



## 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:

OLIVEIRA, A.N.; LAMEIRA, M.H.; PINHEIRO, V.R.. Contribuição geoespeleológica na formação e evolução das cavidades naturais da Serra Leste, Carajás-PA. In: RASTEIRO, M.A.; SALLUN FILHO, W. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 33, 2015. Eldorado. *Anais...* Campinas: SBE, 2015. p.481-493. Disponível em: <[http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe\\_481-493.pdf](http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe_481-493.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)

# CONTRIBUIÇÃO GEOESPELEOLÓGICA NA FORMAÇÃO E EVOLUÇÃO DAS CAVIDADES NATURAIS DA SERRA LESTE, CARAJÁS-PA

CONTRIBUTION OF GEOESPELEOLOGY IN TRAINING AND DEVELOPMENT OF NATURAL  
CAVITIES, SERRA LESTE, CARAJÁS -PA

Ana Nilza OLIVEIRA (1); Marcio Henrique LAMEIRA (2); Valéria dos Reis PINHEIRO (1,2)

(1) PROCAV (VALE / UFPA), Marabá PA.

(2) Universidade Federal do Pará, Marabá- PA.

Contatos: [ana-nilza@hotmail.com](mailto:ana-nilza@hotmail.com).

## Resumo

Tendo em vista o número de cavernas mapeadas na área de Serra Leste – Carajás fez-se necessário um estudo de origem e evolução das cavidades naturais subterrâneas que são formadas frequentemente pela ação das águas que atuam dissolvendo e erodindo diferentes tipos de rochas. Observou-se que o padrão estrutural presente nas cavidades é um importante catalisador do processo, pois pode conduzir drenagem, água contida nos poros da rocha e minerais ou ainda a água pluvial, sendo estes um importante agente na dissolução e erosão das rochas, permitindo com isso, a evolução e progresso na formação das cavidades. O objetivo geral deste trabalho consiste em identificar e compreender como os processos geológicos contribuem para a formação das cavidades naturais de Serra Leste, em primeiro momento a observação foi feita em grande escala com o auxílio de imagens de radar e de satélite, análise estrutural e pluviométrica e por fim um estudo de menor escala, onde foram visitadas cinco cavidades naturais na região estudada.

**Palavras-Chave:** Geoespeleologia. Formação ferrífera. Estruturas Riedel.

## Abstract

*Given huge number of caves mapped in the area of Serra Leste from Carajás, located in Curionópolis, southeast Pará. Allied to structural pattern in the caves, water such drainage into the rock and minerals pores as river water are important agents in the dissolution and rock erosion, and thus evolution and progress in the formation of cavities. The overall objective is to identify and understand how geological processes contribute to formation of natural cavities from Serra Leste and for that preliminary work has been done. First instance, large-scale work corroborated with radar and remote sensing, structural analysis and rainfall; second, small-scale study with five caves founded that allow evolutionary history of caves.*

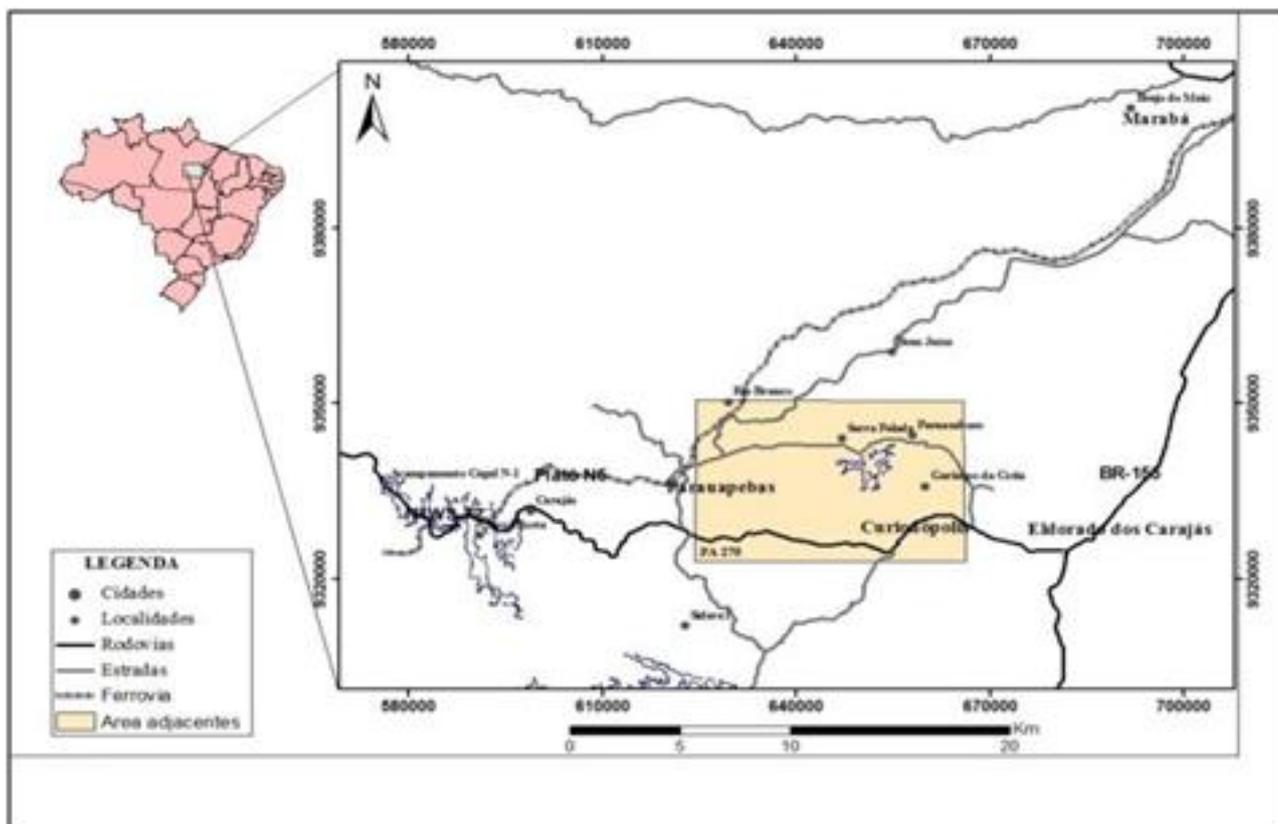
**Key-words:** Geoespeleology. Iron formation. Riedel structures.

## 1. INTRODUÇÃO

As cavidades naturais subterrâneas são formadas frequentemente pela ação das águas que atuam dissolvendo e erodindo diferentes tipos de rochas, aliado a fatores estruturais e geomorfológicos. Grande parte das cavidades estão localizadas em rochas carbonáticas (calcários e dolomitos), pois estas litologias são mais favoráveis aos processos de dissolução. Entretanto, arenitos e quartzitos são também muito susceptíveis a formar cavernas, aparentemente devido a fatores geomorfológicos e climáticos mais erosivos. Recentemente, constatou-se, em áreas de minério de ferro, a existência de um número expressivo de cavidades naturais. No Brasil encontram-se algumas das maiores reservas de minério de ferro do mundo e estas reservas estão atreladas a um grande potencial espeleológico nestes litotipos.

### 1.1 Localização e Acesso

A Província Mineral de Carajás está localizada a sudeste do Cráton Amazônico e faz parte da Província Amazônia Central. Foi formada e estabilizada tectonicamente no Arqueano e pode ser dividida em duas unidades geotectônicas: a norte, localiza-se o Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas (ARAÚJO *et al.*, 1988); e ao sul, o Terreno Granito-Greenstone Rio Maria. A Serra Leste está inserida na Província Mineral de Carajás e localiza-se no município de Curionópolis estado do Pará. O acesso à área é feito através da PA-275 que liga os municípios de Curionópolis e Parauapebas (Figura 1). Partindo de Marabá, o acesso é feito pela BR-155 por 100 km até o município de Eldorado do Carajás seguindo em direção ao município de Curionópolis ao longo da rodovia PA-275 por mais 33 km.



**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo.

## 2. METODOLOGIA

O presente trabalho consiste em pesquisa bibliográfica, confecção e interpretação de mapas, saídas de campo e a elaboração do relatório final.

A pesquisa bibliográfica, na primeira etapa do trabalho, foi realizada na área de Serra Leste. Também foram utilizadas bibliografias referentes à cavernas em diversos litotipos em outras regiões para um melhor embasamento e compreensão do processo que ocorre em Serra Leste.

A análise de sensores remotos e foteointerpretação foi feita através de fotos de radar e imagem de radar LIDAR, LANDSAT, IKONOS, SRTM. Foi possível a extração de drenagem realizada manualmente e confecção de mapas temáticos detalhados através de softwares de GIS e Global Mapper. Posteriormente os dados de relevo e drenagem foram analisados e interpretados seguindo o método de lógica e sistemática de Soares & Fiori (1976) e divididos em zonas homólogas.

Para o estudo do comportamento tectônico da área foram utilizados diagramas esquemáticos para elaboração de elipsoides de deformação que será classificada segundo os padrões de Riedel (1929).

As fraturas Riedel se desenvolvem com ângulos baixos ( $10^\circ$  a  $20^\circ$ ) em relação à falha

principal, disposta em arranjo em echelon. As fraturas R são sintéticas à falha principal, subparalelas e têm o mesmo sentido de cisalhamento das bordas do sistema. As fraturas P são sintéticas à falha principal e são orientadas simetricamente às fraturas R na falha. As fraturas tipo R` são cisalhantes antitéticas orientadas sob altos ângulos em relação à falha principal ( $70^\circ$  a  $80^\circ$ ) e possuem sentido de cisalhamento oposto ao da falha principal (TWISS; MOORES, 1992).

As etapas de campo foram realizadas nos dias 07 de novembro de 2014 onde foi visitada uma cavidade (SL- 201) e 26 de novembro de 2014 que foram visitadas quatro cavidades (SL-118, SL-119, SL-120 e SL-257).

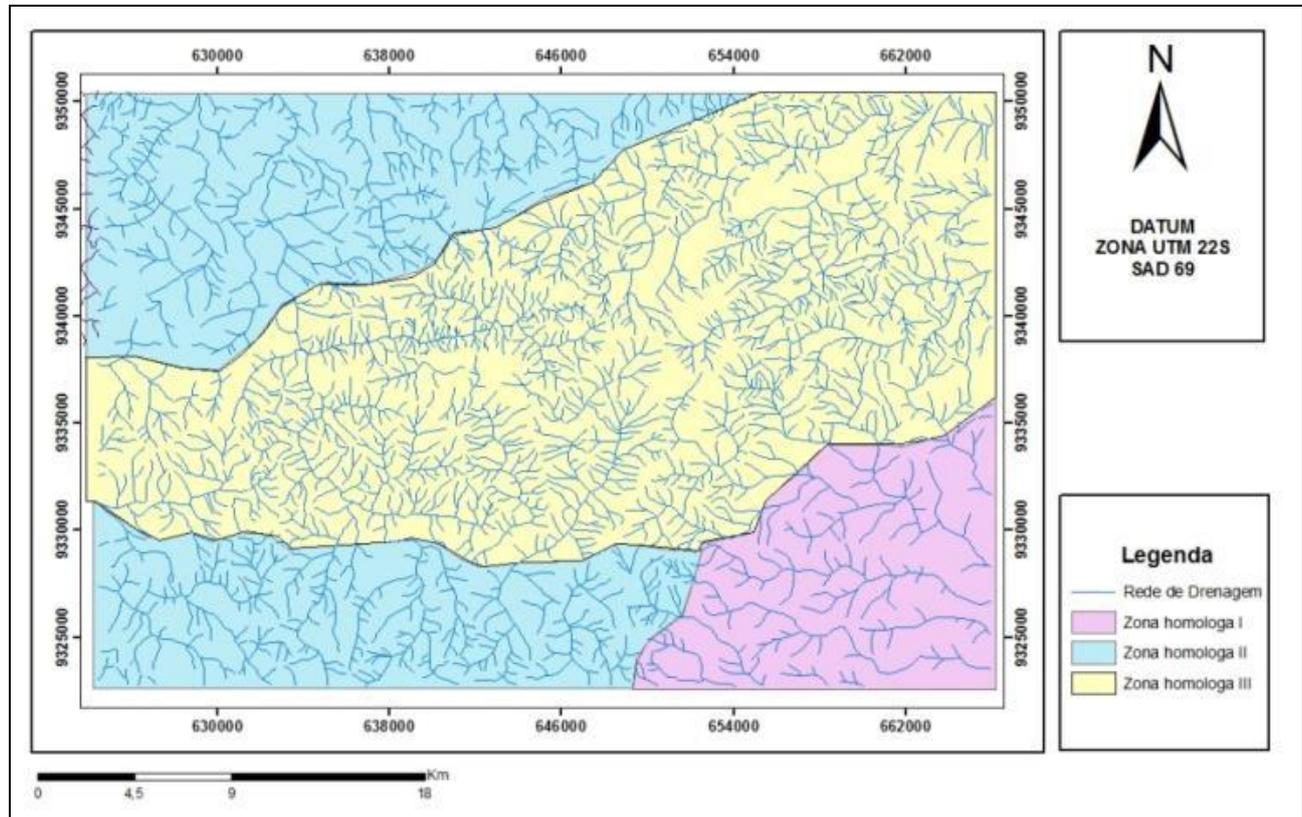
## 3. DISCUSSÃO E RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os dados obtidos a partir do estudo detalhado da área, procurando caracterizar os padrões responsáveis pela formação de cavidades em Serra Leste. Estudos combinados da geologia local, mapas temáticos, geologia estrutural, pluviosidade e dados de campo irão levar à compreensão do caminhamento da água e sua contribuição para a formação das cavidades.

### 3.1 Fotointerpretação

De acordo com a interpretação visual das imagens de radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) foi confeccionado um Mapa detalhado da rede de drenagem da área de Serra Leste (Figura 2) a partir de fotoanálise e fotointerpretação, sendo esta direcionada em um primeiro momento a

identificação das propriedades da rede de drenagem, que foi traçada de forma sistemática e uniforme, onde pode-se fornecer informações de grande importância, especialmente quanto à estruturação geológica da área, variações no estilo estrutural, definir formas, zonas de partição dos elementos e seus limites (Tabela 1).



**Figura 2.** Mapas das zonas homogêneas de drenagem na área da Serra Leste.

**Tabela 1.** Propriedades da drenagem segundo os parâmetros de Soares & Fiori (1976).

Zona homogênea	I	II	III
Densidade	Baixa	Média	Alta
Sinuosidade	Curvos	Misto	Misto
Angularidade	Baixa	Média	Média
Tropia	Tridimensional (NW-SE, E-W e NE-SW)	Tridimensional (NW-SE, NE-SW e N-S)	Multidirecional (N, W-SE, NE-SW, N-S e E-W)
Assimetria	Fraca	Fraca	Fraca
Formas anômalas	Arco	Arco	Arco e cotovelo
Padrão	Dendrítico	Dendrítico	Radial centrífugo

### 3.2 Elipsoides de deformação e fraturas de Riedel.

Para uma análise estrutural mais detalhada foi adotado o modelo de fraturas e juntas de Riedel (1929), onde foram identificados elipsoides de deformação com o auxílio dos mapas temáticos da

área, como a rede de drenagem (ver Figura 2) e alinhamentos de relevo e drenagem. A partir da identificação dos elipsoides foram interpretadas as possíveis fraturas abertas e com isso prever como funciona a percolação da água nas estruturas e as zonas de recarga condutoras da água subterrânea.

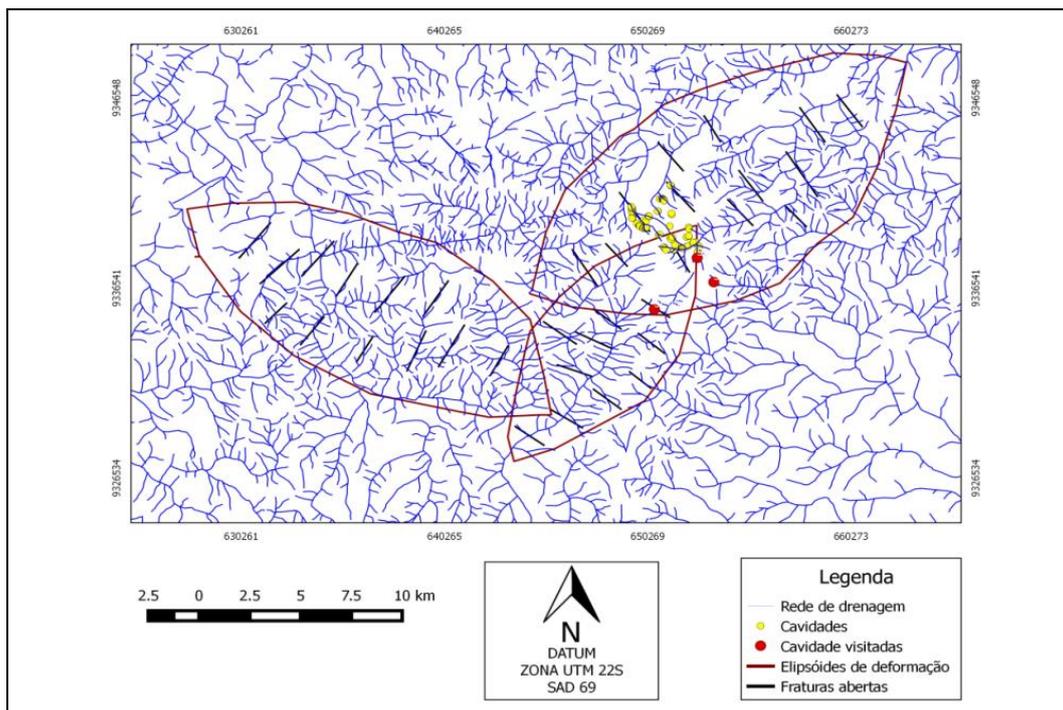
No mapa da Figura 3 estão dispostas as estruturas abertas (anti-riedels) e os elipsóides encontrados na área. O elipsoide com direção WNW-ESE apresenta estruturas anti-riedels com direção NNE-WEW. Os dois elipsóides principais possuem direção NNE-WEW e estruturas anti-riedels com direção NNE-WEW.

Nota-se que as cavidades de Serra Leste estão dispostas no elipsoide com estruturas anti-riedel de direção NNE-WEW.

### 3.3 Caracterização Das Cavidades

Durante as campanhas de campo cinco cavidades foram visitadas. As cavidades mostravam características particulares, estruturas bem definidas, onde foi possível a análise estrutural e uma melhor definição do controle hidrogeológico exercido nas cavidades.

Na Tabela 2 estão os dados topográficos e localização geográfica das cavidades, as mesmas estão inseridas nas encostas da serra (Figura 4).



**Figura 3.** Mapas mostrando os elipsóides de deformação e as fraturas abertas encontradas na área de estudo.



**Figura 4.** Cavidades visitadas na Serra Leste.

**Tabela 2.** Coordenadas das cavidades visitadas e sua altitude.

CAVIDADE	UTM leste	UTM norte	ALTITUDE
SL- 201	0653515	9336850	456m
SL- 118, SL- 119 e SL- 120	0652698	9338122	569m
SL- 257	0650591	9335413	471m

### 3.3.1 Caverna SL-201

Caverna localizada na encosta da serra, com uma área interna de 9 m<sup>2</sup> e aproximadamente 2,5 m de altura, detalhes da caverna são apresentadas na figura 5.

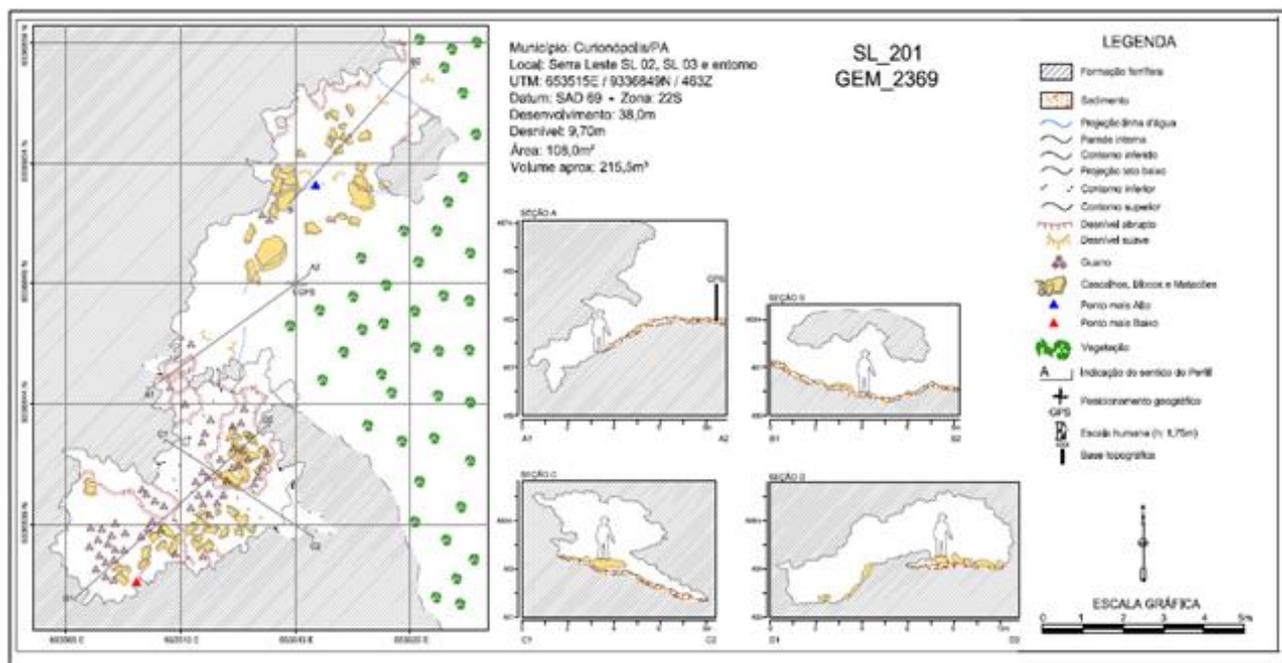
Apresenta coloração roxo-avermelhada, estrutura maciça, com níveis composicionais.

Nota-se que a caverna foi formada a partir de controle estrutural, pois se observa que a mesma está se formando em meio a uma dobra e um conjunto de falhas (Figura 6). Composicionalmente infere-se uma formação em rochas máficas provavelmente de rochas vulcânica, com presença de grande quantidade de espeleotemas do tipo crosta branca.

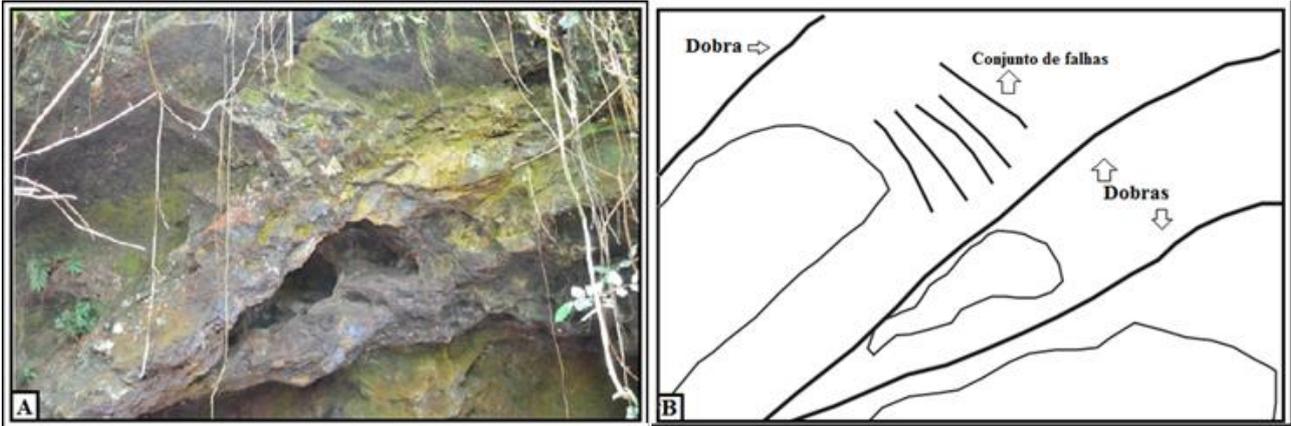
Estruturas estudadas anteriormente foram descritas como icnofósseis, pois apresentam aspecto de ranhuras, tais foram analisadas e interpretadas como estrias de falhas (Figura 7). Essas estruturas ocorrem por toda a caverna e seguem uma mesma orientação (170 Az) e a presença de muitas falhas corrobora essa análise (79°/260 Az), além do tipo de rocha impossibilitar a ocorrência de fósseis (Figura 8).

### 3.3.2 Cavernas SL-118, SL-119 e SL-120

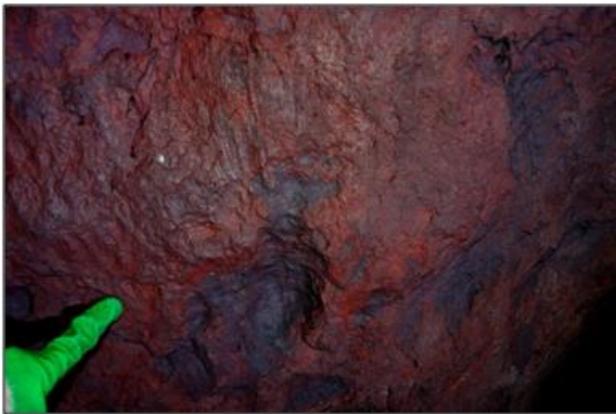
A caverna SL-118 tem sua localização próxima as cavernas SL-119 e SL-120, apresentando características estruturais e litológicas semelhantes, as plantas mostram detalhes das cavernas (Figuras 9, 10 e 11).



**Figura 5.** Planta da caverna SL- 201.



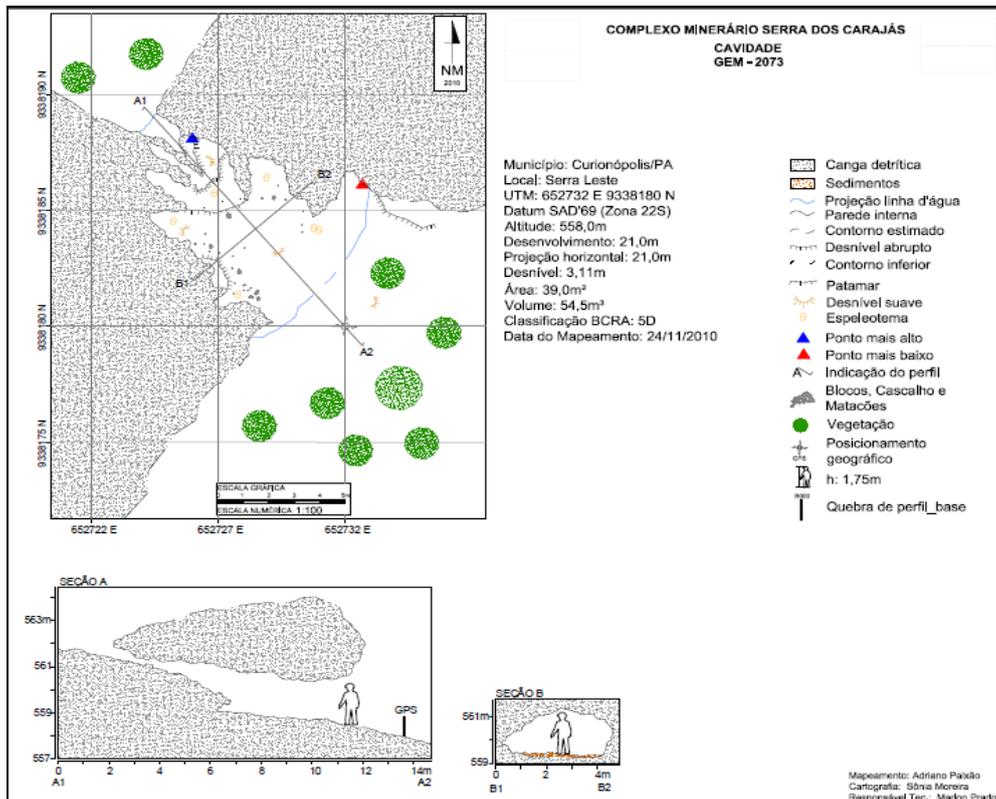
**Figura 6.** A: Flanco da dobra e fraturas, conferindo um controle estrutural da cavidade. B: Desenho Esquemático mostrando esse controle estrutural.



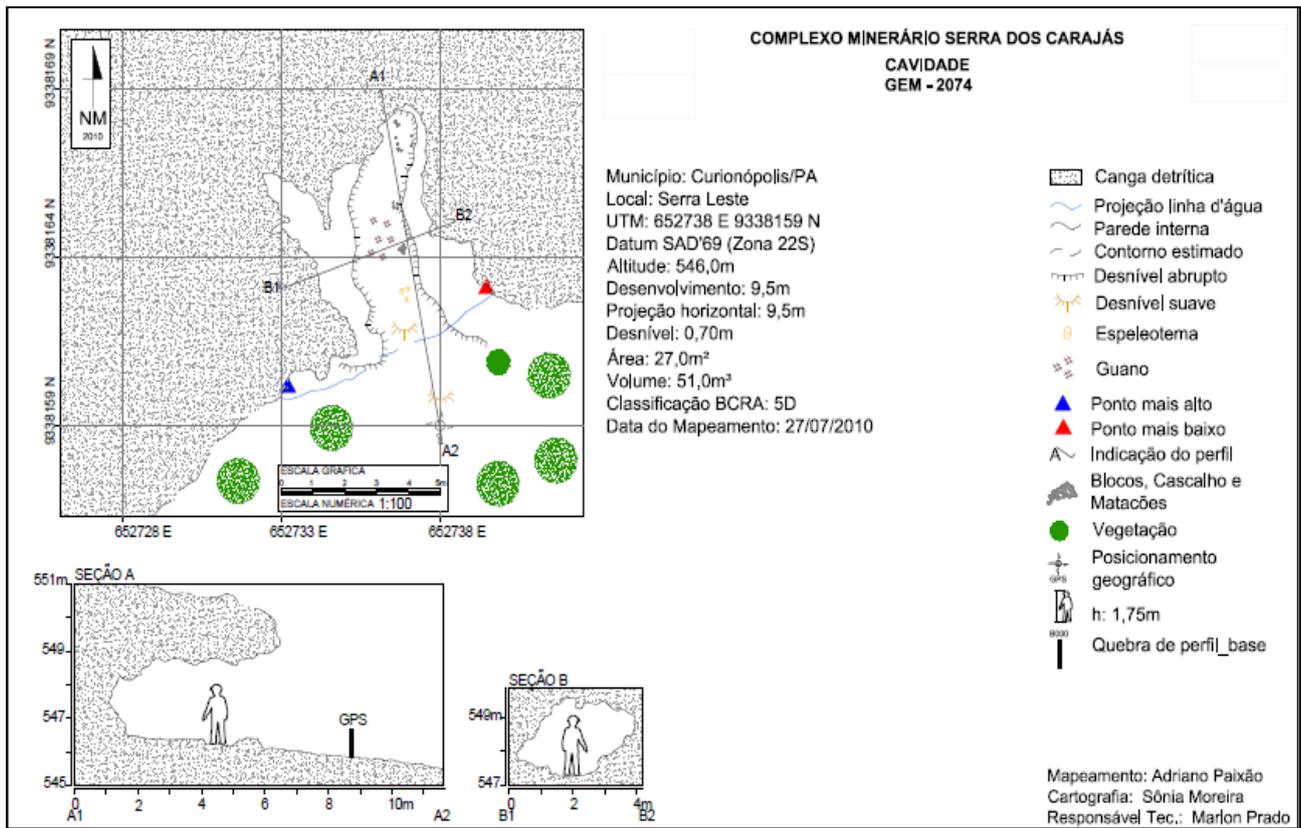
**Figura 7.** Detalhe das falhas encontradas em toda a cavidade.



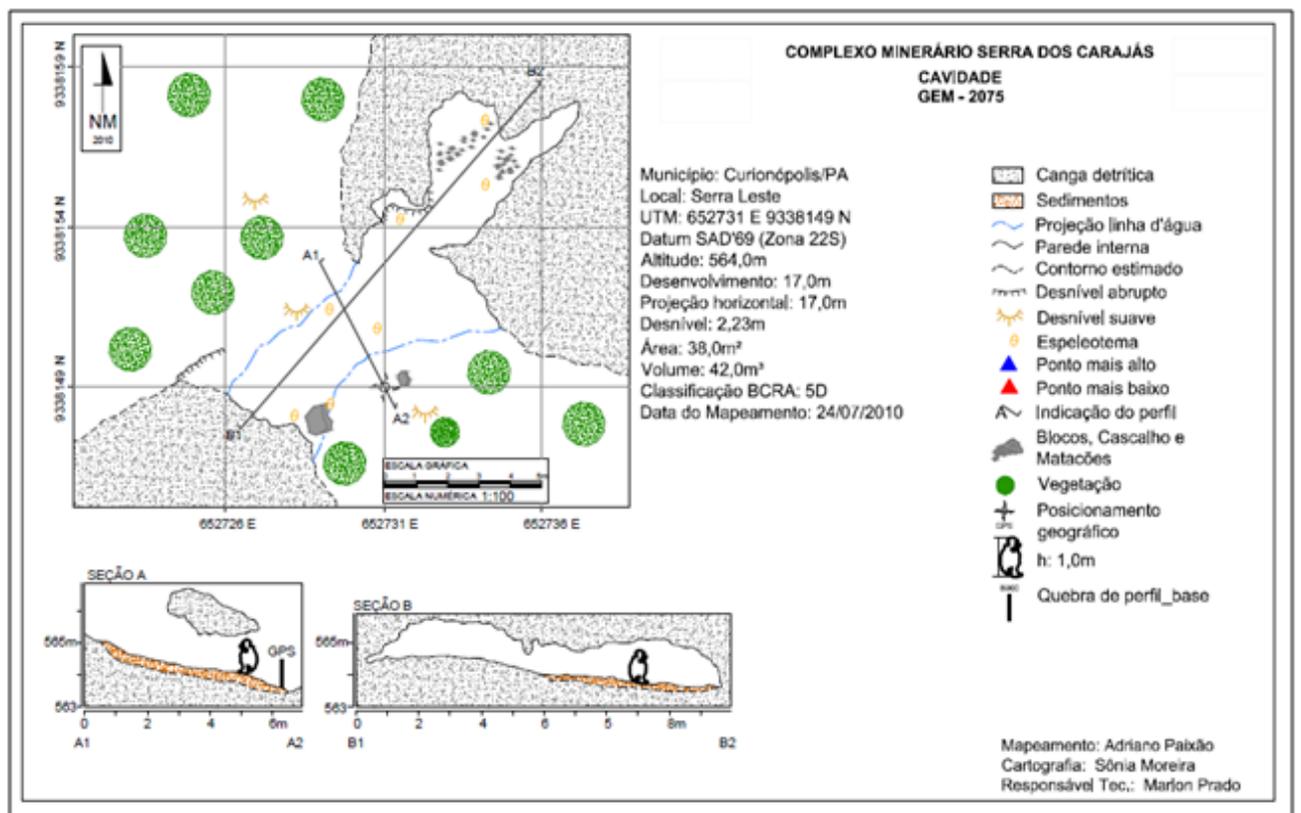
**Figura 8.** Flanco da dobra e fraturas com atitude de 170 Az, conferindo um controle estrutural a cavidade.



**Figura 9.** Planta da cavidade SL- 118.



**Figura 10.** Planta da cavidade SL- 119.



**Figura 11.** Planta da cavidade SL- 120.

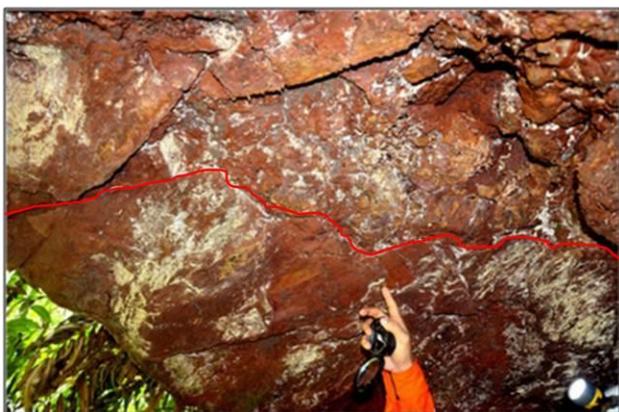
A cavidade SL-118 tem uma área interna de 15m<sup>2</sup> e aproximadamente uma altura de 1,90 m em sua parte mais alta, sendo essa a maior das três cavidades. Apresenta uma coloração avermelhada, observa-se uma diferença litológica entre a parede e o teto, sendo o teto formado por canga e as paredes formadas por BIF'S (Figura 12).

O controle estrutural da cavidade é dado pela formação de dobras cujos contatos entre os litotipos nos seus flancos facilitam a percolação da água formando um conduto hidráulico (Figura 13) e proporcionando o processo de dissolução das bandas silicosas. Infere-se a formação de fosfato por dissolução seguida de precipitação e crosta branca, formado pelo processo de exsudação da rocha, foi observada a formação de espeleotemas do tipo microestalactite que se formam na canga (Figura 14 A e B).

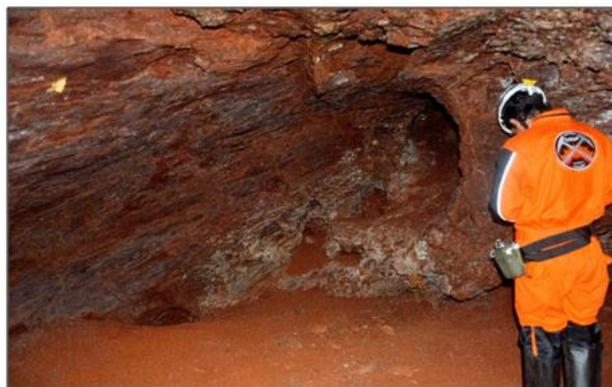
Foram analisadas também estruturas antes descritas como icnofósseis formado por possíveis “ranhuras” de animais. Como resultado da observação nessa cavidade e, principalmente na cavidade SL-119, foi possível descartar essa hipótese pois, essas “ranhuras” ocorriam apenas em determinadas formações que podem ter sofrido exposição subaérea a qual possibilitou uma dissolução da sílica formando assim esses condutos (Figura 14 C e D)

Com isso, concluiu-se que o principal controle de formação dessas cavidades é o controle hídrico.

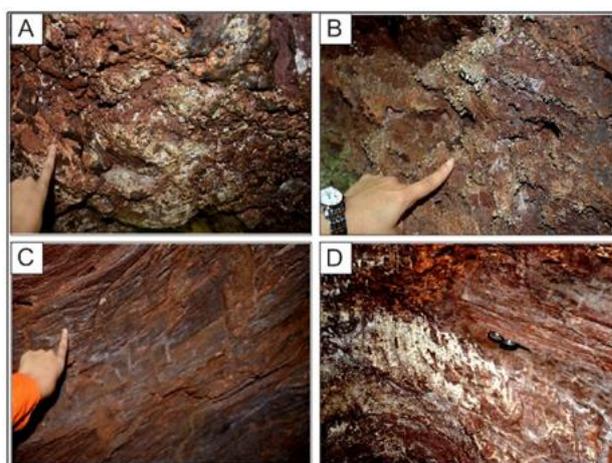
As atitudes estruturais medidas em campo serão fundamentais para o melhor entendimento da formação dessas cavidades, pois foram encontradas dobras com flanco 210 Az e mergulho 62°, fraturas com *trend* 230 Az e veios de quartzo com direções de 280 Az e 300 Az.



**Figura 12.** Mudança litológica do teto (canga) com a parede (BIF'S) na cavidade SL-118.



**Figura 13.** Dimensão da caverna, o conduto hidráulico e a diferença litológica entre o teto e a parede da cavidade SL-118.



**Figura 14.** A- Formação do fosfato por dissolução seguida de precipitação e crosta branca. B-Espeleotemas (microestalactite) formados na canga. C- Condutos formados a partir da dissolução da sílica. D-Condutos formados a partir da dissolução da sílica. Cavidade SL-119.

### 3.3.3 Cavidade SL-257

Cavidade extensa formada por quatro galerias, cuja primeira mede cerca de 9m<sup>2</sup>, descendo para a segunda galeria com aproximadamente o mesmo tamanho da anterior. A terceira galeria tem cerca de 6m<sup>2</sup> e a quarta, com formato retangular medindo cerca de 3 m de largura por 6 m de comprimento. Há uma grande dificuldade de acesso pelo fato de sua entrada ser estreita e no seu interior haver vários blocos soltos (Figura 15), a planta completa da cavidade é mostrada na figura 16.



Figura 15. Dificil acesso a cavidade, entrada da cavidade SL- 257.

A cavidade SL- 157 se diferencia das demais por apresentar uma umidade elevada, o que

proporciona um processo de dissolução mais acentuado e grande quantidade de estruturas circulares. O teto é formado por canga e paredes formadas por BIF'S. Próximo à entrada da cavidade foram descritas fraturas com *trend* 73°/52 Az (Figura 17 A, B, C e D).

De acordo com os aspectos gerais descritos concluiu-se que a cavidade é formada, inicialmente, por turbilhonamento devido à uma grande massa de água, em declive, o que promove tanto a dissolução como a erosão da rocha, e que posteriormente é controlada pelo abatimento de blocos e percolação da água.

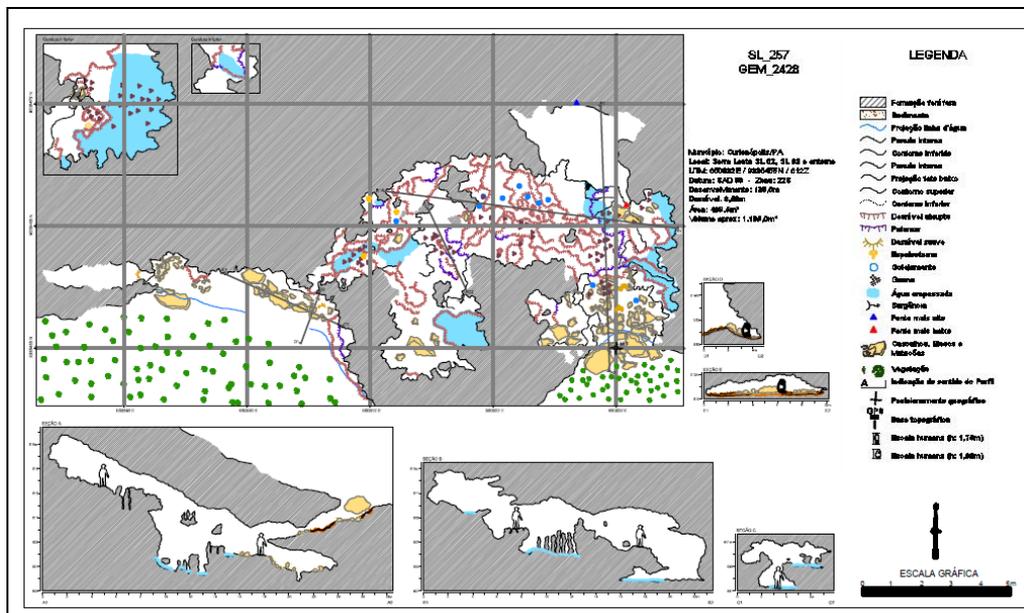


Figura 16. Planta da cavidade SL- 257.

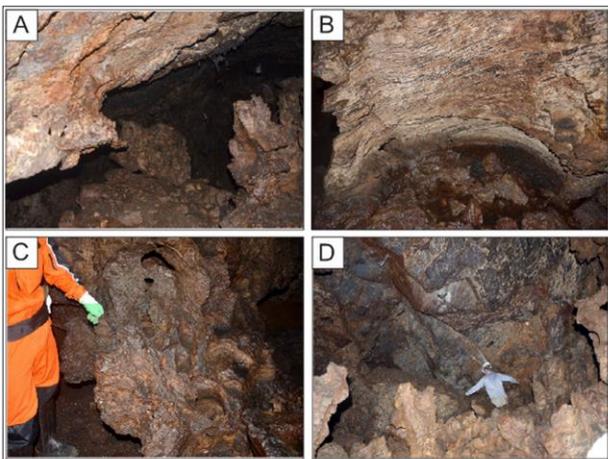


Figura 17. A- Blocos caídos na cavidade, tornando perigosa e dificultosa a movimentação no local. B- Umidade elevada da cavidade acentuando o processo de dissolução da rocha. C- Estrutura circular abundante na cavidade. D- Teto da cavidade (canga) e as falhas que controlam o abatimento de bloco.

### 3.4 Discussão

A partir dos dados bibliográficos estudados e das análises fotointerpretadas foi possível estabelecer uma relação entre estes e os dados coletados nas cavidades em campo.

As cavidades de Serra Leste possuem padrão hídrico distinto, na cavidade SL-201 notou-se um controle estrutural bastante evidente, onde foi possível observar que a mesma originou-se a partir do flanco de uma dobra com presença de falhas por toda a cavidade evidenciadas pela presença de estrias de falhas (Figura 18). Tais falhas facilitam a infiltração, pois a densidade e a disposição do fraturamento exercem influência sobre a infiltração de água no maciço rochoso, com isso, em um maciço muito fraturado a quantidade de fraturas é tal que a infiltração verticalizada mostra maior possibilidade de atingir a caverna.

As cavidades SL-118, SL 119 e SL 120 apresentam uma estruturação semelhante à cavidade SL-201, no entanto o padrão hídrico é mais evidente. A cavidade composta por teto de canga e paredes de hematita foi provavelmente formada por tubos de percolação de água que estão presentes em pequena e grande escala (Figura 19). As estruturas presentes são evidências da forte ação da água na formação das cavidades, como as microestalactites que são formadas por gotejamento e dissolução de minerais presentes na rocha.

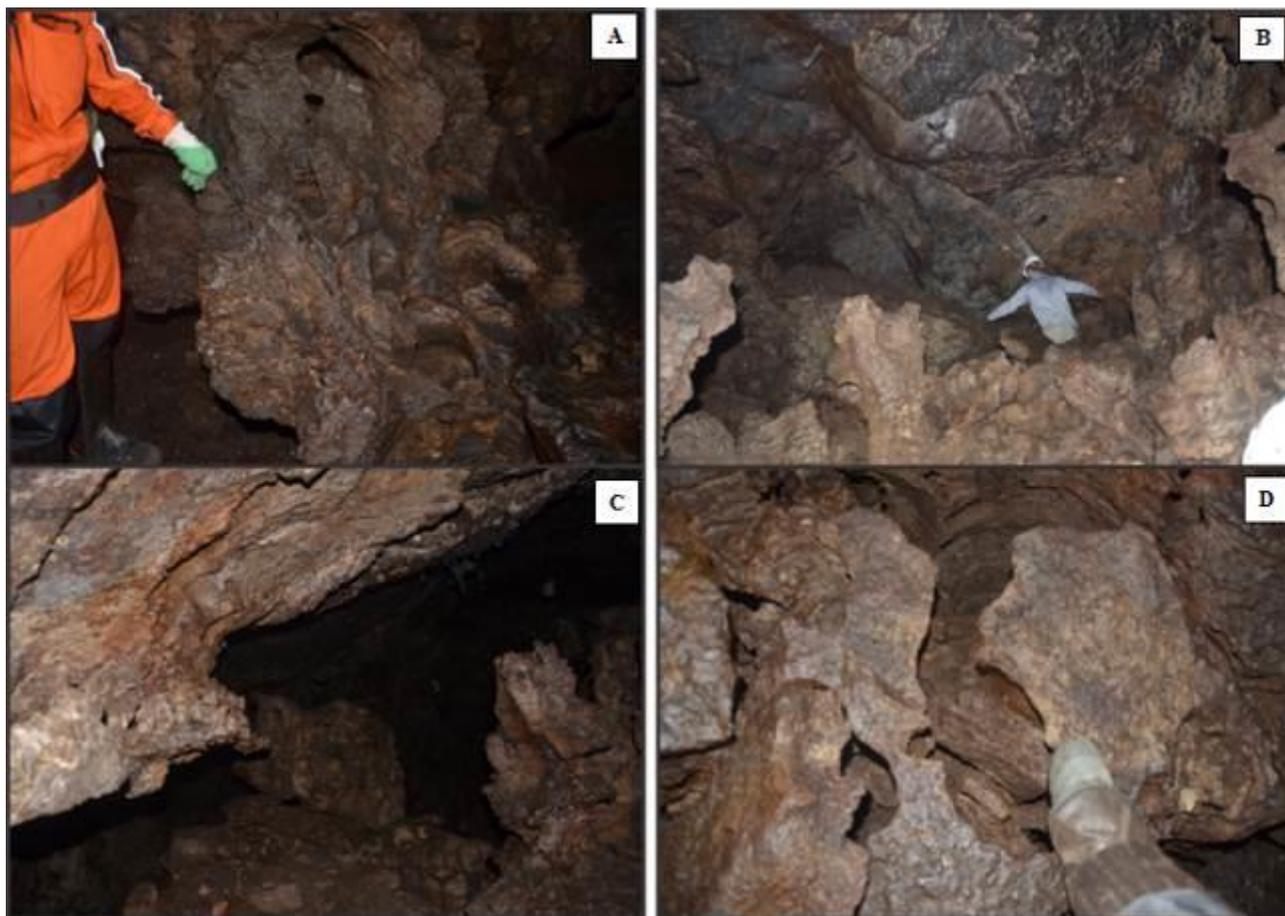
A cavidade SL-257 se enquadra nos padrões de falhas presentes nas demais cavidades de Serra Leste, apresenta laminas d'água no piso. A ação da água proporciona a formação de estruturas circulares (Figura 20) que podem ser responsáveis pela formação da cavidade. Devido ao progresso dessas formações há o abatimento de blocos ocasionando o surgimento dos vários patamares na cavidade.



**Figura 18.** Esquema mostrando o caminho da água na formação das cavidades. As falhas e dobras contribuem para a percolação e erosão de novas cavidades. Cavidade SL-201.



**Figura 19.** Esquema de percolação da água meteórica formando tubos; A) tubos formados em grande escala provavelmente responsável pela formação da cavidade; B) as mesmas formações em escala menor, mostrando que há um desenvolvimento na sua formação. Cavidade SL-118.



**Figura 20.** Caverna com presença de água e apresenta forte evidência de abatimento de blocos formando vários patamares; A) estrutura circular desenvolvendo a erosão e formação de colunas; B) patamar superior da caverna; C) blocos erodidos evidenciando a formação por erosão seguida de abatimento de blocos; D) piso da caverna desenvolvendo erosão e posteriormente outro patamar poderá ser desenvolvido. Caverna SL-257.

As condições pluviométricas e estruturais em que as cavernas estão inseridas facilitam a recarga hídrica e favorece no avanço na sua formação. A partir dessa análise foi constatado que a gênese das cavernas de Serra Leste segue os padrões propostos por Pinheiro & Maurity (1988). Durante a primeira fase, inteiramente na zona freática, ocorre a formação de complexos alumino-ferrosos e argilo-minerais instáveis de ferro, alumínio e sílica que preenchem os vazios da canga e da formação ferrífera bandada.

A remoção deste material residual instável leva à formação de orifícios irregulares que podem ser observados nas paredes da caverna SL-201 (Figura 18). A segunda etapa, ainda na zona freática, envolve processos erosivos e a formação de tubos presentes nas cavernas SL-118, SL-119 e SL-120 (Figura 19), que basicamente expandem as cavernas geradas na primeira etapa, levando então à formação de condutos e salões. Esses processos erosivos serão intensificados quando a caverna passar a ser exposta a atuação da água meteórica,

propiciando também a atuação de processos de abatimento de blocos, como na caverna SL- 257 (Figura 20).

Pinheiro & Maurity (1988) e Pilo & Auler (2005) consideram a existência de duas etapas distintas na formação das cavernas de minério de ferro e canga. A primeira delas com predominância de processos dissolutivos (químicos) e a segunda sob a ação de processos erosivos (físicos). A primeira etapa, endógena, envolve reações químicas no interior da massa rochosa na zona freática, gerando zonas de alta porosidade. Posteriormente o material friável resultante será lixiviado para o exterior.

Essa segunda etapa, iniciada na zona freática, pode ter continuidade na ação da água meteórica, quando os processos de formação de tubos podem vir a ser favorecidos. Iniciada a etapa erosiva das cavernas e sendo estabelecida uma saída para o exterior, os processos físicos serão incrementados e facilitados devido ao padrão de falhamento das cavernas. Material de granulometria fina será

aportado para o interior das cavidades, principalmente, via canalículos, de onde era evacuado para o exterior. Nas cavidades de Serra Leste esse modelo pode ser aplicado a praticamente todas as que foram visitadas, onde as mesmas estão localizadas nas vertentes da serra e o seu padrão erosivo pode ser claramente reconhecido assim como sua evolução.

#### 4. CONCLUSÕES

O estudo hidrogeológico nas cavidades de Serra Leste, primeiramente realizado em grande escala, permitiu a realização de importantes análises como as características das drenagens e a estrutural que aliadas foram a chave para a construção da evolução das cavidades estudadas. A caracterização detalhada de cinco cavidades permitiu uma visão do comportamento hídrico e estrutural, com isso, os dados em macro e micro escala somados tornou possível estabelecer a formação e evolução das cavidades.

Em primeiro momento a formação das cavidades é dada pela estruturação tectônica bastante favorável para sua gênese, permitindo a percolação da água em suas estruturas abertas anteriormente identificadas segundo o modelo de Riedel e por estarem sendo formadas em flancos de dobras facilitando a ação da água.

Sua evolução a partir desse primeiro momento é predominantemente hídrica que atuam normalmente as porções mais rebaixadas da paisagem, onde os fluidos ferruginosos se acumularam por tempo suficiente para a formação de uma crosta bastante enrijecida. Após a formação desta crosta de ferro o rebaixamento do nível de base que favorece a formação de protocondutos ou tubos (visto nas cavidades SL-118, SL-119 e SL-120) no contato entre a crosta rígida e o substrato subjacente, onde há uma descontinuidades textural

pela formação da canga, facilita o fluxo subterrâneo de fluidos e soluções, com isso ampliando a ação desses protocondutos responsável pela formação das primeiras galerias subterrâneas.

A fase final de formação das cavidades ocorre com o abatimento de blocos, segundo a sua estruturação. A exsudação de soluções por fissuras e poros promove a geração de algumas estruturas como as formas circulares e colunas presentes na cavidade SL-257. A partir desse momento há instalação de uma rede de drenagem associada à formação dos lagos, muito embora algumas cavidades não tenham condições estruturais e hídricas que permitam desenvolver essas feições, pode-se dar início também à formação de cavidades bem desenvolvidas e várias galerias.

A caracterização de novas cavidades ira dar um melhor embasamento dos processos de formação e evolução das mesmas, porem o trabalho realizado foi de grande importância para o entendimento e reconhecimento da atuação da água na erosão e expansão dessas cavidades.

#### AGRADECIMENTOS

À Empresa Vale S. A, pelos dados fornecidos e pela disponibilidade de campo.

Ao Projeto PROCAV convênio VALE-FADESP-UFPA, pelo apoio financeiro com a concessão de bolsa de iniciação científica no período de março/2013 a março/2015. Agradecimento especial a Daniele Gonsalves Freitas, representante da empresa Vale S. A e colaboradora do projeto.

À minha orientadora Ana Valéria, por todo o apoio e dedicação durante todo o projeto e ao Prof<sup>o</sup> Emídio pela grande ajuda e apoio durante os campos.

#### REFERÊNCIAS

- AULER, A.; CALUX, A. Geoespeleologia e Análise de Relevância, estudos espeleológicos Serra Leste. Belo Horizonte, Setembro de 2011
- BARROS, C.E.M; NASCIMENTO, V.M; FILHO, C.A.M Revisão da estratigrafia das rochas da Serra Leste Província Mineral de Carajás, Revista brasileira de geociências 40(2): 167-174, junho de 2010
- COSTA, J.B.S. & HASUI, Y. 1997. Evolução Geológica da Amazônia. In: ROSACOSTA, M.L.; ANGÉLICA, R.S. (Coord.). Contribuições à geologia da Amazônia. Belém: FINEP/SBG–Núcleo Norte. v. 5, p. 15-90.

- MACHADO, N; LINDENMAYER, Z.; KROGH, T.H.; LINDENMAYER, D. 1991. U-Pb geochronology of Archaean magmatism and basement reactivation in the Carajás área, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research*, 49:329-354. PILO L. B. & A. S. AULER. 2005. Cavernas em minério de ferro e canga de capão Xavier, quadrilátero ferrífero, MG. *O Carste*. Vol.17(3):92--105.
- PINHEIRO, R.V.L.; MAURITY, C.W. 1988. As cavernas em rochas intempéricas da Serra dos Carajás (PA) – Brasil. In: CONGRESSO DE ESPELEOLOGIA DA AMÉRICA LATINA E DO CARIBE, 1., 1988, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 1988. p. 179-186
- RIEDEL, W. 1929. Zur mechanik geologischer brucherscheinungen. *Centralblatt Min.Geol. Pal.*, Abt. B., p:354-369.
- SOARES, P.C.; FIORI A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Campinas, Notícia Geomorfológica*, 1976. 16 (32): 71–104.
- VIALON, P; RUHLAND, M.; GROLIER, J. 1991. *Élèments de tectonique analytique*. Masson, Paris. 118p.