



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:

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. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais34cbe/34cbe_447-456.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

RESGATE DE ESPELEOTEMAS E LITOTIPOS EM CAVIDADES DA UNIDADE ESPELEOLÓGICA CARAJÁS, SUDESTE DO ESTADO DO PARÁ – PROCEDIMENTOS E TÉCNICAS

*SPELEOTHEMS AND LITHOTYPES RESCUE IN CAVES OF THE CARAJAS SPELEOLOGICAL UNIT,
SOUTHEAST OF STATE OF PARA – PROCEDURES AND TECHNICIS*

**Daniele Freitas GONÇALVES (1); Rafael Guimarães DE PAULA (1);
Marcelo Roberto BARBOSA (2); Carlos Alberto Souza TELES (1)**

(1) Departamento de Ferrosos Norte, Parauapebas PA.

(2) Planejamento e Desenvolvimento de Ferrosos, Belo Horizonte MG.

Contatos: daniele.freitas.goncalves@vale.com; rafael.guimaraes@vale.com;
marcelo.roberto.barbosa@vale.com.

Resumo

O resgate de espeleotemas e litotipos de cavidades naturais subterrâneas em áreas de mineração, é requisito da atual legislação ambiental e faz parte do Programa de Gestão Espeleológica do Plano Básico Ambiental do Projeto Serra Norte – Estudo Global das Ampliações das Minas de N4 e N5 da empresa Vale S.A. Este trabalho tem como objetivo apresentar e descrever os procedimentos e técnicas utilizados nas fases de resgate, desde o planejamento, coleta, tratamento, análises químicas e mineralógicas, até sua interpretação e apresentação ao órgão licenciador. Os resultados alcançados têm demonstrado eficácia no atendimento à legislação e contribuído significativamente para a evolução do conhecimento espeleológico da Amazônia Oriental.

Palavras-Chave: Carajás; cavidades naturais; espeleotemas.

Abstract

The rescue of speleothems and lithotypes from underground natural caves in mining areas is a requirement of current environmental legislation and is part of the Speleological Management Program included in the Basic Environmental Plan of the Serra Norte Project - Global Study of N4 and N5 Mine Expansion. This work aims to present and describe the procedures and methods used in the rescue phases, from planning, field collection, chemical and mineralogical analysis, to its interpretation and presentation to the licensing agency. The results have proved effective in complying with the legislation and contributing significantly to the evolution of speleological knowledge of the Eastern Amazon.

Key-words: Carajas; natural caves; spelothems.

1. INTRODUÇÃO

O Subprograma Resgate Espeleológico é exigido pela legislação ambiental atual para cavidades que estejam em áreas previstas para mineração. É parte integrante do Programa de Gestão Espeleológica do Plano Básico Ambiental do Projeto Serra Norte – Estudo Global das Ampliações das Minas de N4 e N5. Atualmente, este Subprograma divide-se em duas etapas: a) Resgate de dados químicos e mineralógicos de espeleotemas e litotipos e b) Coleta de fauna cavernícola. Neste trabalho serão apresentados e descritos os procedimentos desenvolvidos pela Vale bem como as técnicas utilizadas na etapa de resgate.

Os trabalhos de resgate iniciaram-se após a autorização de supressão de algumas cavidades pelo

órgão licenciador. A partir daí, foram observadas as instruções constantes no artigo 19 da Instrução Normativa nº 2/2009 do Ministério do Meio Ambiente:

“qualquer impacto negativo irreversível deverá ser precedido de registro e armazenamento cartográfico e fotográfico, bem como de inventário e coleta de espeleotemas e elementos geológicos e biológicos representativos do ecossistema cavernícola, compreendendo resgate, transporte adequado e destinação às coleções específicas institucionais”.

A área de desenvolvimento do trabalho situa-se na Unidade Espeleológica Carajás, precisamente no contexto local Serra Norte, na porção sudeste do

Estado do Pará entre os rios Itacaiúnas e Parauapebas. Esta região caracteriza-se por um conjunto de serras descontínuas e morros, afastados por extensos vales. As principais elevações são: Serra Norte e Serra Sul, as quais são compostas por vários corpos de minérios de ferro, emergentes acima da planura florestada com elevações de 600 a 800 m. A uniformidade da altura dos platôs sugere que estes sejam remanescentes de uma antiga e extensa superfície de erosão. O relevo atual da região está condicionado a forte estruturação regional de direção W-NW e E-SE alinhando os platôs sobre a sequência vulcano-sedimentar arqueana do Grupo Grão- Pará principalmente, constituído por rochas vulcânicas básicas e intermediárias cloritizadas da Formação Parauapebas, formações ferríferas bandadas da Formação Carajás, vulcânicas intermediárias ácidas da Formação Igarapé Cigarra e Arenitos e Siltitos da Formação Águas Claras (MACAMBIRA, 2003; MACAMBIRA et al., 1990).

1.1 Objetivo

O presente trabalho tem por objetivo apresentar e descrever os procedimentos e técnicas utilizados nas três fases de resgate desenvolvidas

pela empresa Vale S.A, desde o planejamento, coleta, tratamento e análises químicas e mineralógicas, até a interpretação dos resultados e apresentação ao órgão licenciador.

2. METODOLOGIA

Os procedimentos e técnicas empregados neste trabalho foram agrupados em três fases conforme esquema da Figura 1.

2.1 Fase Pré-campo

Levantamento de todas as informações pertinentes às cavidades em que será executado o trabalho. É realizada uma avaliação prévia nas plantas com grau de precisão topográfico BRCA 5D e nas fichas de geoespeleologia das cavidades que serão visitadas e passíveis de resgate. Posteriormente, executa-se o planejamento e a programação dos dias e cavidades que serão visitadas, sempre considerando os critérios: proximidade da lavra, tamanho da cavidade e distância entre elas.

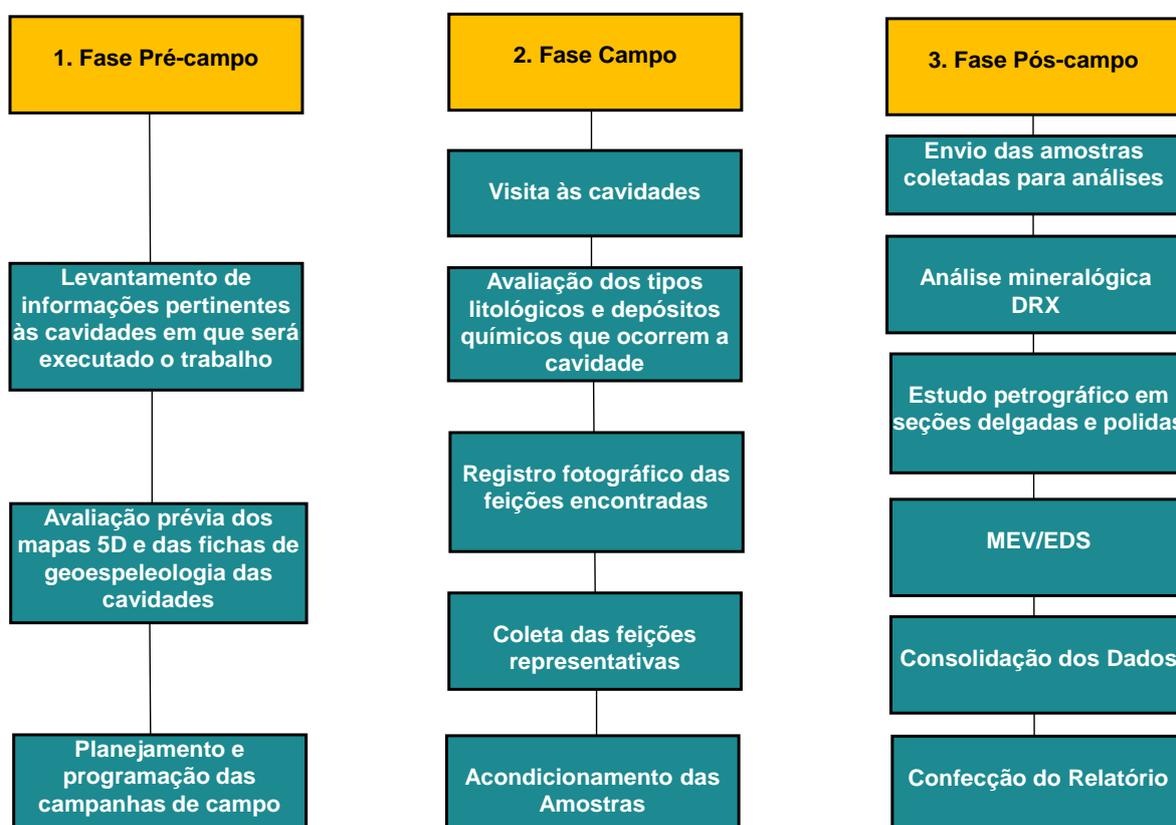


Figura 1: Procedimentos e técnicas empregados nas três fases do resgate de espeleotemas e litotipos em cavidades naturais subterrâneas.

2.2 Fase Campo

Visita às cavidades que serão passíveis de resgate. Em cada cavidade, são avaliados os tipos litológicos constituintes da cavidade e os tipos de depósitos químicos (espeleotemas) presentes. Posteriormente, procede-se o registro fotográfico geral do interior da cavidade e dos pontos onde serão coletados os espeleotemas e litotipos. Os critérios de coleta são essencialmente: diferentes colorações, texturas e feições representativas que possam caracterizar fielmente as cavidades. Após a seleção dos locais que serão amostrados dentro da cavidade, as amostras são tomadas com o auxílio de martelo de geólogo, talhadeira e/ou espátulas (figura 2). Tão logo coletadas, as amostras são envolvidas em papel absorvente, acondicionadas em sacos plásticos e devidamente identificadas (figura 3). A quantidade mínima amostrada de fragmentos de espeleotemas e amostras de rocha é em torno de 200 gramas. Posteriormente a coleta, é realizado o registro das quantidades de amostras em planilha específica e identificado o local da coleta dentro da cavidade (se teto ou parede) na planta 5D da cavidade. Sempre que possível, evita-se a coleta no piso da cavidade devido à dinâmica dos fluxos hídricos que porventura, podem ocorrer nas cavidades. Uma parte representativa do material coletado também é enviada para a Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, onde será catalogada e destinada a compor coleções científicas.



Figura 2: Coleta de amostras na cavidade.

2.3 Fase Pós-campo

Nesta fase é realizado o envio das amostras para os laboratórios e instituições para preparação e análise do material coletado. Atualmente, são utilizadas as seguintes técnicas para a caracterização do material;

- Difração de Raios X (DRX): visando a caracterização mineralógica de rochas e espeleotemas, utilizou-se método do pó por meio do difratômetro modelo Empyrean, PANalytical, do laboratório de raios-X da Universidade Federal do Pará (UFPA) ,tubos de raios X cerâmico e anodo de cobre, filtro $K\beta$ de Fe, com voltagem de 40 kV, corrente de 40 mA, tamanho do passo $0,02^\circ$ em 2θ , varredura de 5° a 75° em 2θ , fenda divergente $1/4^\circ$ e anti-espalhamento $1/2^\circ$, máscara 10mm e tempo/passos de 70,125 s;
- Estudo Petrográfico: visando a caracterização microscópica das rochas e espeleotemas, utilizou-se o microscópio óptico da marca LEICA, modelo DM2700 P do laboratório da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA);



Figura 3: Equipe de colaboradores realizando embalagem e identificação das amostras de espeleotemas e rochas.

- Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): técnica utilizada visando a compreensão das relações texturais e morfologias de minerais e materiais. Utilizou a combinação da microscopia eletrônica de Varredura (MEV) com a análise química qualitativa pontual por Espectroscopia de Dispersão de Energia (EDS). O equipamento utilizado foi o MEV modelo LEO-1430, sob condições de análises de Elétrons Retro-Espalhados (ERE) e Elétrons Secundários (ES), corrente de feixe de elétrons = $90\mu A$, voltagem de aceleração constante 20 kv, distância de trabalho = 15mm e tempo de contagem para aquisição de elementos = 30s do laboratório da Universidade Federal do Pará (UFPA). Finalizando esta fase os dados são consolidados e integrados em relatório técnico específico e reportados anualmente no RADA (Relatório de Avaliação de Desempenho Ambiental) ao órgão licenciador.

3. DISCUSSÃO E RESULTADOS

Como estudo de caso, serão apresentados os resultados dos dados de campo e análises de laboratório realizadas nas amostras coletadas na cavidade N4WS-0020.

Esta cavidade situava-se no entorno da mina de N4WS (figura 4) e foi autorizada para supressão no Parecer_02001.004419/2014-60 pelo órgão licenciador.

Ocorria em borda do platô, com aproximadamente 20 m de largura por 2 m de altura (figura 5), 10 m de projeção horizontal, 1771,1 m² de área, 703,2 m³ de volume e 4 m de desnível. Desenvolveu-se em formação laterítica mostrando ao longo de sua extensão porções centimétricas de formação ferrífera preservando o acamamento original. Além disso, ocorriam bolsões

centimétricos de material avermelhado, friável, por vezes, argiloso.

Foi coletado um total de 5 amostras nesta cavidade. A localização dos pontos de coleta dentro da cavidade e a descrição sucinta das amostras podem ser verificadas na figura 6 e tabela 1 respectivamente.

A crosta laterítica mostra aspecto conglomerático a brechoide e é constituída por clastos mal selecionados, subarredondados de laterita ferruginosa e, localmente de saprólito de formação ferrífera mostrando acamamento reliquiar, envolvidos por matriz siltico-argilosa, localmente friável (figura 7). Mineralogicamente, esta crosta apresenta gibbsita (Al(OH)₃), goethita ((Fe)(OOH)), hematita (Fe₂O₃) e magnetita (Fe₃O₄), conforme pode ser confirmado na figura 8.



Figura 4: Localização da cavidade N4WS-0020.



Figura 5: Visão geral da entrada da cavidade N4WS-0020.

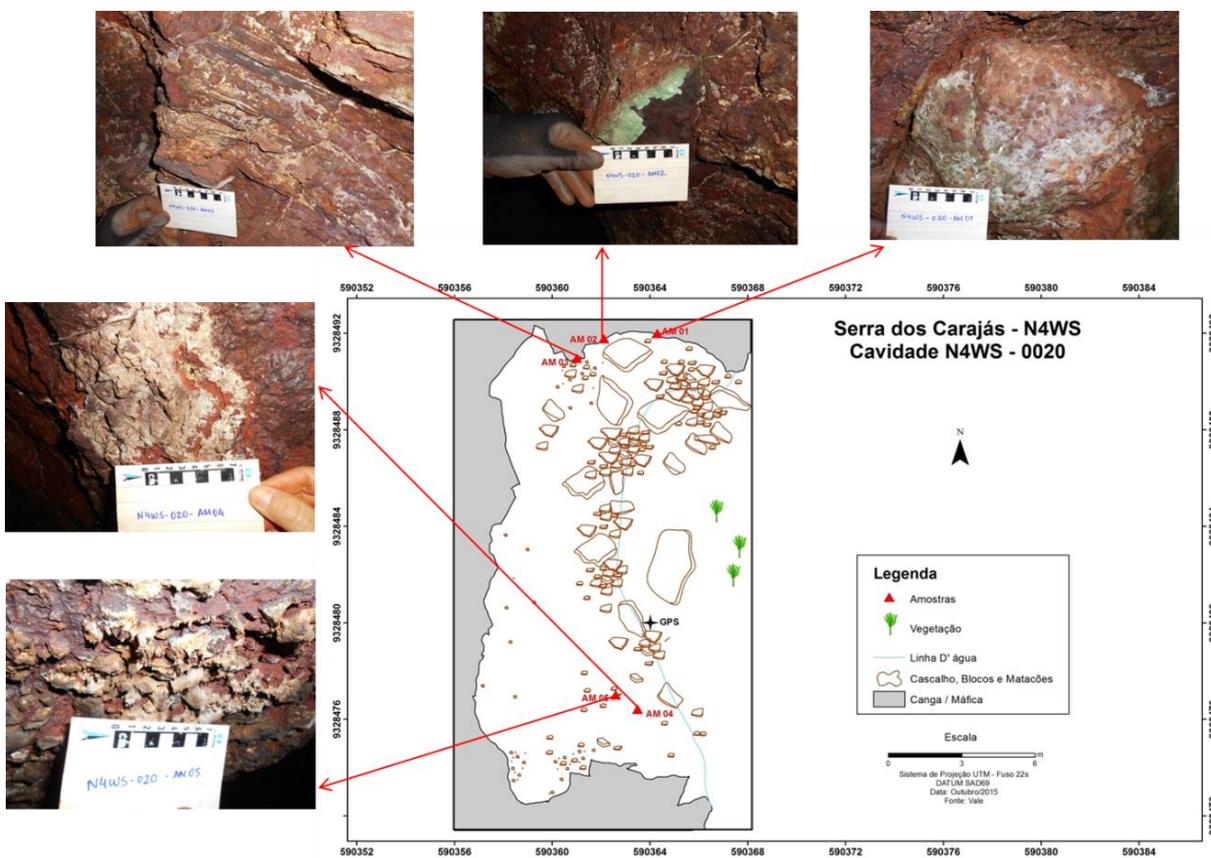


Figura 6: Localização dos pontos de coleta da cavidade N4WS-0020.

Tabela 1: Descrição sucinta das amostras coletadas na cavidade N4WS-0020.

Área	Cavidade	Amostra	Data da coleta	Tipo de Amostra	Litotipo	Local Amostrado na cavidade
N4WS	N4WS-0020	AM-01	15/12/2014	Crosta laterítica/crosta esverdeada	crosta laterítica	teto
N4WS	N4WS-0020	AM-02	15/12/2014	crosta esverdeada	crosta laterítica	parede
N4WS	N4WS-0020	AM-03	15/12/2014	rocha	saprólito de formação ferrífera	parede
N4WS	N4WS-0020	AM-04	15/12/2014	crosta esbranquiçada	crosta laterítica	teto
N4WS	N4WS-0020	AM-05	15/12/2014	coraloides	crosta laterítica	teto

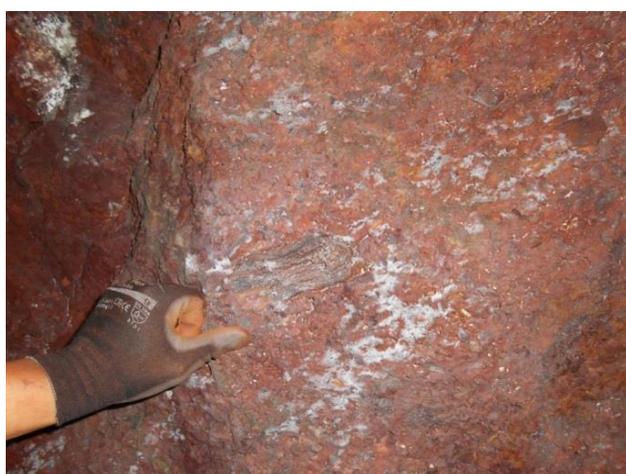


Figura 7: Crosta laterítica mostrando aspecto brechoide. Notar fragmento de saprólito de FFB mostrando ainda o acamamento reliquiar da rocha-matriz.

Ao microscópio, a crosta laterítica apresenta textura pisolítica a oolítica, onde pisólitos e fragmentos milimétricos a centimétricos ocorrem envolvidos por matriz constituída por oxi-hidróxidos de ferro (figuras 9A e 9B). Os pisólitos, em sua maioria são compostos por oxi-hidróxidos de ferro apresentando múltiplos córtex goethíticos concêntricos (figuras 9A e 9C). Os fragmentos, igualmente são compostos por oxi-hidróxidos de ferro (figura 9B). Localmente ocorrem também fragmentos de saprólitos de jaspelito dispersos em meio a matriz ferruginosa (figura 9D) e cimento de gibbsita mesocristalina mostrando maclamento polissintético característico (figura 9B), precipitado nos poros da rocha.

Os espeleotemas identificados nesta cavidade foram crostas esverdeadas (figuras 10A e 10B) e brancas (figura 10C) que ocorrem sob a forma de revestimentos parciais de parede e teto bem como coraloides centimétricos que ocorrem no teto (figura 10D).

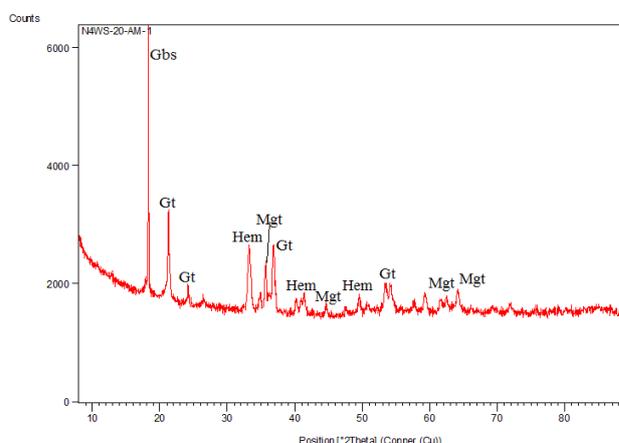


Figura 8: Composição mineralógica da crosta laterítica, composta por gibbsita-Gbs ($\text{Al}(\text{OH})_3$), goethita –Gt ($(\text{Fe})(\text{OOH})$), magnetita –Mgt (Fe_3O_4) e hematita –Hem (Fe_2O_3).

A crosta esverdeada constitui-se mineralogicamente de alunita ($\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$), goethita ($(\text{Fe}, \text{Al})\text{O}(\text{OH})$), hematita (Fe_2O_3), aluminita ($(\text{Al}_2\text{SO}_4(\text{OH})_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$) e zeolitas: Zeolita-Zeo (SiO_2) e zeolita RUB-18 ($(\text{Si}_{32}\text{O}_{56}(\text{OH})_{16}(\text{CH}_3\text{COOH})_{4,7})$), conforme pode ser visto na figura 11.

Quimicamente, a crosta esverdeada é composta por um material constituído de Fe, Al, Si e S, o que é reforçado pela composição mineralógica já apresentada e que pode ser verificado na figura 12.

A crosta esbranquiçada ocorre sob as formas de revestimento e manchas esbranquiçadas a amareladas na parede e teto da cavidade. A análise por difração de raios-X identificou a seguinte assembléia mineralógica: goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$), hematita (Fe_2O_3) e ilmenita (FeTiO_3) (figura 13). Entretanto, as análises por MEV-EDS, identificaram

um material rico em Fe, Al e Si, o alumínio possivelmente pode estar associado à gibbsita e a caulinita, as quais, não foram identificadas pela DRX e o silício pode também estar relacionado a caulinita (figura 14).

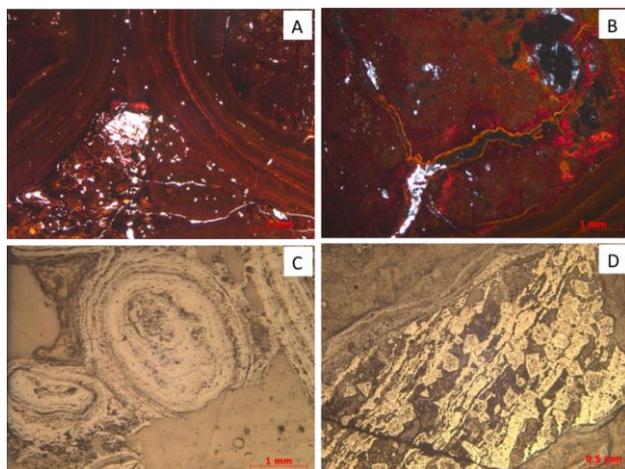


Figura 9: Feições da crosta laterítica. A- Pisólitos e matriz composta por oxi-hidróxidos de ferro. B- Fragmentos compostos por oxi-hidróxidos de ferro e cimento gibbsítico nos poros e fraturas da rocha. C- Detalhe dos pisólitos e seus múltiplos cortex. D- Fragmento de pisólito de jaspelito disperso em meio a matriz ferruginosa.

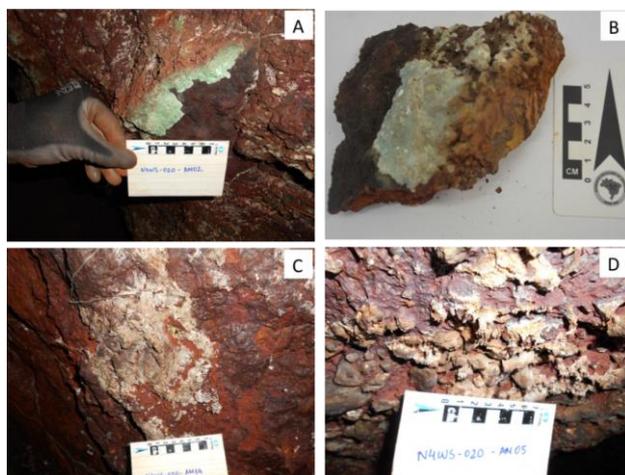


Figura 10: Espeleotemas da cavidade N4WS-0020. A e B – Crostas esverdeadas que ocorrem sob a forma de revestimento de parede. C- Crosta branca revestindo parte da parede da cavidade. D- Coraloídes milimétricos cinza-esbranquiçados que ocorrem no teto da cavidade.

Os coraloídes ocorrem comumente no teto da cavidade e possuem coloração acinzentada e apresentaram-se com dimensões centimétricas e aspecto pontiagudo. A análise por DRX revelou a seguinte assembleia mineralógica: goethita

(FeO(OH)), hematita (Fe₂O₃) e ilmenita (FeTiO₃) (figura 15).

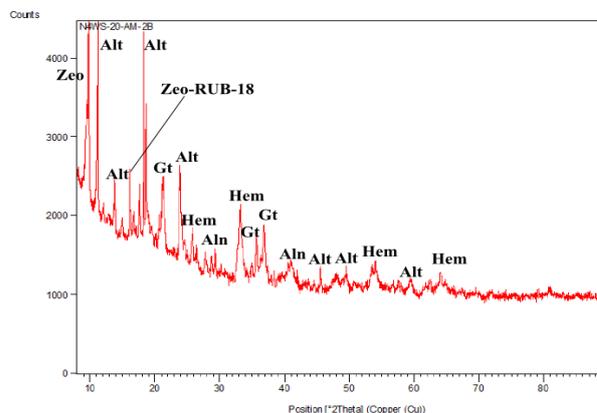


Figura 11: Composição mineralógica da crosta esverdeada composta por alunita-Aln (KAl₃(SO₄)₂(OH)₆), goethita-Gt ((Fe, Al)O(OH)), hematita-Hem (Fe₂O₃), alunita-Alt ((Al₂SO₄(OH)₄.7H₂O) e zeolitas: Zeolitas-Zeo (SiO₂) e zeolita RUB-18 ((Si₃₂O₅₆(OH)₁₆(CH₃COOH)_{4,7}).

As feições texturais bem como a assembleia mineralógica identificadas na crosta laterítica, tipo litológico constituinte da cavidade, remetem a uma crosta possivelmente oriunda do intemperismo das rochas vulcânicas, provavelmente das formações Parauapebas e/ou Igarapé Cigarra que ocorrem na região.

A ocorrência de zeolitas nas crostas esbranquiçadas deve estar associada a eventos hidrotermais que afetaram preteritamente as rochas vulcânicas que originaram a crosta laterítica atual. A presença dos sulfatos por sua vez, pode estar relacionada a interações que ocorrem no meio laterítico com o guano de morcegos, conforme já foi apontado por outros autores (MAURITY & KOTSCHOUBEY, 1995; ALBUQUERQUE et. al., 2015).

Os altos teores de Al identificados nas crostas esbranquiçadas e coraloídes também reforçam a proposição de que a crosta laterítica pode ter sido originada a partir das rochas vulcânicas que ocorrem na região.

Ao MEV, os coraloídes mostraram aspecto dendrítico e ramificado. As análises químicas semiquantitativas de EDS realizadas em dois pontos no coraloide revelaram alto teor de silício (figura 16). Da mesma forma que na crosta esbranquiçada os altos teores de silício podem estar relacionados a caulinita, a qual não foi identificada na difração de raios-X.

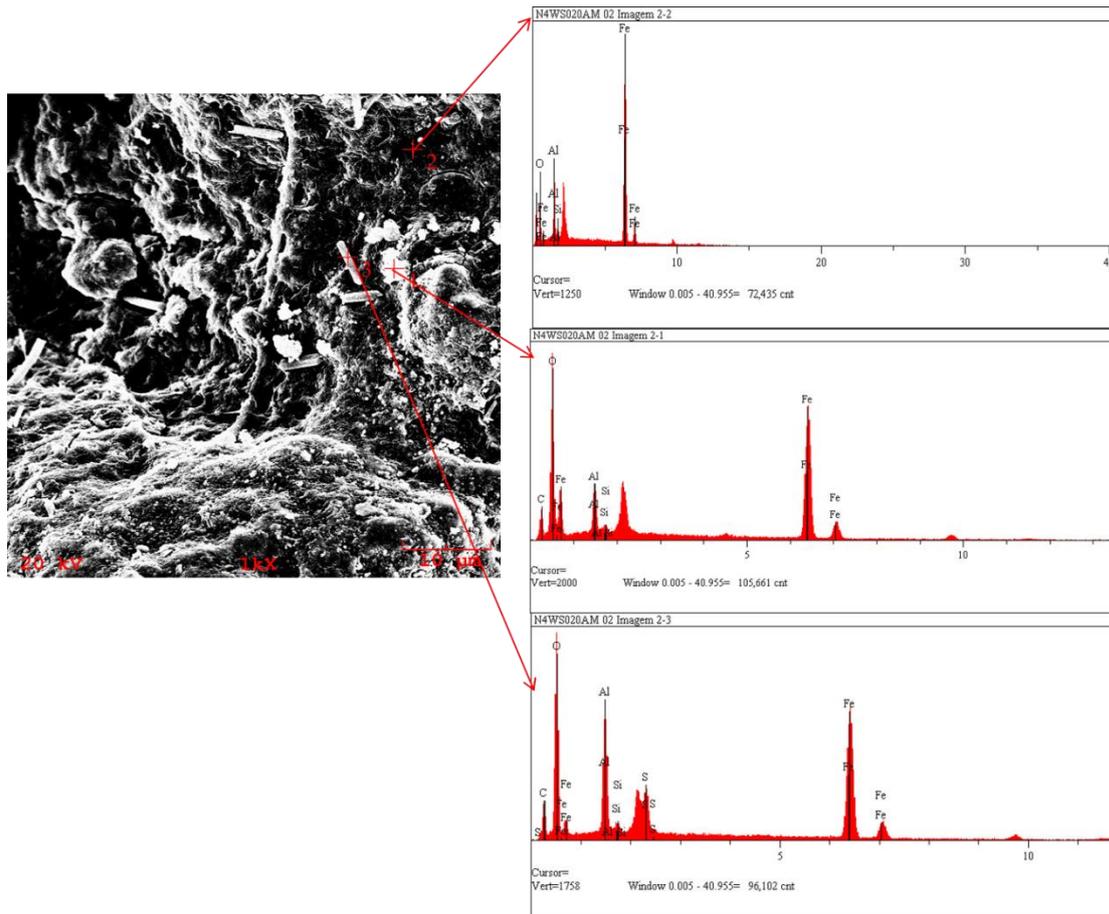


Figura 12: Composição química semi-quantitativa dos pontos analisados no espleotema crosta esverdeada.

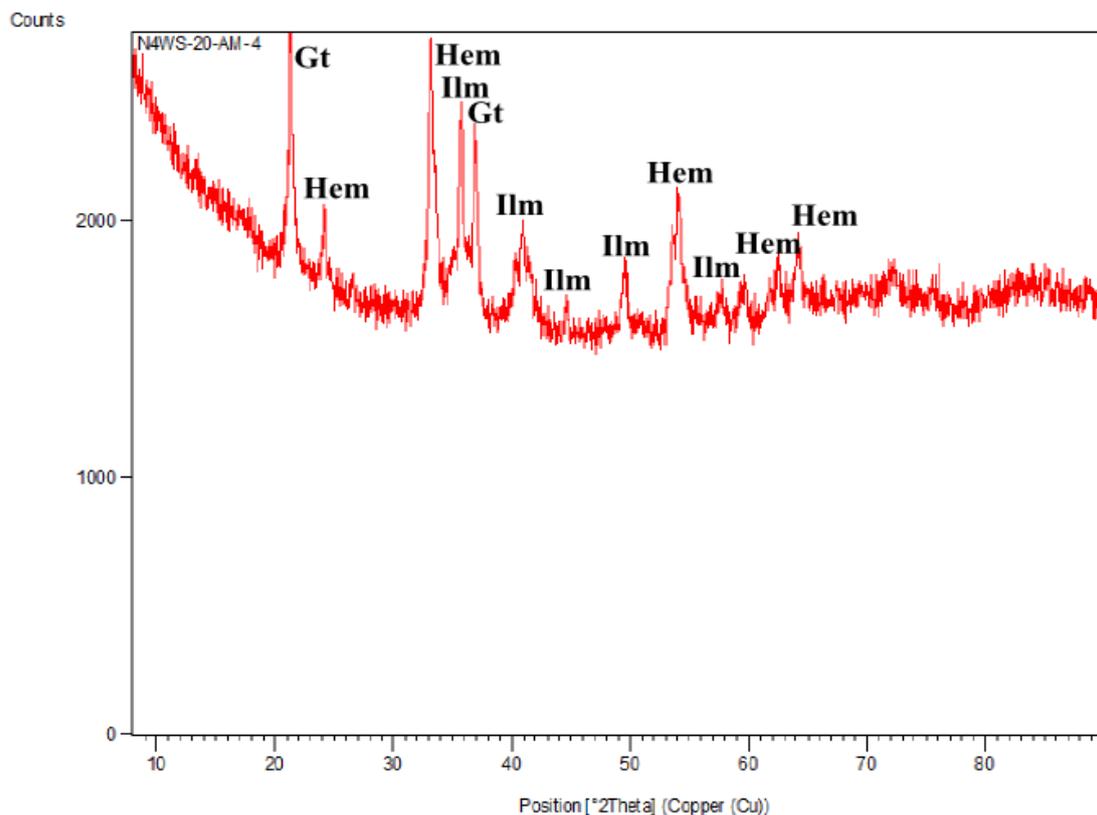


Figura 13: Composição mineralógica do espleotema crosta esbranquiçada. Goethita-Gt ($\text{FeO}(\text{OH})$), hematita-Hem (Fe_2O_3) e ilmenita-Ilm (FeTiO_3).

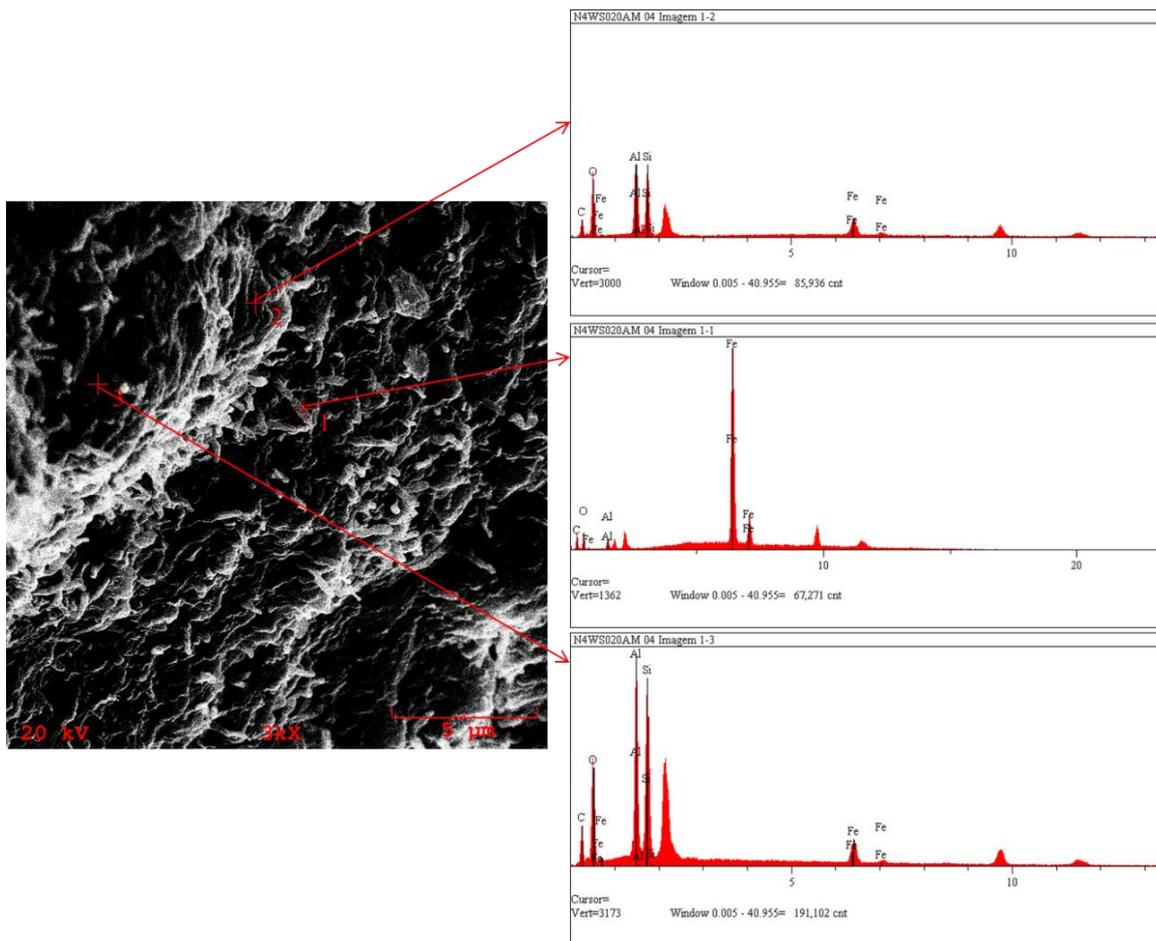


Figura 14: Composição química semi-quantitativa dos pontos analisados no espeleotema crosta esbranquiçada. Notar os altos teores de alumínio e silício.

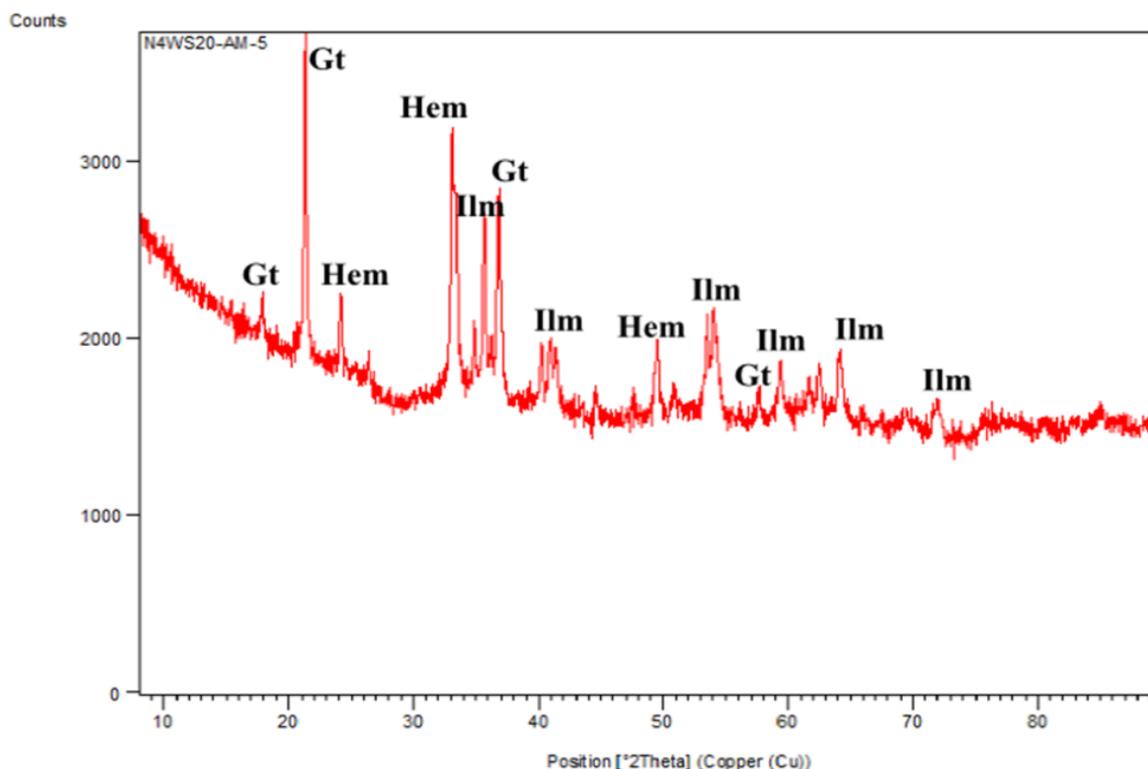


Figura 15: Composição mineralógica do espeleotema coraloide. Goethita-Gt ($\text{FeO}(\text{OH})$), hematita- Hem (Fe_2O_3) e ilmenita -Ilm (FeTiO_3).

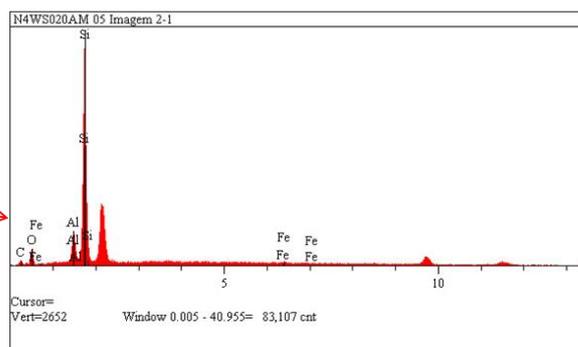
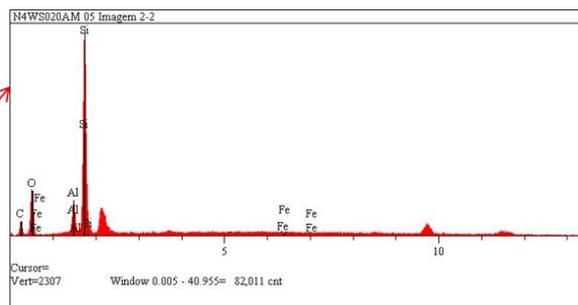
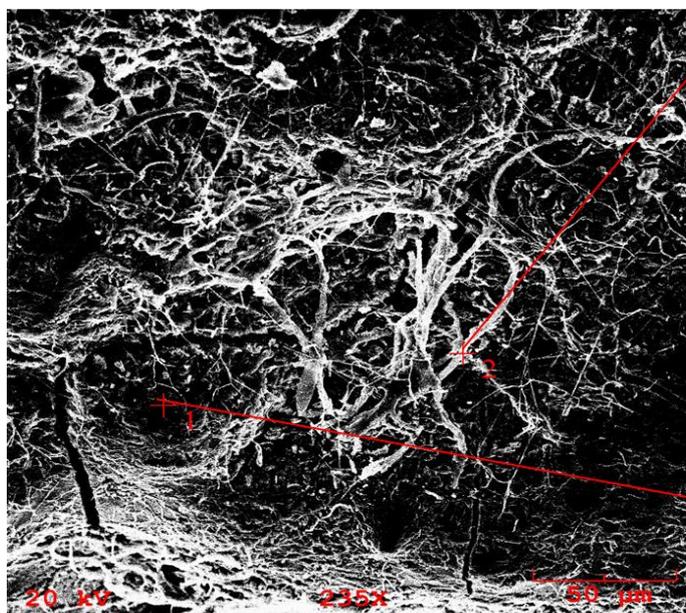


Figura 16: Composição química semi-quantitativa dos pontos analisados no espleotema coraloide. Notar os altos teores de silício.

4. CONCLUSÕES

Os procedimentos e técnicas adotados na etapa de resgate de espeleotemas e litotipos até o presente momento mostraram-se suficientes no que diz respeito a caracterização dos materiais amostrados. Os resultados alcançados têm demonstrado eficácia no atendimento à legislação atual pertinente e contribuído significativamente para a evolução do conhecimento espeleológico da Amazônia Oriental.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a gerência de meio ambiente ferrosos norte da Vale S.A, especificamente a sra. Marlene Costa por todo o apoio dispensado e oportunidade de divulgação do trabalho realizado.

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. Disponível em: www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe_615-622.pdf.
- IBAMA. **Instrução Normativa nº 02**. Diário Oficial 20 de agosto de 2009. 2009.
- MACAMBIRA J.B.; RAMOS J.F.F.; ASSIS J.F.P.; FIGUEIRAS A.J.M.1990. **Projeto Serra Norte, Projeto Pojuca: relatório final**. Belém, UFPA, DOCEGEO, SEPLAN, DNPM. 150 p. Inédito.
- MACAMBIRA J.B. 2003. **O ambiente deposicional da Formação Carajás e uma proposta de modelo evolutivo para a Bacia Grão Pará**. 217 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
- 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 Emilio Goeldi**. Série Ciências da Terra 7: 331-362.
- VALE S.A. **Programa de Gestão Espeleológica (Terceira Revisão)**. Plano Básico Ambiental Consolidado Complexo Minerador Ferro Carajás. Junho de 2015.