



## ANAIS do 33º Congresso Brasileiro de Espeleologia

Eldorado SP, 15-19 de julho de 2015 - ISSN 2178-2113 (online)



O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 33º Congresso Brasileiro de Espeleologia disponível gratuitamente em [www.cavernas.org.br/33cbeanais.asp](http://www.cavernas.org.br/33cbeanais.asp)

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

PINHEIRO, T.G.C.; CONÇALVES, D.F.; SANTOS JÚNIOR, A.E.A.. Caracterização petrográfica de espeleotemas em formações ferríferas/lateríticas das cavidades N4WS-067 e S11D-83 da região de Carajás. In: RASTEIRO, M.A.; SALLUN FILHO, W. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 33, 2015. Eldorado. *Anais...* Campinas: SBE, 2015. p.445-453. Disponível em: <[http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe\\_445-453.pdf](http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe_445-453.pdf)>. Acesso em: *data do acesso*.

Esta é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia.  
Consulte outras obras disponíveis em [www.cavernas.org.br](http://www.cavernas.org.br)

## CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DE ESPELEOTEMAS EM FORMAÇÕES FERRÍFERAS/LATERÍTICAS DAS CAVIDADES N4WS-067 E S11D-83 DA REGIÃO DE CARAJÁS

*SPELEOTHEMS PETROGRAPHIC CHARACTERIZATION IN FORMATIONS BANDED IRON /  
LATERITIC OF N4WS-067 AND S11D-83 CAVITIES FROM CARAJÁS REGION*

**Thalysson Guilherme Chaves PINHEIRO (1); Daniele Freitas GONÇALVES (2);  
Antônio Emídio de Araújo SANTOS JÚNIOR (3)**

(1) Geólogo, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA), Marabá PA.

(2) Geóloga, Msc. Gestora do Projeto PROCAV; Vale S.A.

(3) Geólogo, Professor Dr. Adjunto da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA),  
Marabá PA.

Contatos: [thalysson\\_05@hotmail.com](mailto:thalysson_05@hotmail.com); [daniele.freitas.goncalves@vale.com](mailto:daniele.freitas.goncalves@vale.com); [emidiosantos@unifesspa.edu.br](mailto:emidiosantos@unifesspa.edu.br).

### Resumo

Na região de Carajás, sudeste do estado do Pará, ocorrem extensos depósitos de Formação Ferrífera Bandada (FFB) pertencentes a Formação Carajás (Grupo Grão-Pará - Arqueano), recobertos por Canga Laterítica (CL). Na interface FFB/CL, ocorrem inúmeras cavidades naturais/cavernas que são abrigo para abundantes colônias de morcegos. Tais cavidades exibem em seu interior, diversas formas de espeleotemas. O presente trabalho consistiu em análises mineralógica e petrográfica de espeleotemas utilizando Difração de Raios – X (DRX) e Microscopia Óptica (MO) em duas cavidades da região de Carajás, N4WS-067 e N4WS-83, objetivando o entendimento do processo de interação entre a rocha hospedeira e a gênese dos espeleotemas. Foram identificadas diversas formas de espeleotemas: estalactite, parafuso, esferas, dedo, botrioides e pingente, representados, em sua grande maioria, por minerais fosfáticos: esfeniscidita, leucofosfita, fosfosiderita, nitromagnesita, hematita, maghemita; eosforita, gibbsita, galenita magnésiana, brushita, monetita, gipso e quartzo, os quais ocorrem encrustados sobre canga laterítica, formando um cimento fosfático rugoso, intercalado, criptocristalinos, espeleotemas microbandados. A origem destes espeleotemas é atribuída a ação intempérica sobre o guano dos morcegos.

**Palavras-Chave:** Cavidade, Espeleotema, Fosfato.

### Abstract

*In the Carajás region, Southeast of Pará state, there are extensive deposits of banded iron formation (BIF) belonging Carajás Formation (Grand Pará Group- Archean), covered by lateritic yoke. In interface between banded iron formation and lateritic yoke, several natural cavities / caves are home to abundant colony of bats. Such cavities exhibit inside, various forms of speleothems. This work consisted of mineralogical and petrographic analyzes of speleothems using ray diffraction - (XRD) and optical microscopy (OM) in two caves in the Carajás region, N4WS-067 and N4WS-83, aimed to understanding process of interaction between host rock and genesis of speleothems. Various forms of speleothems were identified: stalactite, screw, ball, finger, botrioidal and pendant represented, for the most part, by mineral phosphatic: sfeniscidite, leucophosphite, fosfosiderite, nitromagnesite, hematite, maghemite; eosforite, gibbsite, magnesian galenite, brushite, monetite, gypsum and quartz, which occur on crusted lateritic yoke, forming a phosphatic cement rough, interspersed, cryptocrystalline, micro banded speleothems. The origin of these speleothems is attributed to weathering action on the guano of bats.*

**Key-words:** Cave. Speleothem. Phosphate.

### 1. INTRODUÇÃO

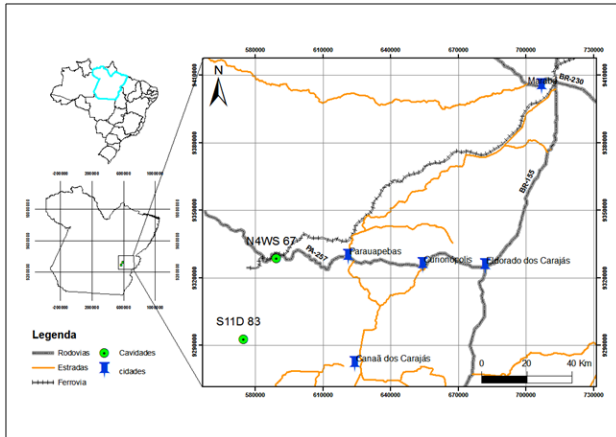
O Brasil é detentor de uma das maiores reservas de minério de ferro do mundo situado na Serra dos Carajás - PA no Quadrilátero Ferrífero - MG, Corumbá - MS e sul da Serra do Espinhaço - MG, contendo grande potencial espeleológico. Os

estudos espeleológicos nestes depósitos atualmente são pouco expressivos revelando a necessidade aprofundamento e entendimento com relação a classificação, gênese e evolução das cavidades.

As cavidades estudadas estão inseridas na Unidade Espeleológica de Carajás, Serra Norte

(N4WS 067) e Serra Sul (S11D 83) sudeste do Estado do Pará (Figura 01). A cavidade N4WS-067 é constituída por formação ferrífera bandada e canga detrítica, pertencente à Formação Carajás. A cavidade S11D-83 é composta por canga de minério de ferro relacionada à Formação Igarapé Cigarra.

### MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



**Figura 1.** Mapa de localização das cavidades N4WS 067 e S11D 83 com as principais vias de acesso

## 2. MÉTODOS

A petrografia dos espeleotemas consistiu na descrição macroscópica de 12 amostras, seguindo parâmetros como cor, textura, forma, tamanho e disposição na rocha hospedeira. As feições microscópicas foram observadas com auxílio do microscópio petrográfico de luz transmitida, no laboratório de mineralogia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA), no qual foram analisados 6 amostras correspondentes das cavidades N4WS-067 e S11D-83.

Foi utilizado para a caracterização mineralógica de 14 amostras (Tabela 1), através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios - X, de modelo X'Pert Pro MPD (PW 3040/60) PANalytical, com goniômetro PW3050/60(θ-θ) e com tubo de raios-X cerâmico de ânodo de Cu ( $K\alpha_1 = 1,540598 \text{ \AA}$ ) modelo PW3373/00, foco fino longo, filtro  $K\beta$  de Ni, detector X'Celerator RTMS (*Real Time Multiple Scanning*) no modo *scanning* e com *active length* 2,122°. Utilizou-se as seguintes condições

instrumentais: varredura  $5^\circ$  a  $75^\circ 20'$ , 40 kV, 30 mA, passo  $0,02^\circ$  em  $2\theta$  e tempo/passo de 20 s, fenda fixa  $1/4^\circ$  e anti-espalhamento  $1/2^\circ$ , máscara 10 mm, movimento da amostra "spinning", com 1 rps.

## 3. CONTEXTO GEOLOGICO REGIONAL

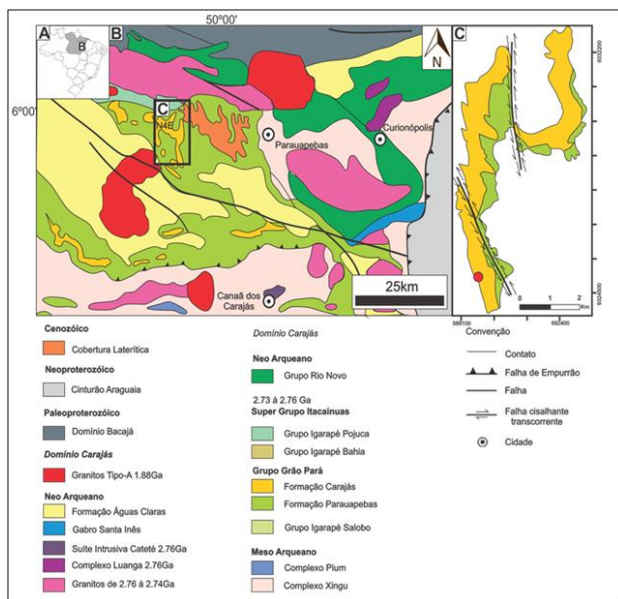
As cavidades, N4WS-067 e S11D-83 inserem-se na Formação Carajás e Formação Igarapé Cigarra (Grupo Grão Pará) pertencentes a Bacia Carajás. Estas unidades foram depositadas sobre os derrames basálticos da Formação Parauapebas.

A Bacia Carajás apresenta como embasamento as rochas dos Complexos Pium e Xingu, as quais são sobrepostas pelas formações Parauapebas, Carajás, Igarapé Cigarra, Igarapé Boa Sorte, pertencentes ao Grupo Grão Pará (MACAMBIRA, 2003).

A Formação Carajás ( $2740 \pm 8$  e  $2757 \pm 18$  Ma), corresponde aos depósitos de jaspilitos e minério de ferro associados, interceptados por diques e *sills* de rocha básica. Os jaspilitos são caracterizados por bandamento composicional alternado de lâminas milimétricas a centimétricas de óxidos de ferro e jaspé e/ou *chert*, com carbonatos subordinados, além do minério de ferro associado (ARAUJO & MAIA, 1991; TRENDALL *et al.*, 1998; MACAMBIRA *et al.*, 1996; KRYMSKY *et al.*, 2002). O topo da Formação Carajás é marcado por cobertura laterítica ou canga laterítica oriunda de processos de alteração *in situ* exibindo feições pseudocársticas relacionadas a formação de cavernas e espeleotemas (KOTSCHOUBEY & LEMOS, 1985; SOUZA & KOTSCHOUBEY, 1991; SOUZA, 1993; MAURITY & KOTSCHOUBEY, 1995). A Formação Igarapé Cigarra (Macambira *et al.*, 1990) encontra-se concordantemente sobre a Formação Carajás, e é formada por basaltos bastante alterados hidrotermalmente, quartzo-wackes e quartzo-arenitos. Essa formação parece representar o final das manifestações vulcânicas e sedimentação química, marcando o início da contribuição sedimentar clástica ao Grupo Grão Pará (Macambira, 2003) (Figura 02).

**Tabela 1.** Relação da mineralogia identificada através da DRX nos espeleotemas N4WS-067 e S11D-83.

ÁREA	CAVIDADE	AMOSTRA	TIPO	MINERALOGIA
		AM-01	Forma em Parafuso	<b>Esfeniscidita</b> , Nitromagnesita
		AM-02	Forma em Dedo	<b>Leucofosfita</b> , <b>Esfeniscidita</b> , Gibbsita, Quartzo
<b>N4WS</b>	<b>N4WS-67</b>	AM-B	Forma em Parafuso	<b>Esfeniscidita</b> , Nitromagnesita, Hematita
		AM-C	Forma Esferoidal	<b>Esfeniscidita</b> , <b>Leucofosfita</b> , <b>Eosforita</b>
		AM-D	Forma em Estalactite	<b>Esfeniscidita</b> , <b>Fosfosiderita</b> , <b>Leucofosfita</b>
		AM-E	Forma em Parafuso	<b>Leucofosfita</b> , <b>Esfeniscidita</b>
		AM-01	Revestimento Cristalino marrom-escuro	<b>Esfeniscidita</b> , Quartzo
		AM-02	Coralóide esbranquiçado	<b>Brushita</b> , <b>Monetita</b> , Gipso
		AM-03	Revestimento botrioidais cristalino	Gipso, Quartzo, Silicalita cristalina
<b>S11D</b>	<b>S11D-83</b>	AM-04	Crosta amarelada	Hematita, Gohetita, Maghemita
		AM-05	Escorrimento	<b>Esfeniscidita</b> , <b>Leucofosfita</b> , Gipso, Quartzo.
		AM-06	Pigente	<b>Esfeniscidita</b> , Gipso
		AM-07	Crosta amarelada impregnada em canga	<b>Fluorapatita</b> , Gohetita, Hematita, Maghemita
		AM-6N	Guano seco	<b>Leucofosfita</b> , Hematita, Maghemita



**Figura 2.** A - Mapa do Brasil; B – Mapa geológico do Domínio Carajás (Modificado de Vasquez et al.,2008). C – Mapa Geológico do Platô N4.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Caverna N4WS-067

A caverna apresenta padrão esponjiforme, com maior desenvolvimento no eixo WSW-ENE e prolongamentos transversais com eixo SSW-NNW (Figura 03), sendo caracterizados parede, teto e piso irregulares. A parede é representada por formação Ferrífera Bandada, ocorrendo na entrada da caverna e, localmente, no interior. A canga detrítica é caracterizada por clastos sub angulosos, de tamanho predominantemente seixo, composição jaspelítica, cimentadas por óxido-hidróxido de ferro, os quais constituem o teto da caverna. O piso é caracterizado por marmitas de profundidade superior a dois metros, com aspecto ruiforme, com sedimentos argilosos vermelhos com matacões e seixos. (Figura 6). Juntas subverticais e sub-horizontais irregulares foram observadas.

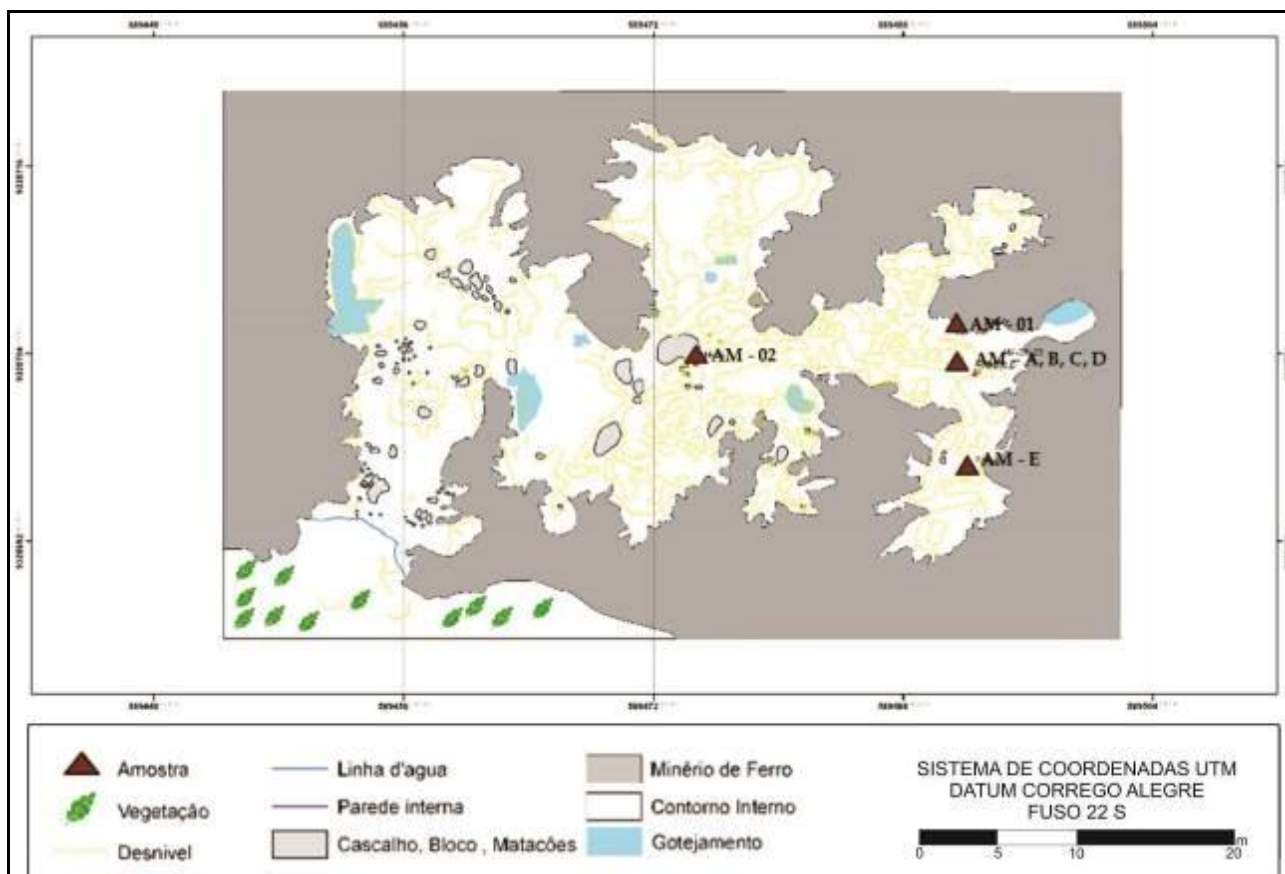


Figura 3. Planta da cavidade N4WS-067 com seus respectivos pontos de amostragem.

#### 4.1.1 Análise de Difração de Raios-X (DRX) dos espeleotemas da cavidade N4WS-067

Os espeleomas identificados na cavidade N4WS-067 desenvolvem-se no teto parede e piso e apresentam formas variadas que foram identificadas como: parafuso, dedo, esfera e estalactite associadamente. Foram realizadas análises de DRX para identificar sua mineralogia. A), esfera – Minerais de esfensicidita  $(\text{NH}_4)(\text{Fe}_2(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})(\text{PO}_4)_2)(\text{H}_2\text{O})$  e nitromagnesita  $(\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ . B) parafuso - representado por minerais leucofosfita  $(\text{KFe}_2^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ , esfensicidita  $(\text{NH}_4)(\text{Fe}_2(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})(\text{PO}_4)_2)(\text{H}_2\text{O})$  C) dedo - minerais leucofosfita  $(\text{KFe}_2^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ , esfensicidita  $(\text{NH}_4)(\text{Fe}_2(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})(\text{PO}_4)_2)(\text{H}_2\text{O})$ , gibbsita  $(\text{Al}(\text{OH})_3)$  e quartzo  $(\text{SiO}_2)$ . D) estalactite - representada mineralogicamente por esfensicidita  $(\text{NH}_4, \text{K})(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})_2[\text{OH}][(\text{PO}_4)_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , leucofosfita  $(\text{KFe}_2^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O})$  e fosfosiderita  $(\text{FePO}_4(\text{H}_2\text{O})_2)$ . Todas as formas de espeleotemas apresentam minerais fosfáticos (Figura 04).

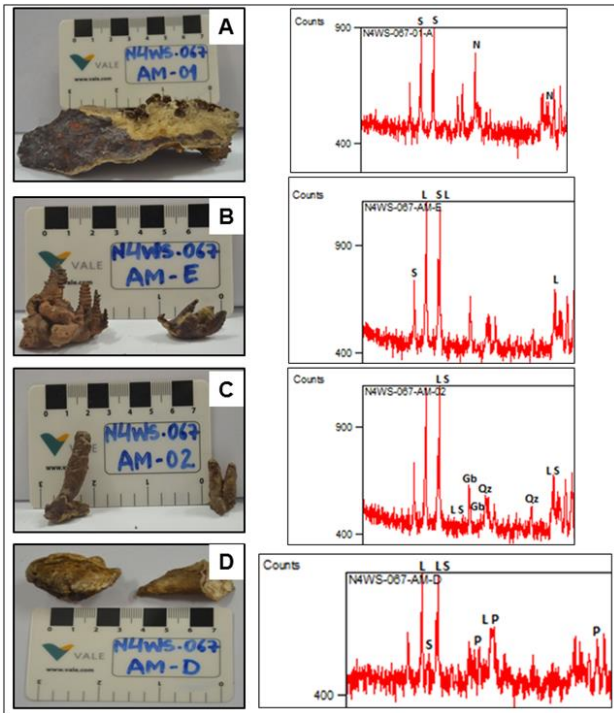
#### 4.1.2 Petrografia

Petrograficamente os espeleotemas fosfáticos ocorrem de forma intracamada ao longo de golfos e reentrâncias, apresentando textura rugosa acinzentada (Figura 5A).

É possível identificar ainda a presença de vazios dentro da porção fosfática, originados possivelmente como produto de dissolução, pois observa-se uma feição característica deste processo, como a presença de bordas de corrosão dentro dos vazios (Figura 5 B).

#### 4.2 Cavidade S11D-83

Localmente, ocorrem brechas contendo fragmentos de jaspe ou máfica alterada e hematita. Grande parte da superfície rochosa está recoberta por depósitos químicos de cor branca amarelada. Localmente a canga é recoberta por uma fina película de aspecto vítreo possivelmente silicosa. É possível visualizar juntas de alívio mais visíveis na entrada, algumas preenchidas por crostas ferruginosas acompanham os eixos. Ocorrem juntas e pequenas fraturas também sobre espeleotemas. Outras juntas são encobertas parcialmente por estes.



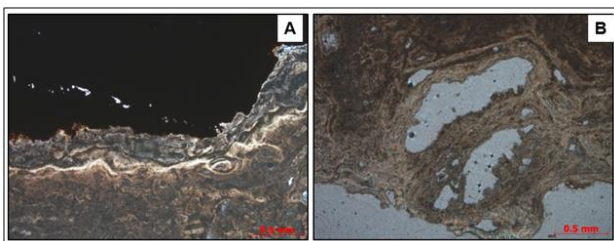
**Figura 4.** Espeleotemas e difratogramas de DRX. A)

Espeleotema na forma em esfera, minerais de esfeniscidita  $(\text{NH}_4)(\text{Fe}_2(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})(\text{PO}_4)_2)(\text{H}_2\text{O})$  e nitromagnesita  $(\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ , (amostra da parede).

B) Espeleotema parafuso representado por minerais leucofosfita  $(\text{KFe}_2^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ , esfeniscidita  $(\text{NH}_4)(\text{Fe}_2(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})(\text{PO}_4)_2)(\text{H}_2\text{O})$  (amostra da parede), C)

Espeleotema dedo minerais leucofosfita  $(\text{KFe}_2^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ , esfeniscidita  $(\text{NH}_4)(\text{Fe}_2(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})(\text{PO}_4)_2)(\text{H}_2\text{O})$ , gibbsita  $(\text{Al}(\text{OH})_3)$  e quartzo  $(\text{SiO}_2)$ . (amostra da parede), D)

Espeleotema Estalactite representada mineralogicamente por esfeniscidita  $(\text{NH}_4)(\text{Fe}_2(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})(\text{PO}_4)_2)(\text{H}_2\text{O})$  leucofosfita  $(\text{KFe}_2^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O})$  e fosfosiderita  $(\text{FePO}_4(\text{H}_2\text{O})_2)$  (teto). Todas as ocorrências de espeleotemas apresentam minerais fosfáticos.



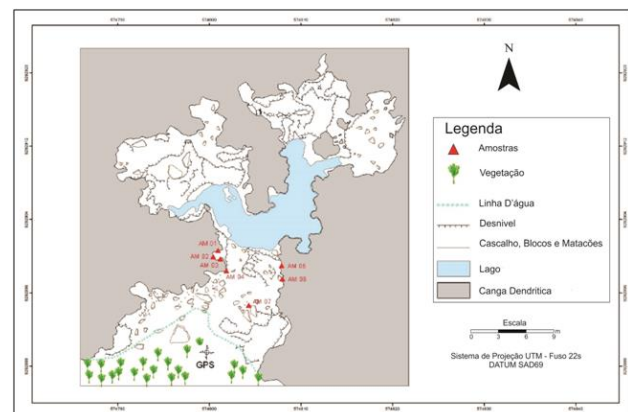
**Figura 5.** Fotomicrografia referente aos espeleotemas N4WS-67-01. A) Interface canga revestimento fosfático. B) Presença de vazios dentro da porção fosfática, produto de dissolução.

Esta cavidade é constituída de dois salões distais. O salão W é bastante úmido com gotejamento pontual e piso úmido em toda sua extensão, contendo colônia de morcegos, surgência temporária ativa ocorre na extremidade SW deste setor. Na zona central da cavidade o piso é mais baixo e represa água. O salão N é

predominantemente seco na parte alta. Há uma surgência temporária ativa durante o mapeamento na extremidade SW deste setor. Na zona central da caverna o piso é mais baixo e represa água, formando um lago. O salão N é predominantemente seco na parte alta, não se observando nenhum gotejamento (Figura 06).

A cavidade possui entrada ampla com cerca de 3,5 m de altura e 15 m de largura. É seguida de um conduto com alinhamento próximo ao N-S que conduz a dois salões na parte mais distal. Próximo à entrada há um outro salão que se desenvolve a NW. Tanto este quanto o salão N possuem piso residual mais elevado. O salão N tem piso recoberto por espeleotemas, enquanto que em NW o piso é ruiforme, marcado por marmitas de diâmetro centimétrico e profundidade superior a 1 m. Há um represamento natural formado por crostas entre a entrada e estes dois salões. Predominam matacões, calhaus e seixos de hematita e canga, além de fragmentos esparsos de espeleotemas. Há guano seco no setor N, no salão W o guano é úmido, ambos abundantes.

Os espeleotemas ocorrem em formas e dimensões diversificadas, sendo comum entre as macroformas estalactites com até 1 m de comprimento, colunas, cortina, crostas e capas estalagmíticas. Algumas estalactites fragmentadas na base demonstram deposição concêntrica. Entre as microformas ocorrem coraloides do tipo rombudo, outros bem arredondados, além de alguns pontudos de morfologia anelar. As dimensões variam de 1 a 4 cm aproximadamente. Grande parte da superfície é recoberta por crostas esbranquiçadas a amarelas, localmente estas crostas estão capeadas por fina película de óxidos de coloração vermelha.



**Figura 6.** Planta da cavidade S11D-83 e os pontos onde foram coletados os espeleotemas.

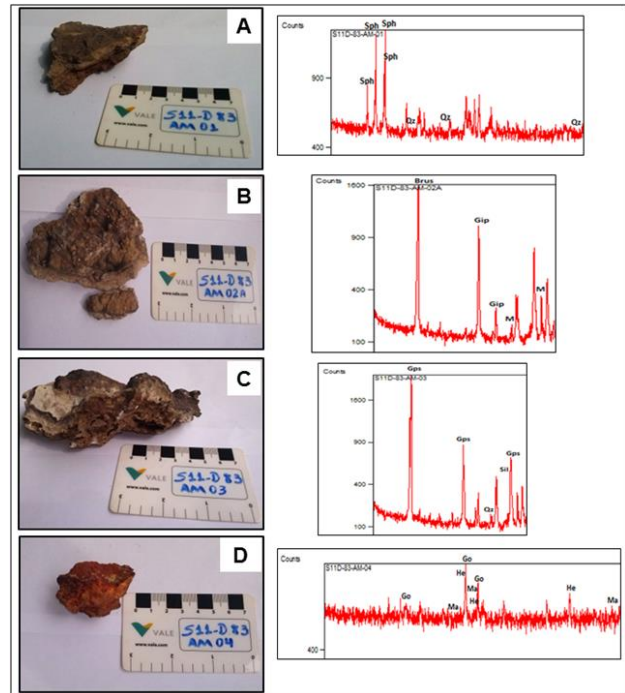
#### 4.2.1 Análise de Difração de Raios-X (DRX) dos espeleotemas da cavidade S11D-83

Os espeleotemas identificados na cavidade S11D-83 são crostas que ocorrem como revestimento cristalino, coraloide, botrioide, escorrimento e pingente. Foram realizadas análise no guano do morcego, além de fragmentos como a crosta amarelada impregnada em canga. Em DRX foram identificados os seguintes minerais em seus respectivos espeleotemas; A) revestimento cristalino – esfenicidita  $(\text{NH}_4)(\text{Fe}_2(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})(\text{PO}_4)_2)(\text{H}_2\text{O})$ , quartzo  $(\text{SiO}_2)$ . B) coraloide - brushita  $(\text{CaPO}_3(\text{OH})_2\text{H}_2\text{O})$ , Gipso  $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ , monetita  $(\text{CaPO}_3(\text{OH}))$ . C) botrioide – gipso  $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ , quartzo  $(\text{SiO}_2)$ , silvialita  $(\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{SO}_4))$ . D) crosta amarelada – goethita  $(\text{Fe} + 3\text{O}(\text{OH}))$ , hematita  $(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ , maghemita  $(\text{Fe}_{21.16}\text{O}_{31.92})$ . E) escorrimento – leucofosfita  $(\text{KFe}_2^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ , esfenicidita  $(\text{NH}_4)(\text{Fe}_2(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})(\text{PO}_4)_2)(\text{H}_2\text{O})$ , quartzo  $(\text{SiO}_2)$ . F) pingente – esfenicidita  $(\text{NH}_4)(\text{Fe}_2(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})(\text{PO}_4)_2)(\text{H}_2\text{O})$ , gipso  $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ , quartzo  $(\text{SiO}_2)$ . G) crosta amarelada impregnada em canga – goethita  $(\text{Fe} + 3\text{O}(\text{OH}))$ , hematita  $(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ , maghemita  $(\text{Fe}_{21.16}\text{O}_{31.92})$ , fluorapatita  $(\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F})$ . H) Guano seco – leucofosfita  $(\text{KFe}_2^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ , hematita  $(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ , maghemita  $(\text{Fe}_{21.16}\text{O}_{31.92})$ , quartzo  $(\text{SiO}_2)$ . A maioria das formas de espeleotemas apresentam minerais fosfáticos, com exceção do botrioide e da crosta amarelada (Figura 07, 08).

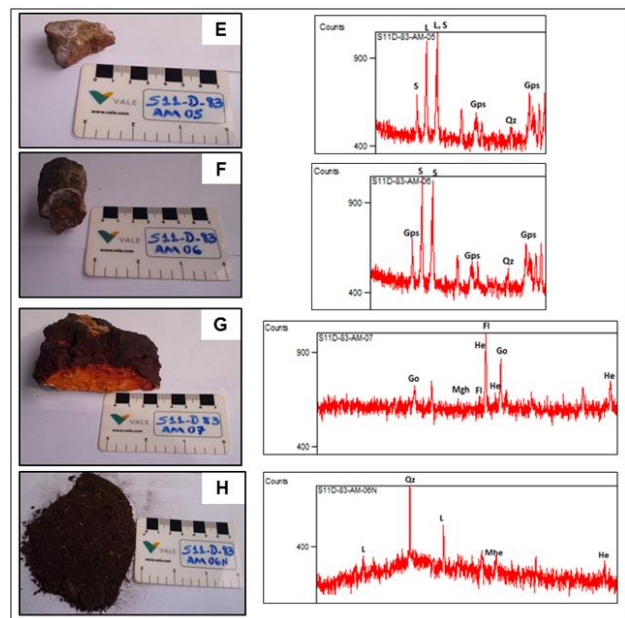
#### 4.2.2 Petrografia

As amostras de espeleotemas analisados correspondem a: parafuso, botrioidal, coraloide e revestimento. Todas desenvolvidas sobre brecha conglomerática de canga laterítica.

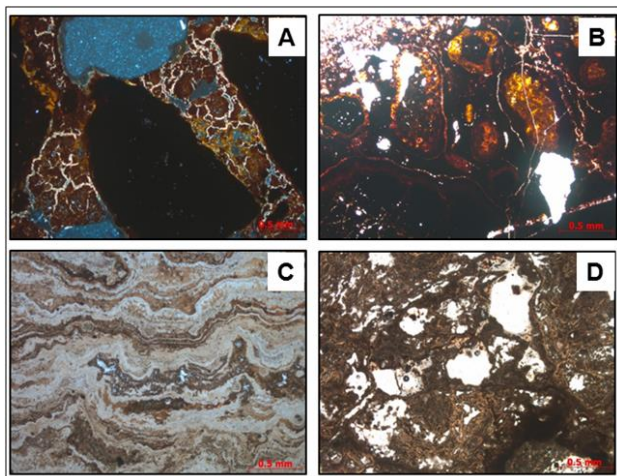
A brecha conglomerática caracteriza-se por fragmentos subarredondados hematíticos e córtex de goethita, cimentados por conteúdo fosfático e goethítico. Sobrepostos a esse substrato, ocorrem os espeleotemas caracterizados por bandamento cíclico de precipitados químicos alternados de fosfato límpido e fosfato de ferro, apresentando continuidade lateral com sequências de camadas intercaladas. Ocorrem ainda estruturas cavernosas fosfáticas, similares a uma estrutura esquelética ou orgânica (Figura 09).



**Figura 7.** Resultados da DRX. A) Revestimento cristalino marrom-escuro (revestimento da parede), B) Coraloíde esbranquiçado (revestimento da parede), C) Revestimentos botrioidais cristalino (revestimento da parede), D) Crosta amarelada (fratura preenchida na canga).



**Figura 8.** Resultados da DRX nas diferentes formas de espeleotemas e no guano seco. E) escorrimento (parede), F) Pingente (teto), G) Crosta amarelada impregnada em canga (piso), H) Guano seco (piso). Foram identificados minerais fosfáticos em quase todos os espeleotemas, com exceção do botrioide e da crosta amarelada.



**Figura 9.** A) Fotomicrografia da canga laterítica compreendendo conglomerado brechoide hematítico. B) processo de formação de oóide no cimento de goethita. C) Bandamento associado a uma ciclicidade relacionado à água ou à presença do ferro. D) Estruturas cavernosas fosfáticas.

## 5. DISCUSSÃO

Com base nos dados petrográficos e análises microscópicas apresentados, pode-se caracterizar os espeleotemas desenvolvidos nas cavidades N4WS-067 e S11D-83.

Os espeleotemas encontram-se encrustados sobre capa ferruginosa de canga laterítica, onde na interface canga e espeleotemas ocorre estrutura rugosa de camadas contínuas intercaladas, tornando-se espeleotemas de composição fosfática a medida que se afasta da canga. A estrutura bandada das camadas intercaladas na base dos espeleotemas é atribuída a precipitados químicos oriundos de processo de lixiviação da canga laterítica em períodos alternados de fosfato límpido e fosfato associado ao ferro.

As estruturas cavernosas fosfáticas, semelhantes a uma estrutura esquelética, análogo a uma trama orgânica, devem estar relacionadas a processo de mineralização fosfática, onde através de troca iônica do fosfato e a estrutura orgânica constituída pelo guano mineralizou estrutura esquelética.

A ocorrência de minerais fosfáticos de ferro e de outros elementos associados: LEUCOFOSFITA ( $\text{KFe}_2^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), ESFENISCIDITA ( $(\text{NH}_4)(\text{Fe}_2(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})(\text{PO}_4)_2)(\text{H}_2\text{O})$ ), FOSFOSIDERITA ( $\text{FePO}_4(\text{H}_2\text{O})_2$ ), BRUSHITA ( $\text{CaPO}_3(\text{OH})2\text{H}_2\text{O}$ ), MONETITA ( $\text{CaPO}_3(\text{OH})$ ) é atribuída à interação em meio ácido dos produtos de intemperismo com o guano de morcegos presentes nas cavidades naturais estudadas. Este fato se baseia

no baixo teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  na formação ferrífera e na rocha hospedeira, em torno de 0,2%, que não seriam prováveis fontes do fosfato, devido suas baixas concentrações.

Há duas explicações para a gênese e distribuição dos espeleotemas fosfáticos na cavidade. A primeira delas está relacionada ao guano da colônia de morcegos no teto da cavidade. Os íons fosfáticos lixiviados interagem com a rocha hospedeira produzindo espeleotemas no piso da cavidade. O espeleotema fosfático gerado no teto formam depósitos químicos de estalactites e os espeleotemas na parede ocorrem pelo escorrimento da água lateral (Figura 10).

A outra hipótese para a origem dos espeleotemas fosfáticos está relacionada ao conteúdo de vapor no interior das cavidades estudadas, produto do guano de morcegos, por um processo de umidificação dentro da cavidade onde torna o ar úmido, havendo em suas partículas soluções contendo  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  o que explica a distribuição de espeleotemas fosfáticos em todas as partes: teto, parede e piso. Entretanto, como não foi realizada uma análise na composição dos gases que ocorrem na cavidade. Com isso considera-se que a distribuição e gênese dos espeleotemas fosfáticos estejam relacionadas ao produto fecal de morcegos.



**Figura 10** Desenho esquemático relacionando a deposição do guano de morcegos e formação de espeleotemas fosfáticos referente a primeira hipótese.

## 6. CONCLUSÃO

O estudo petrográfico, mineralógico e textural nos espeleotemas das cavidades N4WS-067 e S11D-83 nos permite fazer algumas conclusões a respeito da gênese e evolução desses espeleotemas.

Ω Na interface dos depósitos de formações ferríferas bandadas ocorrem inúmeras cavidades naturais/cavernas, associadas a produtos de alteração e/ou espeleotemas alojados ao longo da canga laterítica, a qual compreende



conglomerados brechoides hematíticos cimentados por goethita e fosfato.

Ω Os espeleotemas desenvolvidos encontram-se encrustados sobre capa ferruginosa de canga laterítica, onde na interface canga e espeleotemas ocorre estrutura rugosa de camadas contínuas intercaladas, tornando-se espeleotemas de composição fosfática à medida que se afasta da canga.

Ω A estrutura bandada das camadas intercaladas na base dos espeleotemas é atribuída a precipitados químicos oriundos de processo de lixiviação da canga laterítica em períodos alternados de fosfato límpido e fosfato associado ao ferro.

Ω Estruturas cavernosas fosfáticas, semelhantes a uma estrutura esquelética, análogo a uma trama orgânica, devem estar relacionadas a processo de mineralização fosfática, onde através de troca iônica do fosfato e a estrutura orgânica constituída pelo guano mineralizou estrutura esquelética.

Ω Localmente, nos espeleotemas coraloides, ocorre um bandamento característico associado a uma ciclicidade relacionada a água ou a presença do ferro.

Ω Ao DRX foi possível identificar que nos espeleotemas da cavidade N4WS-067 e S11D-83 foram encontrados minerais fosfáticos de ferro além de outros elementos associados.  
LEUCOFOSFITA (Fe<sub>2</sub>H<sub>5</sub>KO<sub>11</sub>P<sub>2</sub>),  
ESFENISCIDITA (Fe<sub>2</sub>HgNO<sub>11</sub>P<sub>2</sub>),  
FOSFOSIDERITA (FeH<sub>4</sub>O<sub>6</sub>P), BRUSHITA (CaH<sub>5</sub>O<sub>6</sub>P), MONETITA (CaHO<sub>4</sub>P).

Ω A origem dos fosfatos é atribuída à interação em meio ácido dos produtos de intemperismo com o guano de morcegos presentes nas cavidades naturais estudadas, devido o teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na formação ferrífera e na rocha hospedeira ser mínimo e não ultrapassar 0,2%, o que não justificaria a presença dos minerais fosfáticos.

Ω A distribuição e gênese dos espeleotemas fosfáticos está relacionada ao produto fecal que é depositado na base pela ação da gravidade. No teto está relacionado a um apêndice que se desenvolve nas reentrâncias da cavidade gerando estalactites na galeria que se encontra a uma cota abaixo, e na parede pelo escorrimento da água lateral.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, O.J.B.; MAIA, R.G.N. 1991. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos. Programa Grande Carajás. Serra dos Carajás. Folha SB.22-Z-A. Estado do Pará.** Texto Explicativo. DNPM/ CPRM, Brasília, 136p.

KOTSCHUBEY, B. & LEMOS, V. P. 1985. **Considerações sobre a origem e gênese das bauxitas da Serra dos Carajás.** Simpósio Geologia Amazônia, 2. Anais. Belém, SBG/NN, 3: 48-61.

KRYMSKY, R.Sh, MACAMBIRA, J.B., MACAMBIRA, M.B.J., 2002. **Geocronologia U-Pb em zircão de rochas vulcânicas da Formação Carajás, Estado do Pará.** In: Simpósio sobre Vulcanismo e Ambientes Associados, 2, Belém, Anais..., SBG-NO p.41.

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. 150p. Inédito.

MACAMBIRA, M.J.B., LANCELOT, J. 1996. **Time constraints for the formation of the Archean Rio Maria crust, southeastern Amazonian Craton, Brazil.** International Geology Review 38, 1134-1142.

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. & KOTSCHUBEY, B. 1995. **Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 – Serra dos Carajás-PA. Degradação, pseudocristificação, espeleotemas.** Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. Série Ciências da Terra 7: 331-362.

- SOUZA, C. I. J. & KOTSCHOUBEY, B. 1991. **Alguns aspectos micromorfológicos e gênese da cobertura residual sobre as rochas sedimentares da Serra dos Carajás-PA.** Simpósio de Geologia da Amazônia, 3, Anais. Belém, SBG/NN. 1: 569-583.
- SOUZA, C. I. J. 1993. **Estudo da cobertura laterítica ferro-aluminosa da aba norte da Serra dos Carajás (PA).** Universidade Federal do Pará, Tese de mestrado.
- TRENDALL, A. F., BASEI M.A.S., LAETER J.R., NELSON D.R. 1998. **Ion microprobe zircon U-Pb results from the Carajásárea of the Amazon Craton.** Journal of South American Earth Sciences, 11: 265-277.