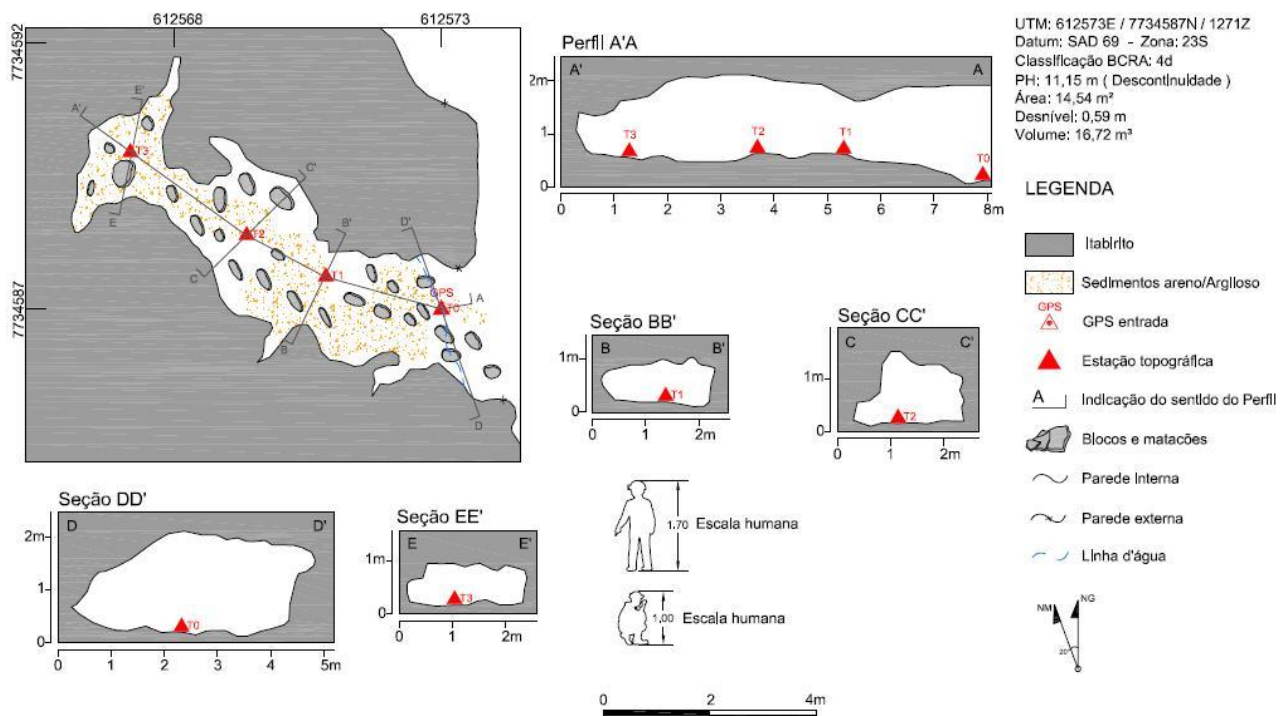


Figura 4: Croqui topográfico da cavidade CV05.



Foto 3: Escarpa onde está inserida a cavidade.



Foto 5: Detalhe do canalículo no final do conduto.



Foto 4: Vista geral do conduto com piso concordante com a encosta.



Foto 6: Entrada da cavidade vista de dentro para fora.

Como espeleotemas, foram observados pouquíssimos coralóides de tamanho milimétricos e crosta ferruginosa localizada. Na campanha de coleta das amostras foi identificado ainda escorrimento ferruginoso. Quanto aos depósitos clásticos foram encontrados blocos, cascalhos e matações de itabirito. Os depósitos sedimentares não apresentam interesse científico. Não há drenagem e não foram observadas demais feições hidrológicas. Não foi encontrada nenhuma ocorrência de vestígios e/ou registros paleontológicos superficiais. Sendo assim, os atributos físicos da cavidade possuem baixa importância quando comparados com as demais cavidades da mesma unidade geomorfológica (Unidade Geomorfológica Quadrilátero Oeste).

A vegetação do entorno é campo rupestre, Cerrado. A cavidade é de pequeno porte, sendo que a zonação é incompleta, apresentando apenas a zona eufótica. Devido ao posicionamento da boca, os recursos orgânicos são escassos representados por algumas raízes. A temperatura média registrada foi 18°C e a umidade relativa do ar foi 72% (medidas com termohigrômetro).

A cavidade não se destaca pela maioria de seus atributos biológicos, apresentando baixa diversidade de substratos orgânicos e abundância relativa de espécies. Além disso, não foram observadas espécies troglóbias, troglomórficas ou com função ecológica importante em seu interior. Contudo, constatou-se uma média riqueza de espécies durante o levantamento de dados. Com relação à presença de morcegos, durante o tempo de exposição das redes e a busca ativa dentro da cavidade, nas campanhas de campo dos períodos de seca e chuva, não foi capturado nem observado nenhum indivíduo da Ordem Chiroptera, bem como nenhum vestígio desses animais como restos alimentares e guano.

De acordo com a análise de relevância realizada (SPELAYON, 2012) a cavidade CV05 apresenta alta relevância espeleológica. O atributo que conferiu este grau de relevância para a cavidade foi a média riqueza de espécies.

Ω Caverna CV06

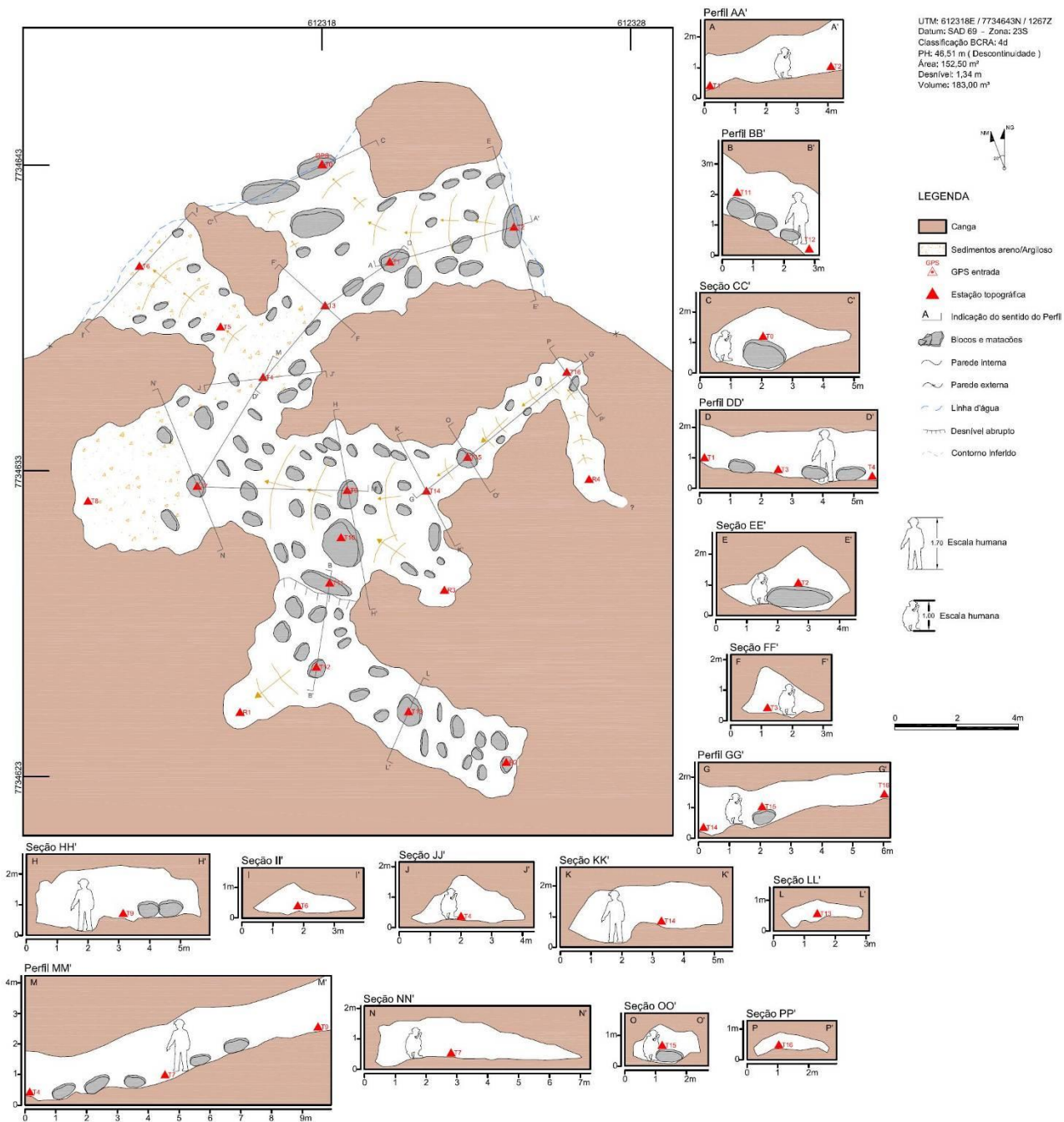
O ponto localizava-se sob as coordenadas UTM 612.318 E / 7.734.643 N, altitude 1.267 m, zona 23K, datum SAD69, município de Congonhas

(MG). A caverna era situada à meia encosta em alta vertente (Foto 7). A litologia presente é a canga. A rocha é compacta, de cor avermelhada e formada por seixos e blocos de formação ferrífera, cimentados por matriz limonítica.

Com relação à morfologia, o padrão planimétrico desta cavidade pode ser considerado indefinido, devido à irregularidade de suas formas. A planta baixa é linear ramificada, perfil longitudinal horizontal e inclinado, cortes transversais triangulares e retangulares. O teto não é alto, porém é possível deslocar em pé nos condutos.

Localmente o teto fica baixo. As paredes e o piso são irregulares. O piso apresenta inclinação ascendente para o interior do conduto, de forma concordante com a inclinação da vertente. Foi realizado o mapeamento com o grau de precisão BCRA 4D (Figura 5).

A cavidade CV06 destaca pelos dados espeleométricos, apresenta alta projeção horizontal (46,51 m), área (152,5 m²) e volume (183 m³) quando comparada com as cavidades existentes na mesma unidade espeleológica (Unidade Espeleológica QF-Conceição).



Quanto aos depósitos químicos, eles ocorrem em pequena quantidade e de forma localizada. Foram observados coralóides, crosta ferruginosa e escorrimentos inconsolidados. Os depósitos clásticos encontrados foram blocos, matações, calhaus, seixos, cascalhos e sedimento ferruginoso arenoso (Fotos 8 e 9). Os depósitos sedimentares não apresentam interesse científico. Outro atributo de destaque desta cavidade é a presença de água de percolação/condensação e drenagem subterrânea intermitente com influência sobre os atributos da cavidade. O escoamento de água tem origem na vertente à montante da cavidade e é formado pelo defúvio superficial em episódios de chuva. Não foi encontrada nenhuma ocorrência de vestígios e/ou registros paleontológicos superficiais.



Foto 7: Vista geral da entrada.



Foto 8: Piso coberto por blocos e matações.

A vegetação do entorno é campo rupestre, Cerrado. A zonação da cavidade é completa, apresentando as zonas eufótica, disfótica e afótica. Predomina a zona afótica e por isso tem menor influência do meio externo no microclima interior. Os recursos orgânicos são representados por troncos. A temperatura média registrada foi 18,5°C e a umidade relativa do ar foi 83% (medidas com termohigrômetro). Quanto aos atributos biológicos, a

cavidade apresenta baixa diversidade de substratos orgânicos e abundância relativa de espécies e média riqueza de espécies. Além disso, não foram observadas espécies troglóbias ou troglomórficas.



Foto 9: Sedimentos cascalhentos, detalhe do carvão no interior da cavidade.



Foto 10: Detalhe de fezes de tamanduá no interior da cavidade.

Com relação à presença de morcegos, foram encontradas duas colônias em épocas sazonais distintas. Uma colônia composta de seis indivíduos de *Anoura caudifera*, observada na época chuvosa. Apenas um indivíduo foi capturado, sendo este fêmea lactante. A outra colônia é composta por quatro indivíduos de *Glossophaga soricina*, observada na época da seca, onde dois indivíduos foram capturados. Foi constatada a presença de guano no interior da caverna. As duas espécies não constam na lista brasileira e nem mineira de animais ameaçados de extinção. Ambas têm grande distribuição no estado e suas colônias apresentam número baixo de indivíduos. Foi observado também fezes de mamífero de grande porte no interior da cavidade (Foto 10).

De acordo com a análise de relevância realizada (SPELAYON, 2012), a cavidade CV06 apresenta alta relevância espeleológica. Os principais atributos que conferem o alto grau de

relevância para a cavidade são: a alta projeção horizontal, área e volume, além da presença de fluxo de água intermitente e média riqueza de espécies.

5. DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS COLETADAS

Na cavidade CV05 foram coletadas 3 amostras de espeleotemas: crosta ferruginosa, coralóide e escorrimento. Na cavidade CV06 também foram coletadas 3 amostras de espeleotemas: dois coralóides e crosta ferruginosa. Quanto aos litotipos, foram utilizados resultados de furos de sondagem realizados na região.

Ω CV05 – Crosta Ferruginosa

Descrição da macroscópica: depósito químico ferruginoso que recobre parte de blocos, paredes e piso. Camada delgada de coloração amarronzada forma a parte externa (Foto 11). No interior da amostra ocorre uma massa composta por fragmentos ferruginosos (principalmente hematita), angulosos, tamanho areia e grânulo, cimentados por laterita (Foto 12).



Foto 11: Camada externa da crosta ferruginosa na cavidade CV05.



Foto 12: Detalhe dos fragmentos que formam a crosta.

Descrição da lâmina delgada: observação do processo de cimentação causada pelos hidróxidos de ferro em torno dos fragmentos de itabirito e hematita. Ainda é possível reconhecer a estrutura bandada do itabirito que estão, via de regra, envoltos por filmes vermelhos de goethita e amarelados de lepidocrosita. Por vezes, estes hidróxidos formam belas estruturas concêntricas dadas pela alternância de finas camadas de goethita de cores, ora mais claras, ora mais escuras, porém sempre em tons de vermelho. É também, claramente visível, que a lepidocrosita é formada secundariamente a partir da goethita. Nota-se a presença de minerais cristalizados em pequenos geodos que podem ser, muito provavelmente, fosfatos formados a partir do conteúdo orgânico de dejetos animais. Dentre os fragmentos clásticos destaca-se a turmalina. Destaca-se também a presença de uma borda amorfa botrioidal de origem orgânica. Classificação: brecha itabirítica/hematítica com cimento goethítico e lepidocrosítico (Fotos 13 e 14).

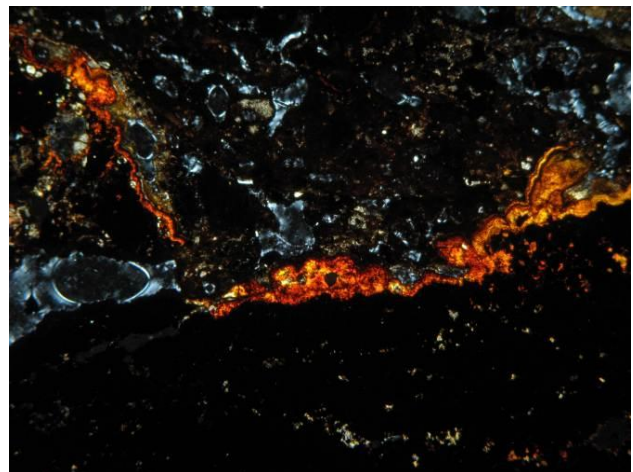


Foto 13: Lâmina delgada da amostra CV05 crosta ferruginosa, onde ocorre goethita + lepidocrosita + fosfatos (aumento de 50x, luz analisada).

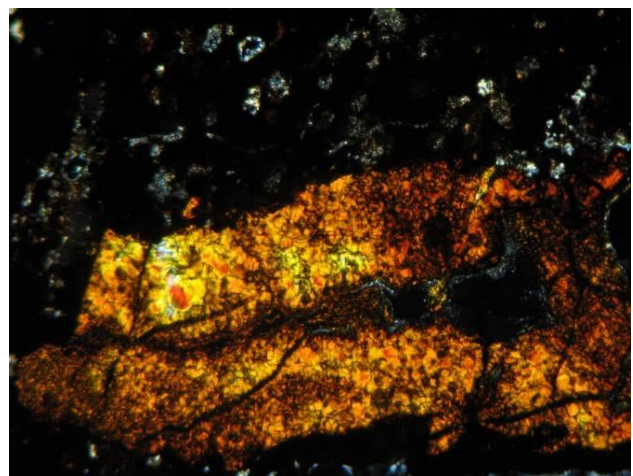
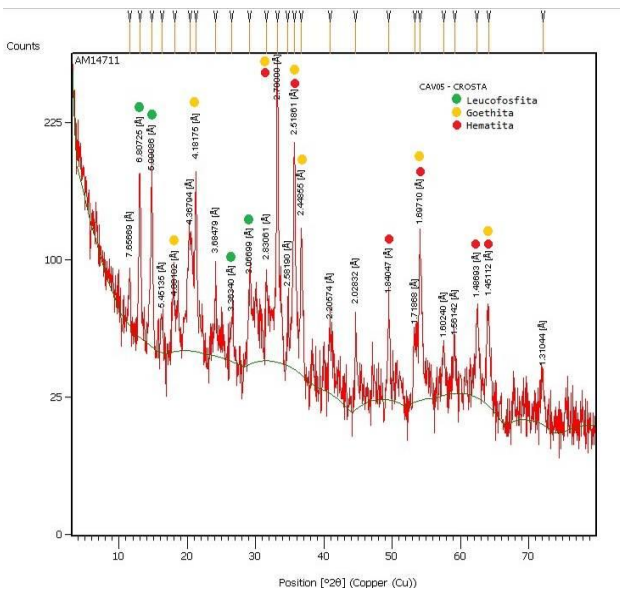


Foto 14: Lâmina delgada da amostra CV05 crosta ferruginosa, detalhe da goethita (aumento de 100x, luz analisada).

Difração de Raio X (DRX): através da análise do difratograma é possível reconhecer os picos mais intensos, que são usados para identificar o mineral correspondente. No difratograma da amostra CV05 – crosta ferruginosa (Figura 6) pôde ser identificado os minerais hematita (Fe_2O_3), goethita ($Fe(OH)$) e leucofosfita ($K(Fe_2(PO_4)_2(OH)(H_2O))(H_2O)$).



Ω CV05 – Escorrimento

Descrição da macroscópica: depósito ferruginoso em camadas delgadas na forma de trama, sem orientação preferencial, com desenvolvimento de pequenas cavidades ou vazios no interior. Pode ter origem na lixiviação ou alteração do itabirito. Por fora a cor de intemperismo é marrom avermelhada. No interior as finas camadas têm cor cinza metálico (Fotos 17 e 18).



Foto 17: Amostra do escorrimento coletado na cavidade CV05.

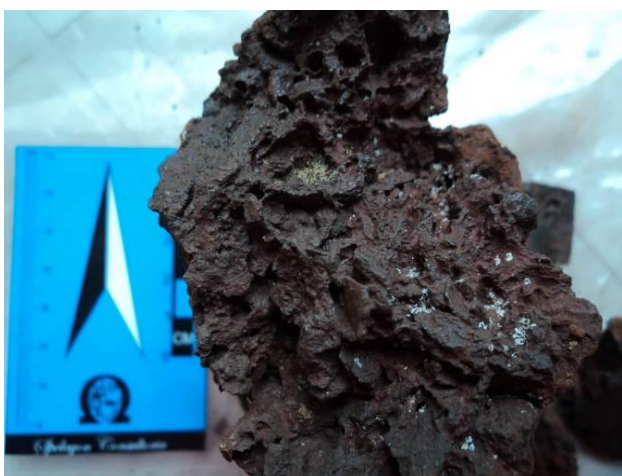


Foto 18: Escorrimento da cavidade CV05 com pequenos vazios no interior.

Descrição da lâmina delgada: trata-se de uma brecha limonítica com muitos fragmentos de quartzo, pouco itabirito e hematita. É muito porosa, com inúmeros vazios e inteiramente cimentada por goethita e lepidocrocita (Foto 19 e 20). O primeiro mineral é de cor vermelho sangue e disposto em estruturas botrioidais mais ou menos concêntricas. A deposição é devida a mobilização coloidal do hidróxido de ferro e resulta em finas camadas do mineral alternadas com clastos muito finos. No entanto, a maior parte da goethita é derivada da mobilização do ferro dos clastos de hematita e não

tem orientação, apenas aparece em manchas disseminadas.

A lepidocrocita é muito abundante e tem um padrão de cristalização mais bem definido, sob a forma de palhetas orientadas segundo uma disposição concêntrica, de preferência na parte externa da goethita, donde se supõe ser derivada da neo-formação a partir desta última. São visíveis estruturas circulares concêntricas de material de cor creme acinzentada, amorfo, de provável origem orgânica, que cresce a partir de um núcleo de óxido de ferro e o envolve totalmente (bactérias que consomem e secretam ferro?). A lepidocrocita é o cimento mais abundante. Classificação: Brecha goethita e lepidocrocita (canga)

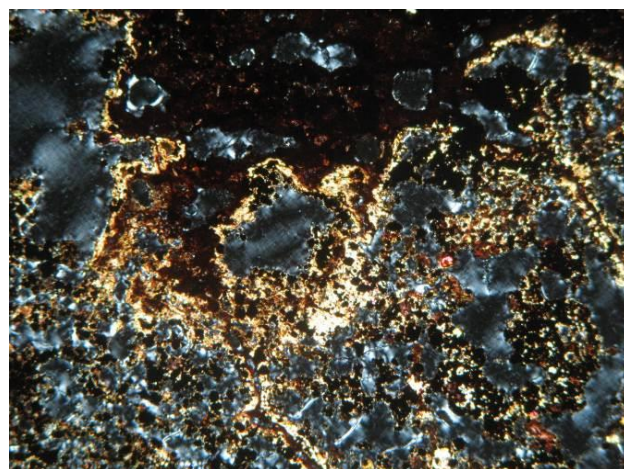


Foto 19: Lâmina delgada da amostra CV05 - escorrimento, onde ocorre lepidocrocita + goethita intergranular (aumento de 50x, luz analisada).

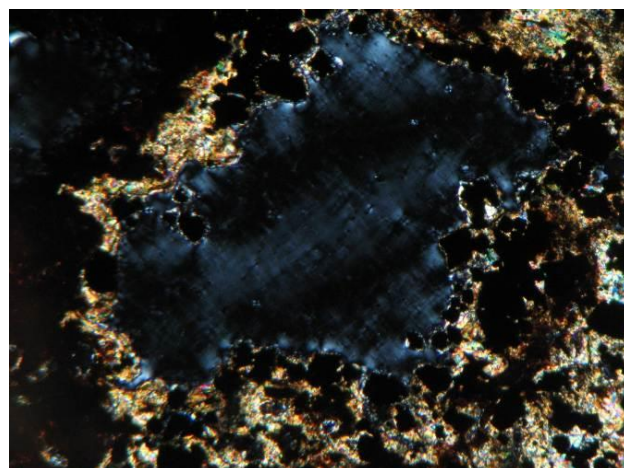


Foto 20: Lâmina delgada da amostra CV05 - escorrimento, detalhe em torno dos vazios (aumento de 100x, luz analisada).

Difração de Raio X (DRX): através da análise do difratograma é possível reconhecer os picos mais intensos, que são usados para identificar o mineral correspondente. No difratograma da amostra CV05 – escorrimento (Figura 8) pôde ser identificado os

minerais hematita (Fe_2O_3), goethia ($\text{Fe}(\text{OH})$), a lepidocrosita ($\text{Fe}(\text{OH})$) e a strengita ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

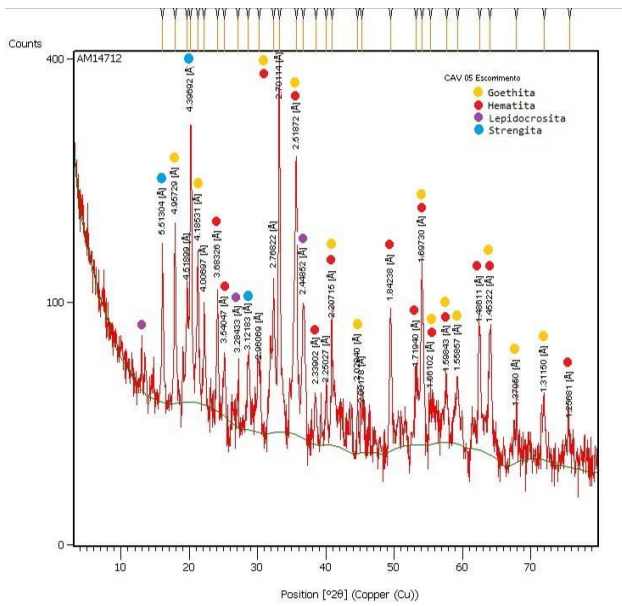


Figura 8: Difratoograma de raio x da amostra CV05 – escorrimento.

Ω CV06 – Crosta Ferruginosa

Descrição da macroscópica: depósito químico ferruginoso que recobre parte de blocos, paredes e piso. Camada delgada de coloração amarronzada forma a parte externa (Foto 21). No interior da amostra ocorre uma massa composta por fragmentos ferruginosos (principalmente hematita), angulosos e com formato de lamelas, tamanho areia e grânulo, cimentados por laterita (Foto 22).



Foto 21: Camada externa da crosta ferruginosa com coloração amarronzada.



Foto 22: Fragmentos ferruginosos que na parte interna da crosta ferruginosa.

Descrição da lâmina delgada: a amostra é quase que inteiramente constituída de fragmentos grosseiros de itabirito e hematita compacta, com clastos finos de quartzo subordinados. Nota-se a quase ausência de hidróxidos de ferro secundários, sinal do baixo grau de intemperismo sofrido pela rocha. Alguns vazios contêm material amorfo (Fotos 23 e 24). Classificação: Brecha itabirítica/hematítica (canga).

Difração de Raio X (DRX): através da análise do difratograma é possível reconhecer os picos mais intensos, que são usados para identificar o mineral correspondente. No difratograma da amostra CV06 – crosta ferruginosa (Figura 9) pôde ser identificado os minerais hematita (Fe_2O_3), goethia ($\text{Fe}(\text{OH})$) e leucofosfita ($\text{K}(\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})(\text{H}_2\text{O}))(\text{H}_2\text{O})$).

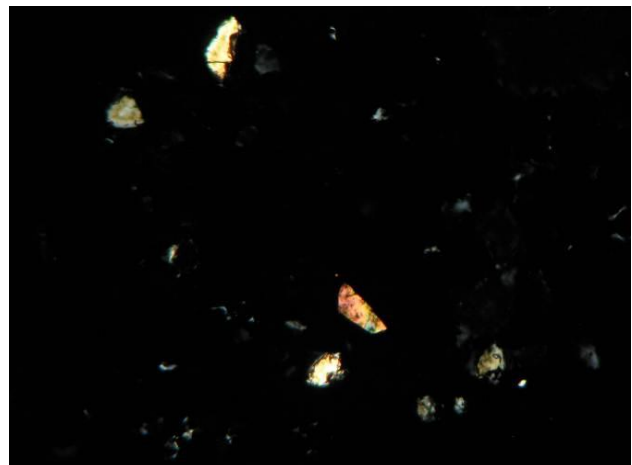


Foto 23: Lâmina delgada da amostra CV06 - crosta ferruginosa, onde ocorrem fosfatos (aumento de 100x, luz analisada).

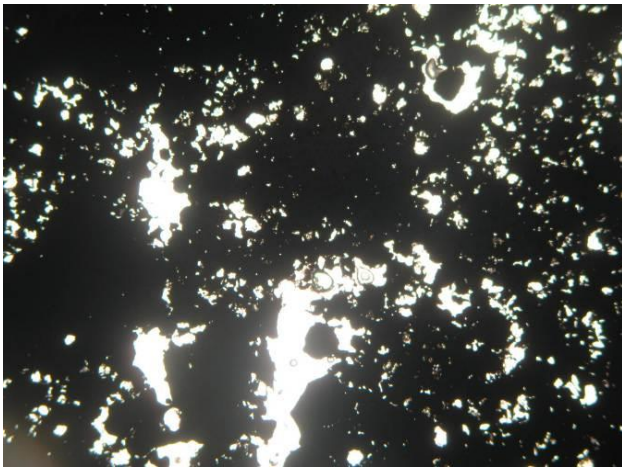


Foto 24: Lâmina delgada da amostra CV06 - crosta ferruginosa, onde ocorrem fosfatos (aumento de 50x, luz analisada).



Foto 25: Amostra de coralóides com coloração amarronzada na cavidade CV06.

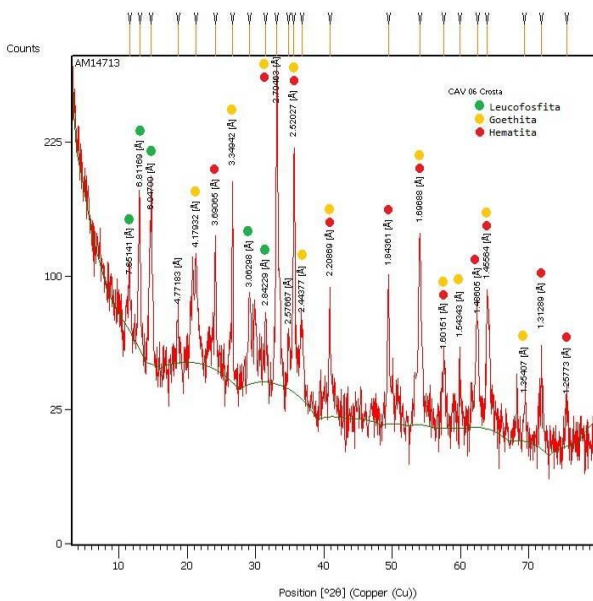


Figura 9: Difractograma de raio x da amostra CV06 – crosta ferruginosa.

Ω CV06 – Coralóide (AM02)

Descrição da macroscópica: espeleotema de coloração marrom claro, com tamanho milimétrico, forma colunar e com ponta arredondada. Ocorrem em pequenos concentrados ou na forma de aglomerados. Em algumas partes estão dispersos com tamanho submilimétrico (Fotos 25 e 26).

Descrição da lâmina delgada: a maior parte da lâmina é constituída de fragmentos de itabirito, hematita compacta, pequenos clastos angulosos de quartzo e outros minerais muito finos para serem identificados, toda a massa clástica é cimentada por hidróxidos de ferro. A recristalização de hidróxidos de ferro é sob a forma de goethita e alguma lepidocrosita que, claramente, preenchem todos os vazios.



Foto 26: Detalhe do aglomerado de coralóides na cavidade CV06.

A crosta botrioidal secundária é formada por uma deposição concêntrica de camadas finas de um material de cor cinza amarelada e amorfo (orgânico?) intercaladas com filmes de hidróxido de ferro vermelho (goethita) (Foto 27 e 28). No meio dessas concreções circulares ocorrem fragmentos de hematita e quartzo, além de clastos mais finos não identificados. Nas bordas das concreções existe uma outra fase de deposição de partículas clásticas muito finas e cristalização de goethita vermelha, lepidocrocita alaranjada a amarelada em plaquetas finas. Algumas destas estruturas são alongadas e quase inteiramente constituídas por hidróxidos de ferro aparentemente reciclados da matriz hospedeira. A deposição dessas concreções é devida à circulação de hidróxidos de ferro em forma coloidal derivados da oxidação da hematita em condições intempéricas. Classificação: brecha limonítica com carapaça secundária botrioidal de natureza provavelmente orgânica (canga).

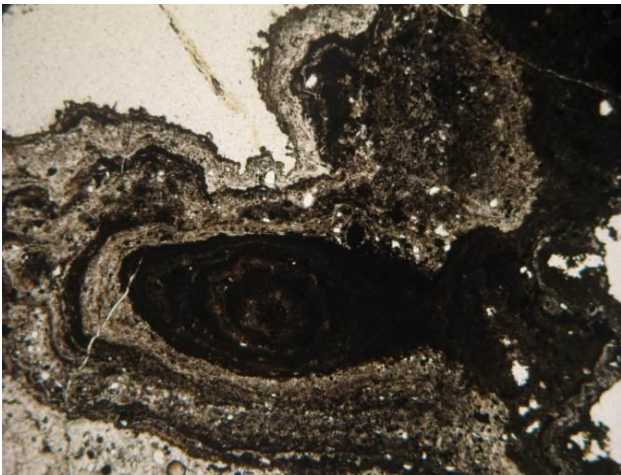


Foto 27: Lâmina delgada da amostra CV06 -coralóide (AM02), concreções orgânicas (aumento de 50x, luz polarizada).

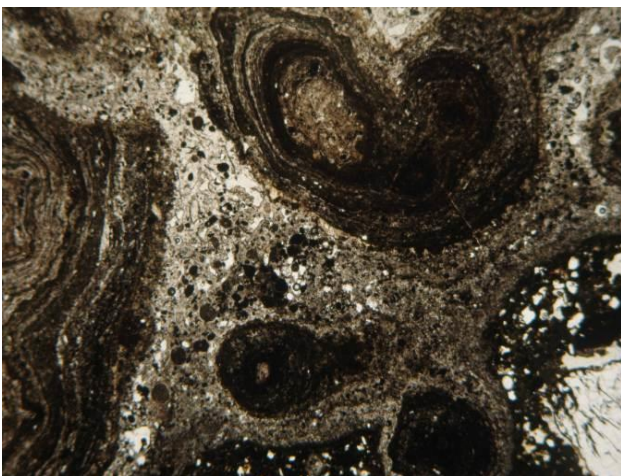


Foto 28: Lâmina delgada da amostra CV06 - coralóide (AM02), concreções orgânicas (aumento de 50x, luz polarizada).

Difração de Raio X (DRX): através da análise do difratograma é possível reconhecer os picos mais intensos, que são usados para identificar o mineral correspondente. No difratograma da amostra CV06 – coralóide (AM02) (Figura 10) pôde ser identificado os minerais hematita (Fe_2O_3) e goethia ($Fe(OH)$).

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): após a descrição da lâmina delgada e da análise dos resultados da DRX, a amostra CV06 – coralóide (AM02) também foi submetida à análise pelo MEV para identificação dos elementos principais (Figura 11).

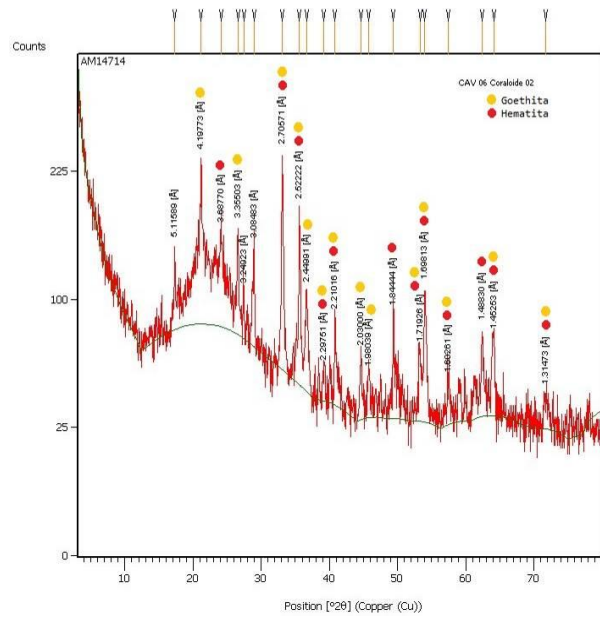


Figura 10: Difratograma de raio x da amostra CV06 – coralóide (AM02).

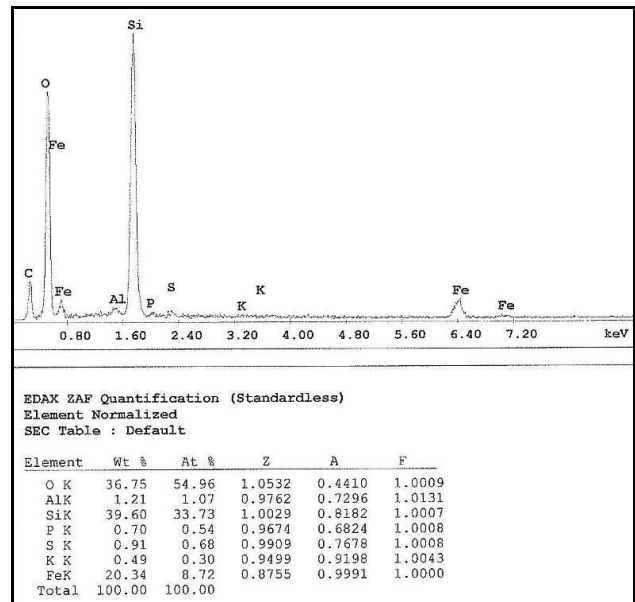


Figura 11: microscopia eletrônica de varredura para a amostra CV06 – coralóide (AM02).

Ω CV06 – Coralóide (AM03)

Descrição macroscópica: espeleotema de coloração esbranquiçada a cinza, por vezes amarronzada. Os coralóides tem forma colunar e ocorrência dispersa ou em pequenos aglomerados, onde tem forma ramificada (Foto 29). O tamanho é milimétrico.

Descrição da lâmina delgada: essa lâmina é idêntica àquela da amostra CV06 – AM02, porém as estruturas orgânicas concêntricas são bem mais finas e aparecem alguns cristais prismáticos não identificados, muito provavelmente, clásticos; são de cor de interferência baixa, alguns idiomórficos, mas

não apresentam características de serem de recristalização secundária (Foto 30).

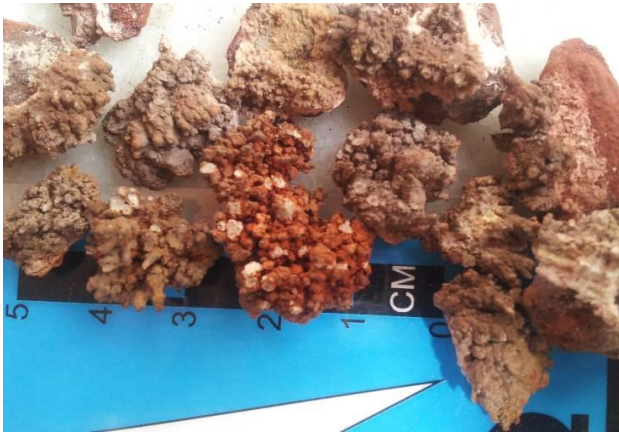


Foto 29: Fragmentos de coraloídes coletados na cavidade CV06.

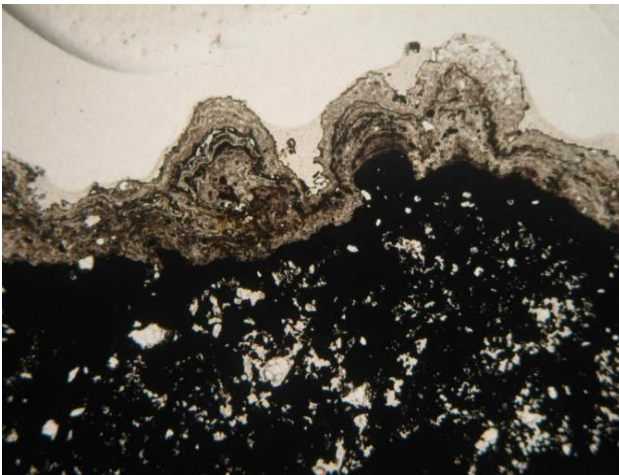


Foto 30: Lâmina delgada da amostra CV06 - coraloíde (AM03), crescimento concêntrico (aumento de 50x, luz polarizada).

Alguns vazios são preenchidos por cristais coloridos de birrefringência mais alta, muito pequenos para serem identificados (provavelmente fosfatos secundários). Classificação: Brecha limonítica lateritizada (canga).

Difração de Raio X (DRX): através da análise do difratograma é possível reconhecer os picos mais intensos, que são usados para identificar o mineral correspondente. No difratograma da amostra CV06 – coraloíde (AM03) (Figura 12) pôde ser identificado os minerais hematita (Fe_2O_3) e goethia ($Fe(OH)$).

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): após a descrição da lâmina delgada e da análise dos resultados da DRX, a amostra CV06 – coraloíde (AM03) também foi submetida à análise pelo MEV para identificação dos elementos principais (Figura 13).

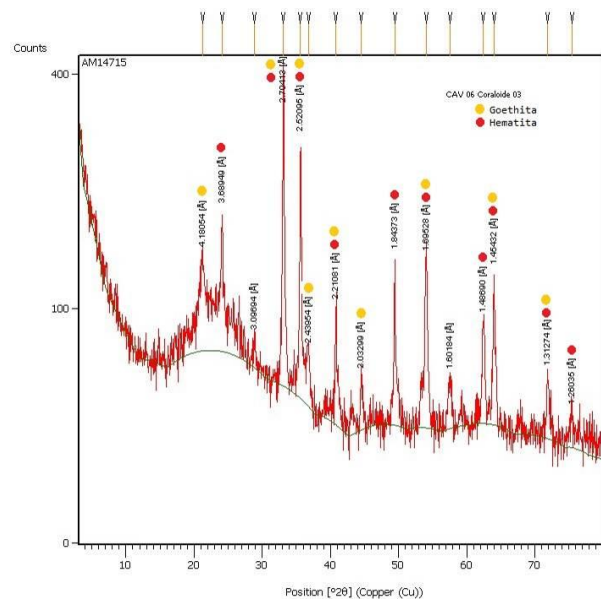


Figura 12: Difratograma de raio x da amostra CV06 – coraloíde (AM03).

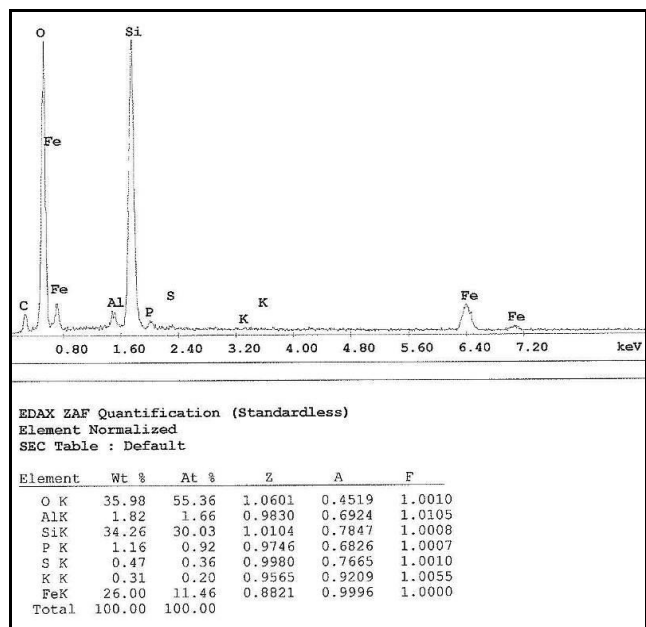


Figura 13: microscopia eletrônica de varredura para a amostra CV06 – coraloíde (AM03).

5.1 Amostras de Rocha

Foram realizados furos de sondagem em pontos próximos das cavidades CV05 e CV06 e os intervalos foram analisados por espectrometria de raio x, para determinação da porcentagem de Fe e contaminantes. Na cavidade CV05 aflora o itabirito em contato com a canga detrítica. Na cavidade CV06 aflora apenas a canga detrítica.

Ω CV05

Na cavidade CV05 aflora canga no topo e itabirito na base. A canga tem coloração avermelhada devido o grau de intemperismo. Rocha

clastosuportada, formada por fragmentos de tamanho variando desde grânulo até bloco, envolvidos por pouca matriz laterítica. Os fragmentos são subangulosos a angulosos, com baixa esfericidade e arredondamento, compostos por itabirito e hematita compacta. A matriz é composta principalmente por goethita.

O itabirito ocorre em porção inferior da parede da cavidade. A coloração predominante é marrom avermelhada devido ao intenso intemperismo, porém ocorrem partes com cor cinza metálico. A granulação é fina e possui aspecto semicompacto. Planos de foliação marcam descontinuidades persistentes. O bandamento é discreto, sendo que ocorre pouca quantidade de sílica e predomina a porção rica em ferro. A sílica já pode ter sido lixiviada, com a presença de cavidades vazias ao longo das estruturas de descontinuidade da rocha. A composição da rocha é formada principalmente por hematita e goethita em menor quantidade, além do quartzo.

Nas proximidades da cavidade CV05 foram realizados furos de sondagem (Tabela 1), após a autorização de supressão pelo órgão ambiental. Os furos PMC-CL140032 e PMC-CL140033 chegaram até 3 e 4 m de profundidade, respectivamente, e são compostos por material classificado como colúvio e elúvio. São fragmentos detríticos ferruginosos com matriz terrígena e laterítica. O furo PMC-FD149

chegou até 40 m de profundidade, sendo composto por material classificado como colúvio e elúvio nos primeiros 6,33 m. No intervalo entre 6,33 m e 25,07 m o material foi classificado como canga mineralizada. No intervalo entre 25,07 m e 32,34 m o material foi classificado como itabirito goethítico friável. E no intervalo entre 32,34 m e 40,05 m o material foi classificado como itabirito silicoso friável.

Ω CV06

Na cavidade aflora a canga, de coloração marrom avermelhada, com alto grau de intemperismo. Rocha clastosuportada, formada por fragmentos de tamanho variando desde grânulo até bloco, envolvidos por pouca matriz laterítica. Os fragmentos são subangulosos a angulosos, com baixa esfericidade e arredondamento, compostos por itabirito e hematita compacta. A matriz é composta principalmente por goethita.

Nas proximidades da cavidade CV06 foram realizados furos de sondagem (Tabela 2), após a autorização de supressão pelo órgão ambiental. Os furos PMC-FL121039, PMC-CL140062 e TVG-CP140008 chegaram até 2,8; 1,6 e 1,4 m de profundidade, respectivamente, e são compostos por material classificado como colúvio e elúvio. São fragmentos detríticos ferruginosos com matriz terrígena e laterítica.

Tabela 1: Resultado da espectrometria de raio x em intervalos de furos de sondagem realizados nas proximidades da cavidade CV05. Localização com coordenadas UTM, datum SAD69 e zona 23K.

POINT-ID	COORDENADA		From	To	Rocha	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FE	FEO	MN	P	LOI
	E	N										
PMC-CL140032	612564	7734570	0	3	CEL	3,998	4,76	56,86	0,27	0,954	0,338	9,0737
PMC-CL140033	612558	7734574	0	4	CEL	5,604	10,45	48,27	0,34	1,819	0,192	11,8197
PMC-FD149	612576	7734602	0	6,33	CEL	3,8793	2,7466	59,28	0,13	0,7148	0,1905	6,6364
PMC-FD149	612576	7734602	6,33	12,58	CGA	2,8	3,398	51,26	0,13	5,9907	0,1711	11,05
PMC-FD149	612576	7734602	12,58	18,82	CGA	4,6394	2,5433	53,4	0,13	3,2049	0,1899	10,4945
PMC-FD149	612576	7734602	18,82	25,07	CGA	6,31	1,767	55,34	0,13	0,6747	0,2069	9,99
PMC-FD149	612576	7734602	25,07	32,34	IGOF	27,524	2,4019	45,49	1,72	0,3299	0,1568	4,8373
PMC-FD149	612576	7734602	32,34	40,05	ISIF	28,4894	1,0931	47,55	4,16	0,7033	0,0517	1,2905

CEL - Colúvio elúvio, CGA - canga mineralizada, IGOF - itabirito goethítico friável e ISIF - itabirito silicoso friável.

Tabela 2: Resultado da espectrometria de raio x em intervalos de furos de sondagem realizados nas proximidades da cavidade CV06. Localização com coordenadas UTM, datum SAD69 e zona 23K.

POINT-ID	COORDENADA		From	To	Rocha	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FE	FEO	MN	P	LOI
	E	N										
PMC-FL121039	612324	7734646	1	2,8	CEL	1,619	2,346	63,91	-9999	0,155	0,19	4,5563
PMC-CL140062	612330	7734645	0	1,6	CEL	5,263	1,33	61,91	0,68	0,069	0,226	4,9965
TVG-CP140008	612325	7734637	0	1,4	CEL	1,92	1,87	63,51	-9999	0,116	0,316	5,18

CEL - Colúvio elúvio.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os espeleotemas analisados são compostos basicamente por hematita e goethita. Em lâmina delgada também foi identificada a lepidocrosita em todas as amostras. Os hidróxidos de ferro são reciclados da matriz hospedeira sob a forma de goethita e lepidocrosita, preenchendo os vazios. A lepidocrosita é formada secundariamente a partir da goethita. Em crostas ferruginosas há ocorrência de leucofosfita e no escorrimento de strengita.

Nos coraloídes amostrados, a DRX identificou a hematita e a goethita. Em lâmina delgada foi possível identificar a lepidocrosita e ainda visualizar a estrutura de crescimento dos coraloídes, em camadas concêntricas. Ocorre a intercalação de camadas finas de um material amorfo (orgânico?), filmes de hidróxido de ferro vermelho (goethita) e lepidocrosita em plaquetas finas. A deposição dessas concreções é devida à circulação de hidróxidos de ferro em forma coloidal derivados da oxidação da hematita em condições intempéricas. A recristalização de hidróxidos de ferro é sob a forma de goethita e alguma lepidocrosita que, claramente, preenchem os vazios. A análise no MEV indica composição semelhante para as duas amostras de coraloíde da caverna CV06.

Nas amostras de crosta ferruginosa, tanto da caverna CV05 como da CV06, além da hematita e goethita foi identificado o mineral leucofosfita na análise por DRX, um fosfato de potássio e ferro. O potássio e o fósforo podem ter origem orgânica, na decomposição do guano de morcegos (MAURITY; KOTSCHOUBEY, 1995). Em lâmina delgada foi possível observar a deposição de estruturas concêntricas dadas pela alternância de finas camadas de goethita. É também, claramente visível, que a lepidocrosita é formada secundariamente a partir da goethita.

O escorrimento é formado por grande quantidade de espaços vazios preenchidos por goethita e lepidocrosita. A deposição é devida a mobilização coloidal do hidróxido de ferro e resulta em finas camadas do mineral. A lepidocrosita é muito abundante e tem um padrão de cristalização mais bem definido, sob a forma de palhetas orientadas segundo uma disposição concêntrica, de preferência na parte externa da goethita, donde se supõe ser derivada da neo-formação a partir desta última. Além da hematita, goethita e lepidocrosita, a DRX apontou ainda a strengita.

BIBLIOGRAFIA

- ALKMIM, F.F.; MARSHAK, S. Transamazonian orogeny in the São Francisco Craton, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, v.90, p. 29-58, 1998.
- ALMEIDA, F.F.M. O Craton do São Francisco. *Rev. Bras. Geol.*, v. 7, p. 349-364, 1977.
- ALMEIDA, F.F.M; HASSUY, Y. *O Precambriano do Brasil*. São Paulo. Edgard Blücher, 1984. 542 p.
- BABINSKI, M.; CHEMALE JR., F.; VAN SCHMUS, W.R. Geocronologia Pb/Pb em rochas carbonáticas do Supergrupo Minas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: CONGR. BRAS. GEOQUIM.,3. São Paulo, 1991. *Anais...*São Paulo, SBGq, vol. 1, p. 628-631.
- CAVALCANTI, L. F. et al. **Plano de ação nacional para a conservação do patrimônio espeleológico nas áreas cársticas da Bacia do Rio São Francisco**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Instituto Chico Mendes, 2012. p. 140.
- DORR, J.N. Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *United States Geological Survey*, Professional Paper, 641-A, 1969, 110p.
- MACHADO, N.; SCHRANK, A.; ABREU, F.R.; KNAUER, L.G.; ALMEIDA-ABREU, P.A.. Resultados preliminares da geocronologia U/Pb na Serra do Espinhaço Meridional. In: SBG, Simp. Geol. MG., 5, 1989. *Anais*, p. 1-4.
- 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 Emílio Goeldi*, Série Ciências da Terra, v.7, p.331-362. 1995.

OLIVEIRA, O. B.; OLIVITO, J. P.; RODRIGUES-SILVA, D. Caracterização da Unidade Espelológica e das Unidades Geomorfológicas da Região do Quadrilátero Ferrífero – MG, **Revista Espeleo-Tema**, Brasília, v.22, n.1, p. 61-80, 2011.

SPELAYON - SPELAYON CONSULTORIA EPP. **Análise de Relevância das Cavidades do Projeto VIGA**. Julho/Agosto, 2012.

Fluxo editorial:

Recebido em: 20.01.2015

Aprovado em: 19.05.2015



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

www.cavernas.org.br/espeleo-tema.asp
