

CARSTE
CONSULTORES ASSOCIADOS

ESPELEOLOGIA DO PROJETO S11D SERRA SUL, REGIÃO DE CARAJÁS, PA.

VALE



Por

Geoespeleologia: Dr. Luís B. Piló (Coordenação), Ataliba Coelho e Augusto Auler PhD
Bioespeleologia: Dra. Renata Andrade (Coordenação), Dra. Regina Bessi e Dra. Flávia Pellegatti

Dezembro de 2010

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	4
2. METODOLOGIA	5
2.1. Prospecção Espeleológica	5
2.2. Geoespeleologia	7
2.2.1. As campanhas de campo	7
2.2.2. Levantamento bibliográfico	7
2.2.3. Levantamento topográfico das cavernas	7
2.2.4. Análise litológica e das estruturas	10
2.2.5. Análise morfológica	10
2.2.6. Hidrologia.....	11
2.2.7. Depósitos clásticos, orgânicos e químicos.	11
2.3. Bioespeleologia	11
2.3.1. As campanhas de campo	11
2.3.2. Atividades de campo	12
2.3.3. Atividades de laboratório	13
2.3.4. Análises.....	14
3. ESTUDOS ANTERIORES E ESPELEOLOGIA REGIONAL.....	14
4. INSERÇÃO DAS CAVERNAS NO CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO	20
4.1. Formação Parauapebas	22
4.2. Formação Carajás	22
4.3. Minério de Ferro.....	23
4.4. Cobertura Laterítica associadas à FFB.....	24
4.5. Ferricrete.....	25
4.6. Tectônica.....	25
5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	26
5.1. Prospecção espeleológica	26
5.2. Geoespeleologia	29
5.2.1. Inserção das cavernas na paisagem	35
5.2.2. Espeleometria	38
5.2.3. Morfologia	43
5.2.4. Litologia e estruturas.....	54
5.2.4.1. Cavernas na formação ferrífera e canga	55
5.2.4.2. Cavernas em metabasalto	59
5.2.4.3. Cavernas em ferricrete	60
5.2.4.4. Estruturas	62
5.2.5. Hidrologia.....	69
5.2.6. Depósitos clásticos	72
5.2.7. Depósitos químicos	76
5.2.8. Aspectos espeleogenéticos e cronológicos	86
5.2.9. Aspectos sócio econômicos, culturais e estado de conservação	90
5.3. Bioespeleologia	92
5.3.1. Introdução.....	92
5.3.1.1. Ambiente Subterrâneo	92
5.3.1.2. Comunidade cavernícola.....	93
5.3.1.3. Caracterização das cavidades	94

5.3.1.4.	Considerações sobre a fauna inventariada	100
5.3.2.	Análises.....	123
5.3.2.1.	Riqueza	123
5.3.2.2.	Curva de acumulação de espécies coletadas	125
5.3.2.3.	Abundância	126
6.	ANÁLISE DE RELEVÂNCIA DAS CAVERNAS DE S11D	127
6.1.	Introdução.....	127
6.2.	Metodologia.....	128
6.2.1.	Discriminação litológica	128
6.2.2.	Escala de análise.....	128
6.2.3.	Grau de Relevância	129
6.3.	Resultados da análise de relevância das cavernas do Projeto S11D	130
6.3.1.	Discriminação litológica	130
6.3.2.	Definição das escalas local e regional	131
6.3.3.	Escalas de relevância das cavidades do Projeto S11D.....	133
6.3.3.1.	Relevância Máxima	133
6.3.3.2.	Os graus de importância das cavidades para classificação das relevâncias alta, média e baixa - Atributos Físicos e Histórico-Culturais...137	
6.3.3.3.	Importância acentuada sob enfoque local.....	143
6.3.3.4.	Importância significativa sob enfoque local e regional	146
6.3.3.5.	Importância significativa sob enfoque local.....	164
6.3.4.	Os graus de importância das cavidades para classificação das relevâncias alta, média e baixa - Atributos biológicos.	182
6.3.4.1.	Importância acentuada sob enfoque local e regional	182
6.3.4.2.	Importância acentuada sob enfoque local.....	190
6.3.4.3.	Importância significativa sob enfoque local e regional	199
6.3.4.4.	Importância significativa sob enfoque local.....	199
6.4.	Considerações finais sobre a relevância, os impactos potenciais e a conservação de cavernas no Projeto S11D.....	204
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	219
7.1.	Geoespeleologia	219
7.2.	Bioespeleologia	221
	ANEXOS.....	224

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste relatório é apresentar os resultados dos estudos espeleológicos realizados em 173 cavernas localizadas na área do Projeto S11D, pertencente a Vale e situado na Serra Sul, região de Carajás, PA. Essas cavidades estão distribuídas na área denominada Corpo D, inserida dentro da Floresta Nacional de Carajás, compreendendo a extremidade sudeste da Serra Sul, assim como em áreas rebaixadas do sopé da referida serra, próximas à localidade denominada Mozartinópolis, distrito de Canaã dos Carajás (Figura 1).

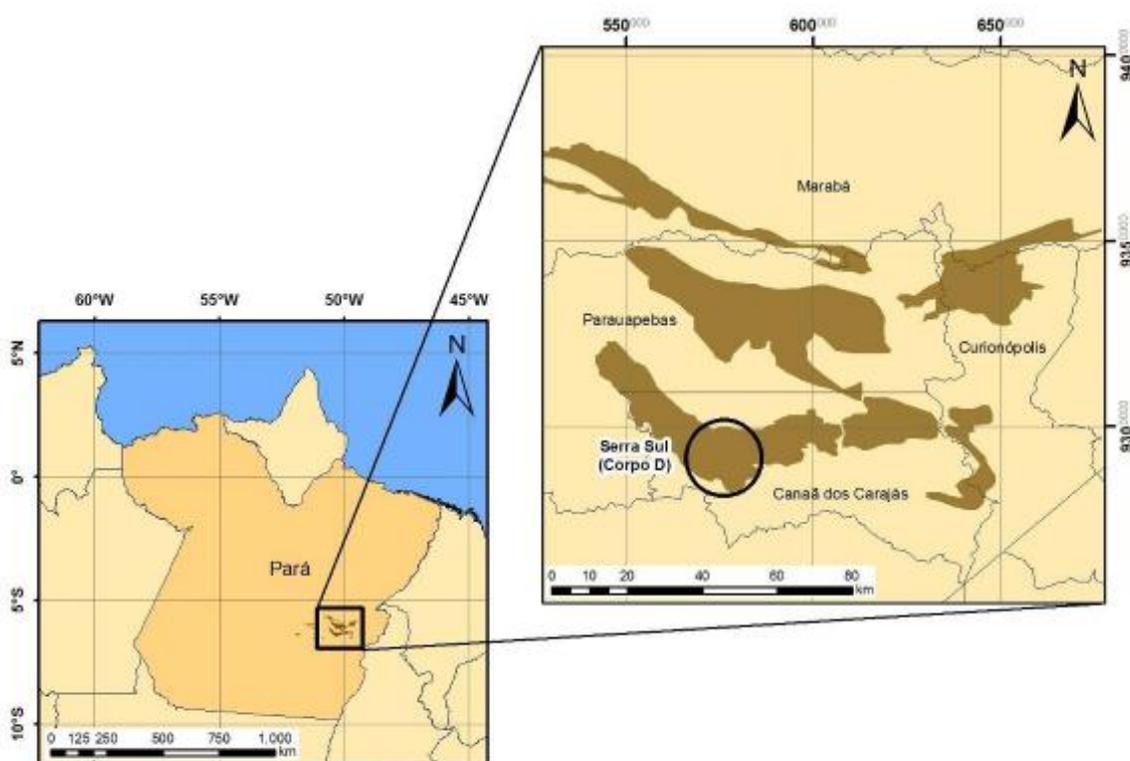


Figura 1. Localização da área de estudo

Especificamente, pretende-se:

- analisar os aspectos físicos das cavernas, incluindo sua morfologia e seus aspectos espeleométricos; a litologia e suas estruturas; seus aspectos hidrológicos e os depósitos clásticos e químicos;

- analisar aspectos sócio-econômicos e culturais relativos às cavernas;
- efetuar o inventário da fauna cavernícola; buscar informações do ambiente cavernícola, como zonação, tipos e características dos substratos orgânicos, umidade dos substratos e presença de água e tipos de substratos; caracterizar o ambiente subterrâneo e a fauna subterrânea;
- analisar o estado de conservação das cavernas e de seus entornos;
- efetuar análise de relevância das cavidades, conforme determina o Decreto Federal N.6.640 e a Instrução Normativa N.2, do Ministério do Meio Ambiente - MMA.

O presente relatório obedece à seguinte estruturação. Inicialmente são apresentados os procedimentos utilizados nos trabalhos de geoespeleologia e bioespeleologia. Em seguida, foi elaborado um referencial sobre o tema, incluindo trabalhos anteriores e espeleologia regional, resultante de levantamento bibliográfico. No item seguinte foi realizada uma caracterização física e biológica das cavernas. O relatório é finalizado com a análise de relevância das cavernas.

2. METODOLOGIA

2.1. Prospecção Espeleológica

A prospecção no Bloco D da Serra Sul foi realizada pela equipe do Grupo Espeleológico de Marabá – GEM em duas etapas. A primeira etapa entre 13/07/2004 a 11/08/2004 e a segunda entre 20/09/2004 a 23/10/2004.

Segundo o relatório (GEM/FCCM, 2004 e 2005), os trabalhos foram executados por grupos de três a sete pessoas, que realizaram caminhamentos diários em varredura, com subgrupos caminhando em linhas paralelas espaçadas em distâncias entre 15-20 m. Foi dada atenção aos locais com drenagens, afloramentos rochosos e nichos de vegetação distinta. Os caminhamentos foram

todos feitos com uso de GPS Garmin V e eram plotados em mapa ao final do dia (GEM/FCCM, 2004 e 2005).

Nos terrenos de maior declividade, ou com vários níveis de paredes escalonados, o grupo de prospecção fez duas ou até seis linhas paralelas para garantir uma boa varredura. Os grupos mantinham comunicação visual. Também foram usados apitos rádios.

O perímetro aproximado do Bloco D é de 30 km. Esse perímetro foi tomado apenas pela linha que contorna o topo do platô. No entanto, há várias escarpas, vales, desníveis e drenagens, não só na linha do limite do platô, como também nas vertentes inclinadas. Na maioria dos locais foram realizados caminhamentos com quatro linhas paralelas, o que tornou muito maior o perímetro proposto inicialmente. A equipe realizou, em média, seis km de caminhadas diárias. No entanto, ocorreram dias em que os caminhamentos chegaram a 14 km (GEM/FCCM, 2004). Também foi elaborado um croqui da cavidade em grau BCRA (*British Cave Research Association*) 2C, além de um registro fotográfico da entrada.

A prospecção no sopé da Serra Sul, nas estruturas planejadas de apoio para área industrial do projeto S11D, localizadas nas proximidades de Mozartópolis, também foi elaborada pela FCCM/GEM, entre os dias 17/03 a 17/04/2008 (GEM/FCCM, 2008). Segundo o relatório, os caminhamentos foram realizados por cinco equipes compostas por três pessoas. Cada integrante de equipe fez os caminhamentos em linhas paralelas em distâncias de 15-20m um do outro, tendo mais atenção nas áreas com drenagens, bordas de platôs, desníveis, afloramentos rochosos e vegetação distinta dos arredores.

Os caminhamentos foram executados com uso de GPS Garmin V e Garmin Mod. Etrex Legend, que permaneceu ligado durante todo o tempo da caracterização diária. Ao final do dia a rota feita era plotada em mapa da área e todas as coordenadas anotadas em planilha. Os subgrupos mantinham comunicação visual e através de apitos ou rádios comunicadores. Nos terrenos de maior declividade ou com vários níveis de paredes paralelos o grupo fez de duas até seis linhas paralelas para que pudessem ter plena convicção de ter feito uma boa varredura. As equipes fizeram em média 4,4km de caminhamentos diários.

A prospecção nas áreas planejadas para as pilhas de estéril 2 e 3 foram realizadas pelo Núcleo de Espeleologia da Vale – NEV.

2.2. Geoespeleologia

2.2.1. As campanhas de campo

O estudo geoespeleológico foi iniciado em janeiro de 2010, sendo concluído em setembro. As atividades de campo foram realizadas em três etapas: a primeira entre os dias 13 e 31 de janeiro, com o estudo de 80 cavidades no Corpo D; a segunda campanha de 09 a 29 de março, onde foram estudadas 49 cavidades no Corpo D e região de Mozartinópolis.

Nestas duas etapas quatro cavernas não foram estudadas: as cavernas S11D-07 e S11D-08, localizadas na borda do Lago Violão, por estarem submersas; a caverna S11D-04 que não foi localizada com as coordenadas disponíveis e a S11D-54 por apresentar grande concentração de gases resultantes da decomposição do guano.

A terceira campanha de campo ocorreu entre 01 e 15 de setembro de 2010. Nessa última campanha foram estudadas as três das cavidades pendentes das etapas anteriores e as 41 cavidades identificadas pelo NEV. Após um intenso esforço de identificação, a cavidade S11D-04 não foi localizada. O GEM também não conseguiu re-descobrir a caverna S11D-04. Possivelmente houve um erro de coordenada, o que impossibilitou sua identificação e estudo. Diante disso, essa caverna foi excluída do inventário.

2.2.2. Levantamento bibliográfico

Consiste em um levantamento bibliográfico sobre cavernas em minério de ferro no Brasil, com destaque para a região de Carajás, no Pará.

2.2.3. Levantamento topográfico das cavernas

O levantamento topográfico foi realizado por duas equipes: as cavernas do platô, denominadas de S11D, foram realizadas pelo GEM/FCCM, com exceção das cavernas de S11D-83 a S11D-97, que foram topografadas pela Carste Consultores Associados. As cavernas da área de Instalação das Estruturas de Apoio (Usina, barragem e instalações) ao Projeto S11D, assim como as cavernas identificadas pelo NEV, nas pilhas de estéril 2 e 3, foram topografadas pela Carste.

No conjunto de 174 cavernas, duas não foram topografadas. A caverna S11D-04 não foi identificada pelas equipes de topografia do GEM e de geoespeleologia da Carste. Várias tentativas foram feitas. Possivelmente um erro de coordenada no momento da prospecção de 2004 impediu a re-identificação dessa caverna. A caverna S11D-54 não foi topografada porque houve direito de recusa (Anexo VIII) da equipe de topografia do GEM em decorrência do forte cheiro (gases) de amônia causado por um grande depósito de guano existente na caverna. Para os estudos de geoespeleologia e bioespeleologia da caverna S11D-54 foram utilizados os dados da prospecção GEM de 2004. Diante da falta de dados topográficos, a caverna S11D-54 foi excluída da análise de relevância dos atributos físicos.

O levantamento topográfico das cavidades foi realizado com bússola e clinômetro *Suunto*, além de trena laser *Leica*. O grau de precisão dos mapas atingiu 5D, com base no sistema *British Cave Research Association* – BCRA. Esse grau prevê medidas de ângulo na linha central de topografia com precisão de $\pm 1^\circ$, medidas de distância com precisão de 1 cm e posicionamento das bases com erro menor do que 10 cm. Medidas entre as bases topográficas devem ocorrer sempre que houver alterações na morfologia da caverna. O caminhamento da topografia seguiu o método de bases fixas.

Os dados da topografia foram inseridos no *software OnStation*, permitindo assim a visualização dos dados da linha de trena de forma tridimensional. A cartografia final foi realizada em *software AutoCAD*, com plataforma georeferenciada. Nesse programa foram finalizados os itens da planta baixa como contorno de paredes e linha d'água. As seções foram anexadas contendo dados altimétricos de modo a permitir, além da visualização do volume da cavidade, uma

correlação com o ambiente externo. A altitude da entrada da caverna e os *grids* de coordenadas UTM do mapa foram obtidos através do GPS.

A cartografia gerada também possibilitou a elaboração de cálculos espeleométricos. A Carste utilizou, para o cálculo da projeção horizontal, o princípio da descontinuidade (Rubbioli & Moura, 2005), que desconsidera a largura dos condutos no cálculo final. Desse modo, a soma do comprimento de um conduto é feita em seu eixo central. No cruzamento entre dois condutos esta medição é interrompida de modo a não incluir o comprimento lateral do novo conduto (Figura 2).

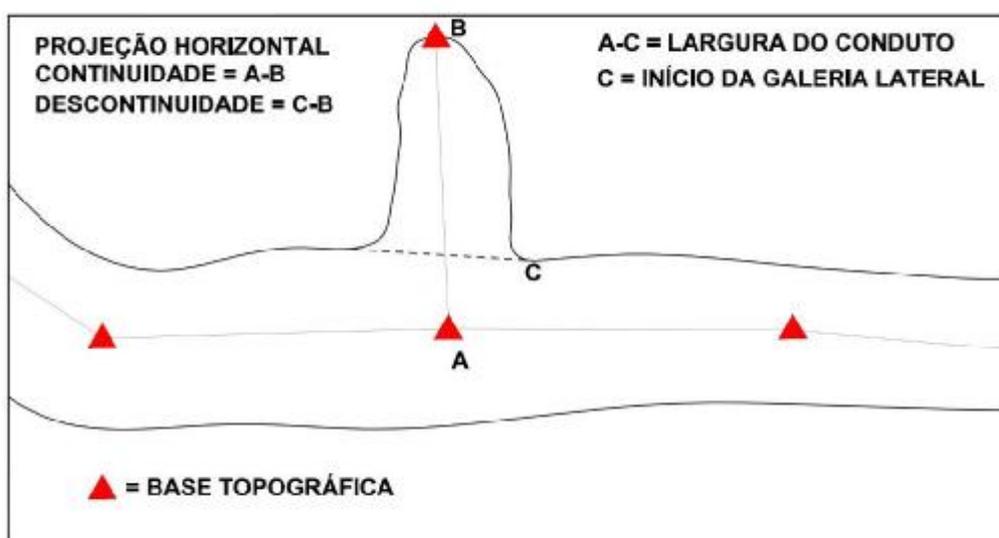


Figura 2. Medição da projeção horizontal de acordo com o método da descontinuidade.

O desnível é calculado pela diferença altimétrica das bases topográficas. É importante, no entanto, que na etapa de campo as bases visadas acima do nível do piso tenham sua altura registrada, para que posteriormente esta medida seja subtraída no momento da construção das curvas de nível. Em casos de patamar, paleopiso ou nível superior sua altura é considerada no cálculo do desnível.

O cálculo da área é feito no *software* AUTOCAD. Deve-se desenhar um polígono em torno da área total da cavidade e a partir deste é calculada a área total. Em caso da ocorrência de pilar sua área é calculada individualmente e subtraída do total. Em planta baixa, o nível superior é apenas indicado, sendo seu

detalhamento e cálculo espeleométrico feito separadamente. O resultado é então somado ao do nível inferior.

O volume é o produto da multiplicação da área total da cavidade e a altura média total de seus condutos. Para a obtenção desta última é necessária a realização de seções em pontos representativos da cavidade. Na maioria dos casos, os condutos possuem seções irregulares, com diferentes alturas de teto. Para que se consiga um valor mais próximo da realidade são feitas seções longitudinais sempre no eixo central do conduto e várias seções transversais. O passo seguinte é a obtenção da altura média de cada seção, que é obtida pela divisão de sua área pelo seu comprimento. A altura média total é a soma da altura de todas as seções dividida pelo total de seções consideradas: » altura média da seção = área/comprimento - » altura média total = soma das alturas médias das seções/número de seções. Desse modo, quanto mais seções forem consideradas maior será a precisão no cálculo do volume.

2.2.4. Análise litológica e das estruturas

A análise da litologia buscou caracterizar os litotipos identificados na caverna. Estruturas como fraturas, juntas de alívio, dobras e falhas foram descritas, quando presentes.

Essas estruturas constituem descontinuidades importantes, atuando como condicionantes na circulação da água no interior do maciço rochoso, além de intervir direta ou indiretamente no processo de formação e desenvolvimento das cavidades. Muitas vezes tais estruturas controlam a morfologia das cavernas, além de condicionarem processos de abatimentos em paredes e teto. A medição das estruturas foi realizada com bússola *Brunton*.

2.2.5. Análise morfológica

Na análise morfológica buscou-se a compreensão do padrão planimétrico da caverna, com o objetivo de correlacioná-lo a dados estruturais e litológicos. Para

tanto foi utilizada a planta baixa e seções transversais e longitudinais das cavidades, uma vez que suas formas estão diretamente relacionadas aos processos de gênese e evolução das cavernas.

2.2.6. Hidrologia

Com o objetivo de se determinar a dinâmica hidrológica das cavernas foi avaliada a presença de águas de percolação e condensação, além da presença de corpos hídricos.

2.2.7. Depósitos clásticos, orgânicos e químicos.

Depósitos de sedimentos clásticos foram classificados conforme sua granulometria e descritos de modo a fornecer pistas sobre sua origem e sedimentação. Os depósitos orgânicos também foram descritos de forma breve, quando existentes. Os depósitos químicos (espeleotemas) foram identificados, fotografados e descritos individualmente ou em conjunto.

2.3. Bioespeleologia

2.3.1. As campanhas de campo

Os estudos bioespeleológicos na área do Projeto S11D foram realizados em 2010. As cavidades foram inventariadas em dois períodos distintos, como segue:

- cavidades S11D-01 a 102: estudadas em duas campanhas de campo na época úmida (entre 13 e 31/01, e entre 18 e 22/02) e em duas campanhas na época seca (entre 01 e 14/07, e entre 03 e 19/08). Para essa área não foi realizado o estudo na cavidade S11D-04 (não localizada).
- cavidades S11-01 a 31 foram estudadas entre 24/02 e 04/03, e posteriormente entre 03 e 19/08.

- cavidades CAV-01 a 41, localizadas no topo do platô S11D, foram estudadas entre 22 e 31/05, e entre 22 e 30/09. A cavidade CAV-33 não foi localizada na primeira campanha.

2.3.2. Atividades de campo

Para caracterização das variáveis ambientais importantes para a fauna cavernícola foram registradas qualitativamente as condições de luminosidade, umidade dos substratos e recursos tróficos disponíveis. Para a luminosidade foi registrada a proporção total da cavidade com incidência de luz direta (E – zona de entrada), de luz indireta/área sombreada (P – zona de penumbra) e regiões sem incidência luminosa (A – afótica), sendo cada um desses setores avaliado separadamente para as demais variáveis. A complexidade da superfície foi registrada (piso rochoso, sedimento fino, cascalho, matacão, guano e outros). Foram levantadas as diferentes condições de umidade dos substratos no interior das grutas (presença de drenagem, lago, poça, gotejamento e percolação) e condições do piso (pó, seco, úmido ou encharcado). Informações sobre os recursos tróficos presentes também foram anotadas na ficha de campo (material vegetal, detrito, raízes, guano, fezes de vertebrados não voadores, bolotas de regurgitação, carcaça, entre outros). As características de cada setor podem ser observadas nas fichas de campo disponíveis no Anexo IV.

Os estudos envolveram o levantamento de invertebrados presentes em cada cavidade, a partir do método de busca ativa, no qual a totalidade dos substratos foi revisada em busca de espécimes, alguns dos quais coletados com a utilização de pinças e pincéis. O tempo de busca variou de acordo com o tamanho da cavidade e complexidade dos substratos, sendo que toda a área da cavidade foi averiguada. Evitou-se coletar em locais com vegetação nas regiões de entrada, a fim de diminuir a ocorrência de organismos epígeos localizados nesse substrato, como extensão do seu habitat (baseado em Trajano & Bichuette, 2006).

Os organismos foram acondicionados em recipientes com álcool 70% para fixação e conservação. Substratos de coleta e eventuais comportamentos e

interações ecológicas observadas durante o levantamento faunístico foram registrados. Registros fotográficos foram realizados quando pertinente.

A presença de vertebrados e/ou vestígios nas cavidades foi registrada sempre que possível através de anotações e fotografias.

A amostragem de quirópteros localizados no interior da cavidade foi feita a partir de identificação visual, registro fotográfico e, sempre que possível, foi utilizado o método de busca ativa por meio do uso de puçás de hastes extensíveis (tamanho máximo de 3 m de comprimento) para pesagem e tomada de medidas. Algumas etapas antes do início das seções de capturas foram seguidas: localização dos morcegos e suas colônias dentro das cavernas; espera até que os indivíduos se acostumassem com a presença dos integrantes da equipe; realização de registro fotográfico; seleção dos espécimes a serem capturados. Ocasionalmente indivíduos foram coletados para identificação posterior. O tamanho de cada uma das populações foi estimado por meio de senso visual.

2.3.3. Atividades de laboratório

Todo o material coletado foi triado em laboratório com o uso de estereomicroscópio e microscópio, sendo posteriormente agrupado por morfoespécies e identificado com o auxílio de chaves para características morfológicas. Quando necessário, táxons foram enviados a especialista para refinamento das identificações e análise morfológica.

Comparações morfológicas, especialmente considerando os troglomórficos, foram feitas com exemplares coletados em cavidades da Serra dos Carajás em estudos anteriores (Golder Associates, 2009) e em andamento (Serra Norte).

Os locais de depósito de material biológico são: Museu de Zoologia da USP (São Paulo), Instituto Butantan (parte de Arachnida) e museu de referência da Faculdade de Saúde Pública da USP (Diptera Phlebotominea).

2.3.4. Análises

Os valores de riqueza absoluta de espécies das cavidades foram utilizados como valor de riqueza para comparação. A presença de um táxon jovem (sem identificação) foi contabilizada apenas se não ocorreu na mesma cavidade a presença de adulto com identificação mais precisa, para não superestimar o resultado.

Curvas de acumulação do tipo Mao tau foram construídas considerando cada cavidade como uma amostra da fauna subterrânea local. A curva de acumulação de espécies foi obtida através do programa PAST versão 2.02 (Hammer et al., 2001).

A abundância relativa foi obtida considerando espécies de vertebrados e de invertebrados com adultos de tamanho corporal maior ou igual a 1 cm, tendo sido utilizados os números de indivíduos obtidos durante as observações de campo e identificações do material coletado. A fórmula utilizada para o cálculo foi $Ab = n \times 100 / N$, onde Ab (%) é a porcentagem da abundância da espécie alvo, n é o número de indivíduos da espécie alvo por época e N é o total de indivíduos das espécies presentes em cada época de coleta com adultos com mais de 1 cm. Os valores de abundância relativa foram obtidos separadamente para cada época para evitar que um mesmo indivíduo entrasse duas vezes no mesmo cálculo. Foram consideradas como abundância alta, as espécies com número de indivíduos acima de 20% do total de indivíduos. Para configurar o atributo foi utilizado o maior valor entre épocas de coleta.

3. ESTUDOS ANTERIORES E ESPELEOLOGIA REGIONAL

O Brasil, possuidor de algumas das maiores reservas de minério de ferro do mundo é, portanto, candidato natural a apresentar um grande potencial espeleológico em cavidades nessa litologia. De fato, as duas maiores áreas de exploração de minério de ferro no país (Quadrilátero Ferrífero e Carajás) têm revelado uma série de cavernas desse tipo, onde o esforço tem sido maior. Porém, outras regiões do país possuem reservas de ferro e com algum potencial

espeleológico, como Mato Grosso do Sul (Corumbá) e na Bahia (Caetitê). Uma introdução às ocorrências espeleológicas em minério de ferro e canga é apresentada por Auler & Piló (2005).

As cavernas têm merecido alguma atenção na literatura especializada, sendo a maior parte das referências provindas do Quadrilátero Ferrífero (MG) e Serra dos Carajás e arredores (PA). Provavelmente a primeira menção a cavidades em minério de ferro no Brasil seja devida ao francês Noël Aimé Pissis que, em 1842, descreveu cavidades e estalactites no itabirito do Quadrilátero Ferrífero (Pissis, 1842). Em 1871 o mineralogista inglês William Jory Henwood (1871) descreveu a existência de estreitas fendas em itabirito na região de Água Quente, Quadrilátero Ferrífero. Após essas referências pioneiras, importantes descrições de cavernas foram feitas no Quadrilátero Ferrífero, dentre as quais: Tassini (1947), Guild (1957), Simmons (1963) e Dorr (1969).

Recentemente houve uma retomada dos estudos espeleológicos nas cavernas em minério de ferro e canga do Quadrilátero Ferrífero. Piló & Auler (2005) apresentaram uma revisão sobre o tema, com ênfase nas cavidades da Mina de Capão Xavier. Novamente, Piló & Auler (2006) elaboraram uma pesquisa em quatro áreas do Quadrilátero ferrífero: Mina do Pico, Parque Estadual serra do Rola Moça, Capão Xavier e Serra da Moeda.

Na região da Serra dos Carajás (PA), a primeira referência a cavernas deve-se a Tolbert et al. (1971), que comenta sobre as grandes cavernas encontradas sob o manto de canga. Os estudos espeleológicos na Serra dos Carajás tiveram um grande avanço a partir dos trabalhos de elementos ligados ao Grupo Espeleológico Paraense - GEP, notadamente Clóvis W. Maurity e Roberto Vizeu L. Pinheiro. Em seu primeiro relatório Pinheiro et al. (1985) detalham 4 cavernas, além de discorrerem sobre as feições encontradas e sua possível gênese. Este trabalho foi detalhado em Pinheiro & Maurity (1988) onde a interpretação espeleogenética é aprimorada. Maurity & Kotschoubey (1995) posteriormente produziram um detalhado estudo não só sobre a gênese das cavidades, como também sua mineralogia, trabalho este reproduzido recentemente (Maurity & Kotschoubey, 2005). Nos arredores da Serra dos Carajás, Atzingen & Crescêncio (1999)

apresentaram uma descrição com mapas de algumas cavernas na região do garimpo de Serra Pelada.

Piló & Auler (2009) apresentaram, mais recentemente, uma caracterização das cavernas de minério de ferro e canga da região de Carajás. Segundo os autores, essas cavernas já foram identificadas nas serras Norte, Sul, Leste, Tarzan e Bocaina (Figura 3).

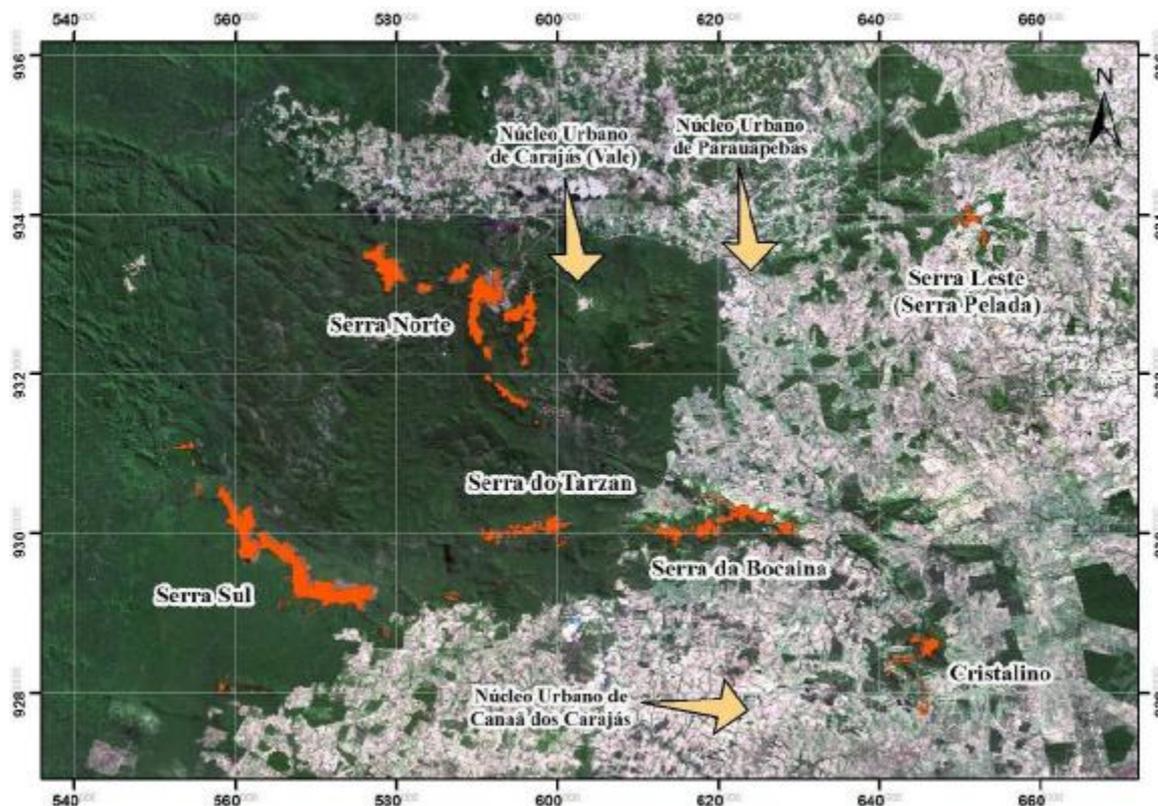


Figura 3. Principais serras da região de Carajás, onde ocorrem as cavidades.

Essas cavernas encontram-se inseridas na base de pequenas escarpas rochosas posicionadas, predominantemente, no terço superior/médio das vertentes inclinadas, morfologia que faz a conexão entre o topo dos planaltos dissecados, localmente denominados de platôs, e as planícies aluviais.

A maioria das cavernas já registradas na região de Carajás, até o momento, é constituída por dois litotipos: a formação ferrífera (minério de ferro) e a canga detrítica. Mas já foram registradas cavernas inseridas exclusivamente na formação ferrífera, como também só na canga detrítica.

Essas ocorrências ferríferas foram denominadas de Formação Carajás, unidade intermediária do Grupo Grão Pará (Beisiegel et al. 1973). Sua idade mínima é determinada, de acordo com Trendall *et al.* (1998), por um sill máfico que corta a referida formação, datado de 2.740 ± 8 MA.

Já a canga detrítica, produto secundário da formação ferrífera, tem sido posicionada cronologicamente no final do Cretáceo/início do Terciário, segundo Pinheiro *et al.* (1985) e Pinheiro & Maurity (1988).

As superfícies do bandamento da formação ferrífera, muitas vezes, controlam o desenvolvimento da direção preferencial de cavernas. As fraturas também respondem como estruturas de controle na direção preferencial de condutos. Flexuras do tipo *kink bands* também foram registradas nas cavernas, mas não foi constatado nenhum tipo de controle na morfologia ocasionado por essas estruturas.

Fraturas atectônicas, de alívio de pressão, foram registradas na grande maioria das cavernas, tanto na canga como no minério de ferro, influenciando localmente a ocorrência de movimentos de massa do tipo abatimentos. Importantes frentes de alteração da rocha também são guiadas por essas juntas.

O padrão planimétrico das cavernas de Carajás pode ser dividido preliminarmente em três grupos, ou seja, *cavernas espongiiformes*, *cavernas retilíneas* e *cavernas mistas*.

As cavernas espongiiformes se caracterizam por condutos de tamanho variado que se interconectam de forma irregular (globular), como os poros de uma esponja. Normalmente a conexão entre câmaras maiores é feita por meio de condutos estreitos.

As cavernas retilíneas são formadas por condutos simples, seguindo uma direção preferencial, condicionada por junta ou pela superfície inclinada do bandamento da rocha ferrífera.

As cavernas de minério de ferro e canga são em geral de pequenas dimensões. A grande maioria é inferior a 30 m. Cavernas com projeções horizontais superiores a 100 m são menos freqüentes. A maior caverna de minério constatada na região, localizada na Serra Norte, possui 372 m de projeção horizontal.

A grande maioria das cavernas estudadas na região de Carajás é seca. Ou seja, os processos hidrológicos associados a cursos d'água perenes são muito restritos no interior das mesmas, só ocorrendo em poucas cavernas localizadas nas proximidades de igarapés. Surgências e canais de drenagem temporários podem ocorrer, gerados pela concentração do gotejamento ou percolação de águas infiltradas via canalículos ou juntas. A atividade hidrológica mais freqüente nas cavernas, portanto, consiste em gotejamentos devido a águas de percolação que se infiltram até a caverna e gotas de condensação nas paredes.

Os depósitos clásticos das cavernas de Carajás podem ser divididos em dois tipos. Depósitos formados por sedimentos predominantemente de caráter autogênico, gerados a partir de material do próprio substrato encaixante (formação ferrífera e/ou canga); depósitos formados por sedimentos mistos: autogênicos e alogênicos, ou seja, gerados tanto no interior da caverna como vindos de fora.

Os depósitos predominantemente autogênicos são constituídos por clastos de hematita originados do minério de ferro, da canga e, por vezes, de rochas máficas. Esses clastos são originados principalmente de processos gravitacionais do tipo abatimentos de porções do teto e das paredes. Diante disso, os depósitos apresentam uma estreita relação com os constituintes do substrato sobrejacente.

Os depósitos mistos também são muito freqüentes nas cavernas. Os depósitos alogênicos são originados principalmente dos canalículos e juntas alargadas existentes na grande maioria das cavernas, como também de clarabóia e cones sedimentares de entrada.

Depósitos formados por sedimentos orgânicos também já foram identificados. Destaca-se, nesse contexto, a serrapilheira, que ocorre principalmente nas entradas e sob as clarabóias. Raízes também pendem do teto de diversas cavernas, como também podem aflorar freqüentemente no piso. Poças de guano também foram identificadas, além de fezes de mamíferos.

Os depósitos químicos (espeleotemas) podem ser identificados em praticamente todas as cavernas da região de Carajás. Os mais freqüentes são os depósitos de cobertura (crostas) de blocos abatidos, pisos e paredes. Os coralóides, também são freqüentes nas cavernas, constituindo depósitos de

exudação de grande diversidade nas cavernas de Carajás. Microtravertinos, escorrimentos, pingentes e cortinas também já foram identificados.

Dados já obtidos de Difração de Raios X – DRX (Maurity & Kotschoubey, 2005; Piló & Andrade, 2006) evidenciaram uma grande diversidade de minerais, bem superior daquela encontrada nas cavernas carbonáticas. O óxido de ferro do tipo hematita (Fe_3O_4) é o mineral mais abundante nos espeleotemas analisados, juntamente com a goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$), sendo também freqüentes em cavernas ao redor do mundo (Hill & Forti, 1997). Em função da estabilidade termodinâmica similar, os minerais goethita e hematita frequentemente ocorrem juntos. Já a gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$) foi identificada em um número menor de amostras até o momento.

Quanto aos fosfatos, a leucofosfita ($\text{KFe}_2(\text{PO}_4)_2\text{OH}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) já foi identificada em vários espeleotemas de cavernas da Serra Norte. Esse mineral também foi identificado por Maurity & Kotschoubey (1995) na Serra dos Carajás.

A strengita ($\text{Fe,Al}(\text{PO}_4)_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$), mineral fosfático de ferro e alumínio, foi detectado em algumas cavernas, tendo sido também identificado por Maurity & Kotschoubey (1995) como revestimentos de pisos, blocos, bem como cimento de paleopavimentos em cavernas da serra Norte.

Três sulfatos já foram registrados: a gipsita ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$), a alunita ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)(\text{OH})_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$) e a basaluminita ($\text{Al}_2\text{SO}_4(\text{OH})_{10}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$).

Poucos estudos faunísticos foram realizados em cavidades subterrâneas naturais presentes em minério de ferro e canga no mundo como um todo, em grande parte devido à sua pequena dimensão, não despertando a atenção de pesquisadores. No Brasil, a maioria dos estudos bioespeleológicos foi conduzida em cavernas carbonáticas, e, em menor quantidade, em rochas areníticas e quartzíticas (Pinto-da-Rocha, 1995). Levantamentos faunísticos em cavidades presentes em minério de ferro foram efetuados inicialmente no Pará (Moreira & Paiva, 1988; Paiva & Moreira, 1988; Pinheiro *et al.*, 2001), entretanto, com pouco refinamento nas identificações e sem menção aos aspectos ecológico-evolutivos dos organismos registrados.

Levantamentos mais recentes, efetuados em cavidades de canga e minério de ferro na região do Quadrilátero Ferrífero (MG) (Ferreira, 2005) e Serra dos Carajás

(PA) (Andrade, 2007), têm revelado uma fauna diversificada e interessante, inclusive com organismos troglomórficos. Inventários estão sendo conduzidos em cavidades de diferentes regiões na Serra dos Carajás, sendo que os resultados poderão facilitar a compreensão da distribuição de comunidades subterrâneas na região (Andrade, em andamento). Estudos bioespeleológicos anteriores na área de S11D foram efetuados dentro de um projeto mais amplo, denominado Área Mínima de Canga (Golder Associates, 2009), e indicaram uma fauna diversificada, além da presença de troglomórficos não restritos às cavidades da área.

4. INSERÇÃO DAS CAVERNAS NO CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO

A região da Província Mineral de Carajás está localizada na porção oriental do Escudo Brasil Central, limitada a leste pelo Cinturão Araguaia e a oeste pelo rio Xingu (DOCEGEO, 1988). Sua litologia compreende rochas metavulcano-sedimentares do Grupo Grão Pará de idade neoarqueana, composto por metavulcânicas máficas a félsicas, tendo como unidade intermediária a Formação Carajás, composta por formações ferríferas bandadas (FFB's). Na base do Grupo ocorre a Formação Parauapebas, constituída de rochas metavulcânicas (basaltos e riolitos). Sotoposto às sequências metavulcano-sedimentares ocorre o Complexo Xingu, constituído por gnaisses graníticos, granodioríticos e tonalíticos, migmatitos, anfibolitos, rochas máficas e ultramáficas, que compõem o embasamento cristalino. A Tabela 1 apresenta a coluna estratigráfica proposta por Macambira et al. (1990).

A descrição que se segue foi elaborada com base na caracterização geológica da área de estudo apresentada pela Golder Associates no Estudo de Impacto Ambiental (EIA-RIMA) do Projeto S11D.

Tabela 1. Coluna cronolitoestratigráfica da Serra Norte, modificada de Macambira *et al.* (1990).

EON	ERA	UNIDADE	DESCRIÇÃO
FANEROZÓICO	PALEOZÓICO	CORPOS MÁFICOS INTRISIVOS	Diques e soleiras de diabásios
PROTEROZÓICO	INFERIOR	GRANITO SERRA DOS CARAJÁS	Granitos a anfibólios e/ou biotita
		GABRO SANTA INÊS	Gabro grosseiro hidrotermalizado
		FORMAÇÃO IGARAPÉ AZUL	Arenitos com níveis conglomeráticos e siltitos intercalados
ARQUEANO	GRUPO GRÃO PARÁ	Formação Igarapé Boa sorte	Siltitos e folhelhos carbonáticos, com arenitos subordinados
		Formação Igarapé Cigarra	Basaltos, tufos, BIF, chert, quartzo wacke e quartzo arenito
		Formação Carajás	BIFs com soleiras de basalto
		Formação Parauapebas	Basaltos e riolitos
	GRUPO POJUÇA	Formação Gameleira	Meta-Wackes e meta-siltitos
		Formação Corpo 4	BIFs (sulfeto) e xistos
		Formação Bueno	Anfibolitos e BIFs (óxido)
	COMPLEXO XINGU		Gnaisses granodioríticos a tonalíticos, anfibolitos e trondhjemitos

Na área Diretamente Afetada (ADA) pelo Projeto S11D predominam as sequências vulcanossedimentares do Grupo Grão Pará, dispostas em um polígono com alinhamento E-W que constitui o Corpo D. Na porção sul da ADA, em terrenos mais arrasados ocorrem rochas gnáissicas de composição tonalítica, trondhjemítica e granodiorítica do Complexo Xingu, de idade arqueana que compõem o embasamento cristalino.

O Grupo Grão Pará é subdividido em quatro unidades (Tabela 1), das quais apenas três ocorrem na área do Projeto S11D:

4.1. Formação Parauapebas

Esta Formação, que constitui a base do Grupo Grão Pará, é composta por uma sequência vulcânica com espessura entre 4 e 6 km (Gibbs et al 1986), com predomínio de minerais máficos a subordinadamente félsicos. As rochas vulcânicas máficas a ácidas caracterizam-se por basaltos a andesitos basálticos de natureza efusiva, apresentam amígdalas e vesículas ocasionalmente orientadas segundo as direções de fluxo ígneo. Quando são possui coloração esverdeada e aspecto maciço, passando a avermelhada com aspecto saprolítico quando decomposta. Os principais minerais constituintes são clorito, anfibólio, epidoto, quartzo, carbonatos, biotita, magnetita e pirita. Podem apresentar estruturas vesiculares e amigdaloidais preenchidas por quartzo, carbonatos, epidoto e anfibólios.

A ocorrência de cavernas nessa formação é mais freqüente em rochas decompostas, muitas vezes em zonas de contato com litotipos da Formação Carajás e coberturas lateríticas. Apenas uma cavidade em metabasalto fresco foi registrada (S11-31).

O contato com os jaspelitos e hematita mole da Formação Carajás pode ocorrer de forma brusca ou gradacional, com interdigitações milimétricas a centimétricas.

4.2. Formação Carajás

A Formação Carajás é constituída predominantemente por formação ferrífera bandada do tipo jaspilito, em grande parte transformada em minério hematítico, com predomínio de hematita mole (HM). Na área de estudo ocorrem na forma de duas camadas mais expressivas de espessura variada na ordem de 100 metros. As formações ferríferas são predominantemente fácies óxido, com bandamento composicional com alternância entre camadas constituídas por minerais de ferro e camadas silicosas (chert). Localmente podem apresentar-se intensamente

fraturadas e em muitos casos de forma descontínua. Alguns fraturamentos podem eventualmente estar preenchidos por veios de quartzo. As formações ferríferas são divididas em fácies petrográficas macroscópicas em função da persistência e regularidade do bandamento:

Fácies 1 – composta por bandas de espessura entre 0,1 e 1 cm, de sílica e hematita/magnetita. Apresenta padrão freqüente e regular em espessura e composição das bandas. A composição mineralógica pode ser carbonática, silicosa, clorítica e argilosa. Em função dessa composição as bandas de chert podem apresentar coloração pode variar de esbranquiçada a amarronzada, tendo as bandas hematíticas e a coloração cinza.

Fácies 2 – apresenta bandamento irregular e descontínuo com bandas de sílica com espessura entre 0,5 e 2 cm, com laminação interna fina (1 mm) de óxidos de ferro. Ocorrem também bandas mais espessas de óxido de ferro (2 a 3 cm) que envelopam as bandas silicosas. A característica principal desta fácies é o fraturamento das bandas silicosas, podendo por vezes apresentar certa continuidade, porém de modo irregular e o aspecto plástico do bandamento. Sua mineralogia é a mesma observada na fácies 1.

Fácies 3 – tem caráter sedimentar brechóide com fragmentos de jaspelito subangulosos a subarredondados, com dimensões entre 0,5 e 10 cm suportados por matriz de óxidos de ferro, sem orientação preferencial.

4.3. Minério de Ferro

Na área do Projeto S11D ocorrem basicamente três tipos de minério de ferro: minério compacto, minério friável e pulverulento, sendo agrupados em dois tipos granulométricos: Hematita Mole e Hematita Dura.

A hematita mole (HM) é o tipo mais freqüente nos furos de sondagem e galerias. Apresenta coloração entre cinza escura a avermelhada, em função da proporção dos contaminantes. Composta basicamente por hematita, com massas irregulares de magnetita, goethita e limonita provenientes do protominério jaspelítico, além de caulim e outros argilominerais provenientes da alteração de rochas máficas. Nos tipos friáveis podem ocorrer estruturas como laminações,

microfalhamentos e dobramentos preservados, sustentados por lâminas de hematita dura herdadas do protominério. Tais estruturas não estão presentes no tipo pulverulento.

A hematita dura (HD) apresenta estrutura predominantemente maciça e compacta com bandamento eventualmente perceptível. A coloração é cinza-azulada.

Na área de S11D o minério de ferro mole apresenta espessuras que podem variar de 20 m nas bordas do platô e entre 200 e 350 m nas porções centrais, com espessura máxima de 410 m. Ocorrem em subsuperfície numa faixa de direção E-W com aproximadamente 1,5 a 2 km de largura.

A maior parte das cavernas estudadas em S11D está inserida na formação ferrífera bandada (FFB) e nas coberturas lateríticas que a recobrem.

4.4. Cobertura Laterítica associadas à FFB

Na superfície do platô de S11 ocorrem amplas coberturas lateríticas (cangas), que em face de sua resistência à erosão funcionam como elemento de sustentação dos topos do platô. As cangas são produtos de alteração intempérica de rochas ricas em ferro, sendo constituídas por fragmentos de tamanhos variados (em geral de 1 a 10 cm) das rochas subjacentes, cimentados por matriz limonítica/goethítica. Geralmente, trata-se de material muito hidratado, com altos teores de fósforo e alumina. Podem ocorrer *in situ* ou depositadas na forma de elúvios. Na área de estudo distinguem-se três tipos de cangas: canga química (CQ), canga de minério (CM) e hematita laminada lateritizada (HLL).

A canga química (CQ) é formada pelo intemperismo químico com raros fragmentos saprolitizados de rochas máficas e formação ferrífera, cimentados por limonita/goethita. Ocorrem geralmente sobre rochas vulcânicas máficas. A canga de minério (CM) é formada por processos de intemperismo químico, sendo composta por fragmentos de formação ferrífera ou de hematita lamelar, cimentados por matriz limonítica/goethítica com aspecto terroso. A hematita laminada lateritizada (HLL) apresenta laminação com estruturas parcialmente preservadas, devido à formação de horizontes cimentados por minério de ferro.

4.5. Ferricrete

O ferricrete foi aqui definido como uma rocha argilosa, de origem coluvionar, que foi ferruginizada (e não laterizada) por transferência lateral de soluções ricas em Fe^{2+} , originadas de rochas ultramáficas e da formação ferrífera posicionadas em porções mais elevadas da paisagem. Essas soluções, já locadas em seus sítios deposicionais, sofreram posterior oxidação e precipitaram novamente como óxidos de ferro (particularmente goethita e hematita), cimentando e endurecendo o material coluvionar.

Esse litotipo já foi observado em cavernas próximas a Canaã dos Carajás e a análise litológica partiu, inicialmente, da constatação, no mapa geológico, que as coberturas ferruginosas onde se localizam as cavernas, estão assentadas sobre rochas do embasamento (Complexo Xingu). É muito provável que as rochas do embasamento não foram a principal fonte de ferro para a formação da extensa cobertura ferruginosa, mas sim as rochas ultramáficas existentes nos morros do entorno.

No Projeto S11D os ferricretes constituem carapaças ferruginosas que recobrem, com extensões variáveis, áreas mais rebaixadas no sopé da serra, geralmente associados a calhas de drenagem e na depressão periférica próximo à localidade de Mozartinópolis, sobre gnaisses do Complexo Xingu.

Os ferricretes na área de S11D são responsáveis pela ocorrência de cavidades de tamanho e forma variados, entre elas a caverna S11-07, com desenvolvimento superior a 1.500 m.

4.6. Tectônica

Segundo Pinheiro (1997), a evolução tectônica de Carajás iniciou-se com o estabelecimento de uma zona de cisalhamento dúctil arqueana de direção E-W (Zona de Cisalhamento Itacaiúnas). Um evento transpressivo posterior teria deformado as litologias do Grupo Igarapé Pojuca, seguido por um evento transtrativo dextral, responsável pela subsidência das litologias pré-existentes no interior da Bacia de Carajás. A Falha Carajás marcaria o limite de subsidência e

deslocamento dextral transtensivo da Estrutura de Carajás, a qual seria invadida por um enxame de diques e sills máficos por volta de 2.6 Ga. Um episódio de transpressão sinistral entre 2.6 Ga e 2.0 Ga reativaria a Falha Carajás, deformando as rochas situadas no interior da Estrutura Carajás.

Araújo *et al.* (1988) e Araújo & Maia (1991) definem, na Província Mineral de Carajás, o Cinturão Itacaiúnas como a principal estrutura geotectônica do Arqueano, nele distinguindo-se, ao norte, um domínio transcorrente com seqüências vulcanossedimentares associadas e, ao sul, um domínio imbricado oblíquo caracterizado por forte lenticularização de rochas granulíticas, gnaisses diversos, granitóides e rochas supracrustais. Segundo estes mesmos autores, em termos geométricos o domínio transcorrente situado na porção norte de Carajás, com seqüências vulcanossedimentares associadas, pode ser dividido em dois sistemas:

- Sistema Serra dos Carajás: caracterizado por uma estrutura sigmoidal, alongada na direção WNW-ESE e limitada pelas serras Norte e Sul e,
- Sistema Cinzento: localizado na porção NE da Província Mineral de Carajás, envolvendo as rochas constituídas principalmente por uma seqüência vulcanossedimentar tipo greenstone-belt pertencente ao Grupo Rio Novo, além de rochas do Complexo Xingu e do gnaiss Estrela, onde a geometria interna da mega-estrutura é definida por frações lenticulares dos diferentes termos petrográficos supracitados.

5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste item serão apresentados os resultados dos estudos espeleológicos, incluindo a prospecção, geoespeleologia, bioespeleologia e a análise de relevância das cavernas.

5.1. Prospecção espeleológica

A prospecção realizada pelo GEM/FCCM na área do platô ocasionou a identificação de 102 cavernas, denominadas de S11D. Como foi o primeiro trabalho efetuado pela GEM/FCCM, não foi registrado o caminhamento da

prospecção em mapa, nem tampouco apresentado um mapa ou imagem com uma malha de pontos obtidos no campo.

Nas áreas das estruturas de apoio planejadas do projeto (Usina, barragem e instalações), O GEM percorreu 534,1 km, o que ocasionou a identificação de **31** cavidades (GEM/FCCM, 2008). Essas cavernas foram denominadas de **S11**. O mapa com os pontos de caminhamento obtidos no campo pode ser observado na Figura 4.

Nas áreas das pilhas de estéril, o NEV realizou caminhamento na pilha 2 e parcialmente na pilha 3, onde foram identificadas mais **41** cavernas. Essas cavidades foram denominadas de **CAV**. O mapa com o caminhamento nessas áreas encontra-se na Figura 5.

No total foram cadastradas **174** cavidades na área do Projeto S11D. No entanto, a caverna S11D-04 não foi encontrada durante os trabalhos de topografia, geoespeleologia e bioespeleologia (ver item 2.1). Essa caverna foi excluída dos estudos. Ou seja, no total foram estudadas **173** cavernas.

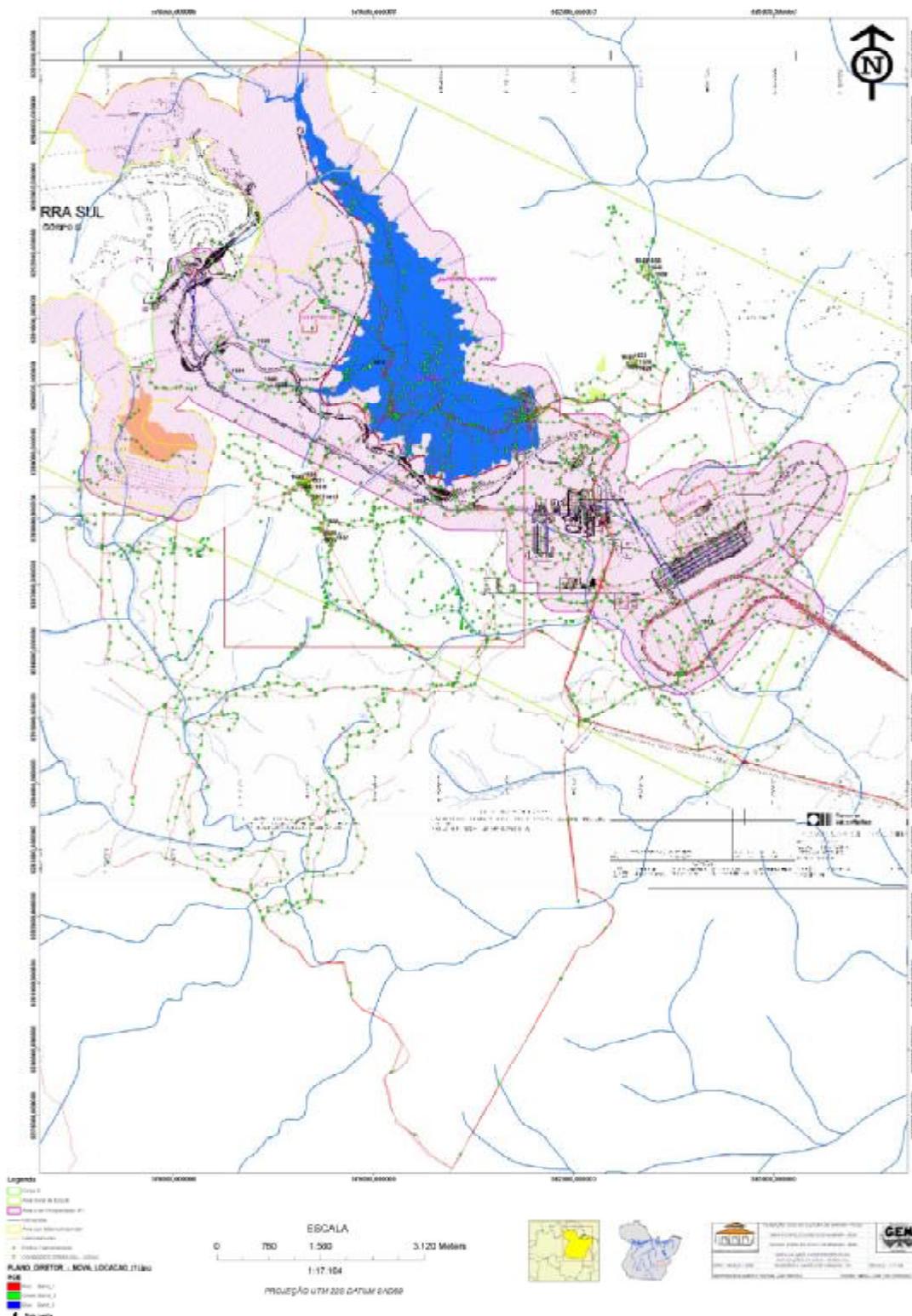


Figura 4. Mapa de caminhada (pontos verdes) nas áreas das estruturas de apoio planejadas (Usina, barragem e instalações). A barragem apresentada nesta figura foi excluída do Plano Diretor do Projeto S11D. Fonte: GEM/FCCM, 2008.

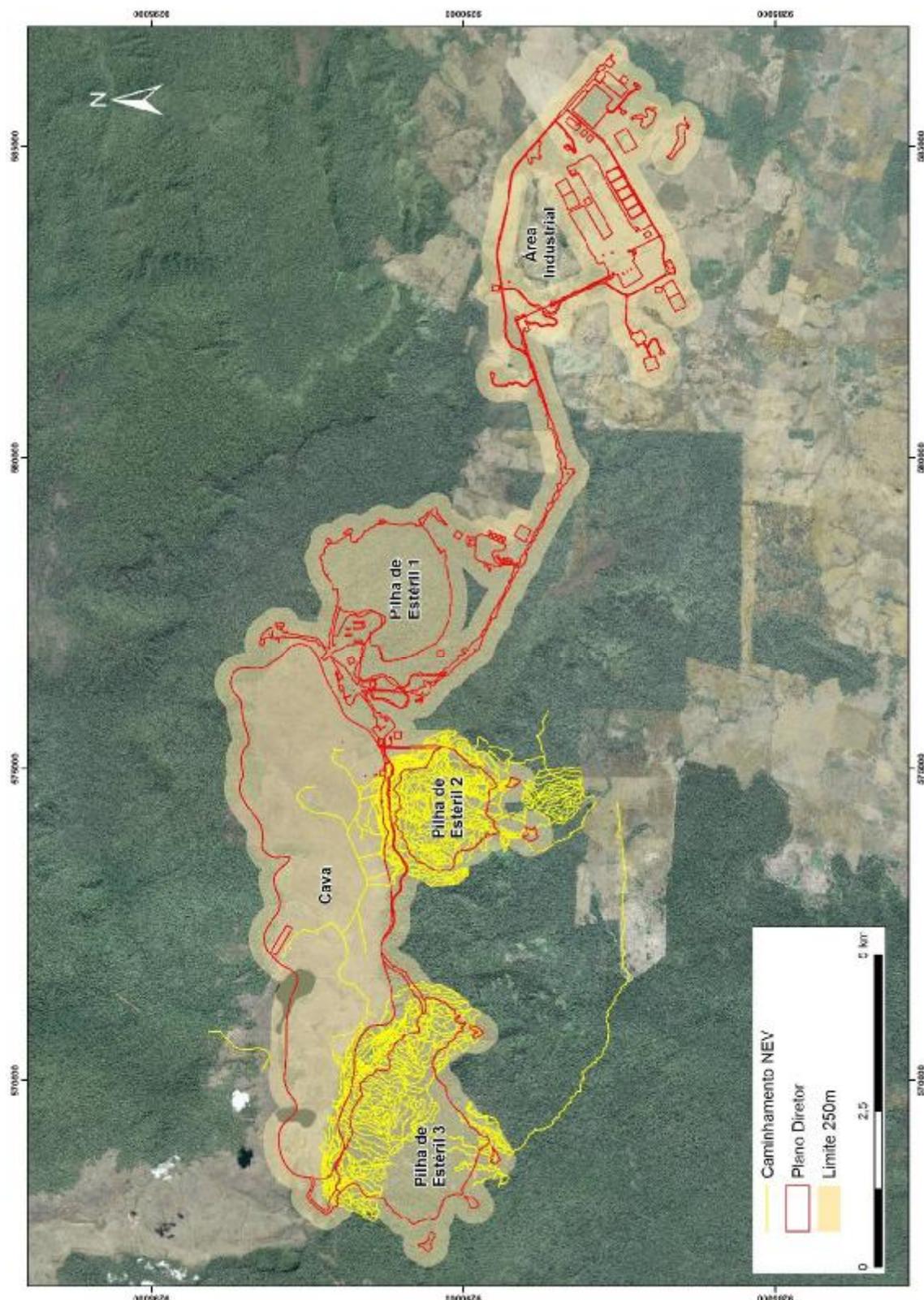


Figura 5. Mapa de caminhamento de prospecção espeleológica (linhas amarelas) do NEV nas áreas das pilhas de estéril 2 e 3 (parcial). Fonte: Vale, 2010.

5.2. Geoespeleologia

A seguir serão apresentados os resultados dos estudos geoespeleológicos realizados nas 173 cavernas do Projeto S11D. A Tabela 2 apresenta as coordenadas UTM, a altitude e os dados espeleométricos das cavidades. As fichas de geoespeleologia de cada caverna estudada encontram-se no Anexo I, enquanto que os mapas topográficos de cada cavidade são apresentados no Anexo II.

Tabela 2. Coordenadas e espeleometria das cavidades estudadas em S11D.

Cavidade	UTM leste	UTM norte	Altitude	Projeção Horizontal	Desnível	Área	Volume
CAV-01	573567	9291252	779	34	0,8	101	152
CAV-02	573487	9291163	788	9,5	0,4	29	21,7
CAV-03	573582	9291261	788	24,5	2	53,6	55
CAV-04	574025	9291173	755	22,6	0,93	30	34
CAV-05	573679	9291284	789	9,3	0,3	9	5
CAV-06	573803	9291311	810	10,6	3,5	29	19
CAV-07	573804	9291314	810	8,5	2,8	38	122
CAV-08	573995	9291169	760	14	0,5	36	48
CAV-09	574603	9290084	547	10,2	1,8	90,6	115
CAV-10	574315	9291333	813	9	2,18	13	7
CAV-11	574375	9291352	819	9	0,3	13	15
CAV-12	574392	9291346	813	16,2	8	24	13
CAV-13	574604	9291358	839	10,7	0,6	11	8,8
CAV-14	575092	9290710	723	6,4	8	5	6
CAV-15	569807	9291911	762	10,2	5,4	15	14
CAV-16	569810	9291915	762	5,3	1,25	5	7
CAV-17	569754	9291818	735	11,3	0,3	10	9
CAV-18	569769	9291823	736	14	3,5	32	34,5
CAV-19	569793	9291903	759	18	2	45	43
CAV-20	569791	9291877	743	18	2,3	31	36
CAV-21	569727	9291922	751	9,4	1,6	14	20
CAV-22	569741	9291837	796	8	3,4	23	35
CAV-23	570680	9290848	661	9,1	0,2	24	30
CAV-24	570140	9291903	800	13	0,1	27	17
CAV-25	570674	9290854	680	6,6	1	30	28
CAV-26	570174	9291491	708	7,2	0,2	13	13
CAV-27	570858	9290756	702	8,8	1,3	7	5
CAV-28	569798	9291586	664	5,1	0,6	7,9	6
CAV-29	570690	9290859	678	5,9	0,2	19,4	18
CAV-30	574699	9289424	423	6	1,4	20,1	13
CAV-31	570606	9291455	765	13,3	0,8	43,2	34
CAV-32	574787	9289599	452	10,8	0,2	42,3	21
CAV-33	570664	9291537	779	6,7	1,5	10,5	12,8

CAV-34	568314	9292264	707	58	8,55	246	320
CAV-35	568002	9291837	567	25	2,5	110,9	79
CAV-36	569765	9291555	668	12,2	1,5	27,6	24
CAV-37	568103	9292050	617	6,8	0,2	20,7	14
CAV-38	569597	9291111	585	10,6	0,1	28	14
CAV-39	569337	9290903	531	8	0,9	20,4	18
CAV-40	570387	9290816	622	18	0,8	66	109
CAV-41	570340	9290825	611	26,4	4	94,8	143
S11-01	583160	9291701	332	6,3	3,1	6,7	3
S11-02	579549	9288192	509	9,7	4,5	32,4	50
S11-03	578082	9288464	634	5,8	0,2	9,4	10
S11-04	578080	9288464	633	10	2,2	11,7	10
S11-05	578167	9288250	663	8,4	1,4	10	6
S11-06	578237	9288238	673	6,7	0,4	21	21
S11-07	583855	9286360	277	1546	5,3	4224	4340
S11-08	578920	9290284	339	21,8	3	42	44
S11-09	577995	9288574	619	6,3	2	25,1	48
S11-10	577975	9288558	639	9,5	0,2	15,2	31
S11-11	578027	9288496	655	15,8	0,7	19,3	8
S11-12	582939	9290340	304	17,5	2,3	40,6	60
S11-13	582932	9290328	310	13,4	1,8	12,3	11
S11-14	582936	9290323	309	9,1	2	8,7	5
S11-15	582929	9290350	319	8	2,1	21,1	76
S11-16	582861	9290370	317	38,1	4,9	68,4	183
S11-17	577954	9288568	649	5,6	3,2	19,3	23
S11-18	577911	9288582	640	13	1	37	15
S11-19	578341	9287741	637	14,2	5,7	36,2	54
S11-20	578335	9287688	645	53,6	3,9	72,6	30
S11-21	578381	9287621	631	48,7	7,5	196,3	343
S11-22	577209	9290620	461	15,2	2,8	74,1	84
S11-23	577446	9289960	405	12,1	1,7	26,1	21
S11-24	577312	9290029	403	6,3	1,3	17,1	13
S11-25	576829	9290128	430	31,9	6,1	52	29
S11-26	583098	9291705	410	20,2	5,2	43,5	40
S11-27	583076	9291792	383	19,4	2,2	30,7	46
S11-28	583065	9291757	375	29,2	2,1	73,1	125
S11-29	578258	9287882	632	11,3	3,4	21,1	35
S11-30	578321	9287791	643	6,8	3,1	6,4	5
S11-31	578467	9291433	455	12,4	5,5	37	73
S11D-001	571106	9292722	767	117	6,6	618,5	1706
S11D-002	571723	9292326	751	45,5	2,65	120,5	301
S11D-003	571870	9292476	746	13,5	1,82	30	30,5
S11D-005	571879	9292451	756	56,5	2,7	185,5	434
S11D-006	571736	9292333	749	60	2,2	215	410,5
S11D-007	571695	9292336	743	29,5	3,81	100,5	261,5
S11D-008	571677	9292338	745	16,3	1,3	45	53
S11D-009	571366	9292652	745	11	1,29	26	19
S11D-010	571106	9292703	780	96	9,89	359	624,5
S11D-011	570957	9292791	783	27,5	2,44	105,5	178,5
S11D-012	570827	9292965	758	169	9,98	565	1000
S11D-013	571616	9292332	749	130	11,8	515,5	927
S11D-014	571566	9292358	750	66	9,56	118	149,5

S11D-015	571119	9292989	769	19	1,75	45	36
S11D-016	570748	9292920	772	14	3,3	43,5	105
S11D-017	571181	9292672	773	32,5	2,64	70	65
S11D-018	569235	9292168	766	10	2,5	30	52,5
S11D-019	569585	9292042	758	12	2,97	35	63,5
S11D-020	570754	9291201	783	17	2,52	38	64
S11D-021	570795	9291201	791	18	4,75	40,5	105,5
S11D-022	570851	9291132	769	65	16,22	220	411,5
S11D-023	570885	9291109	802	13,5	3,44	33	51
S11D-024	571412	9291114	833	16	1,46	61	75,3
S11D-025	570521	9291045	668	9	1,67	36,5	59
S11D-026	571329	9291040	836	12,5	1,38	27,5	33,5
S11D-027	571583	9291219	836	12,5	2,21	61	107,5
S11D-028	571692	9291315	819	8,5	1,61	40,5	75,5
S11D-029	572368	9291293	794	42,5	9,65	252	448,5
S11D-030	572407	9291257	791	11	1,57	24,5	27
S11D-031	572411	9291264	805	14	2,56	45	50
S11D-032	572548	9291303	817	36	2,96	97	70,5
S11D-033	572580	9291290	801	111	9,18	489	995,5
S11D-034	572626	9291284	813	26,5	7,52	153	442
S11D-035	572650	9291307	829	37	7,32	133	185
S11D-036	572662	9291317	824	20	2,82	94	85
S11D-037	570916	9291104	809	39	2,76	95	107
S11D-038	572933	9292859	714	19,5	6,95	105	307,5
S11D-039	572895	9292947	690	138,5	11,33	540,0	1080,0
S11D-040	574664	9291351	842	79	11,97	250	392,5
S11D-041	574668	9291350	824	10,5	1,09	20,5	21,5
S11D-042	574844	9291241	786	16	2,04	20,5	30,5
S11D-043	575030	9291069	753	37	4,2	132	256
S11D-044	575715	9290649	706	10,5	0,69	25,5	25
S11D-045	575605	9290819	716	43	5,5	152	350
S11D-046	575604	9290886	713	23,5	7,89	182	278,5
S11D-047	575719	9291343	711	72	3,96	369	716
S11D-048	575734	9291335	715	10	1	32	57,5
S11D-049	575131	9291750	796	7,5	1,91	37,5	26,5
S11D-050	575133	9291769	814	19	2,63	21	29
S11D-051	575123	9291766	820	12	2,28	32	31
S11D-052	575119	9291765	815	10,5	1,06	21	14,5
S11D-053	575096	9291743	814	20	2,82	94	85
S11D-054	575184	9291853	799	ND	ND	ND	ND
S11D-055	575189	9291818	803	109	7,66	387	557,5
S11D-056	575208	9291778	776	28	3,74	72,5	104
S11D-057	575178	9291830	810	81	2,52	78,5	51
S11D-058	575166	9291876	811	38	5,85	156	181
S11D-059	576008	9291724	688	25	3,42	58	155
S11D-060	576143	9293344	717	12	1,67	16	9
S11D-061	575975	9293380	697	91,5	31,1	708	3823
S11D-062	575960	9293412	692	12	1,4	17	12,5
S11D-063	575868	9293541	656	18	6,45	42,5	90
S11D-064	575936	9293429	686	196	32,5	1060	2553
S11D-065	575914	9293563	617	8,5	3,65	14,5	50
S11D-066	575829	9293342	717	16	2,72	40	45

S11D-067	575785	9293349	716	17	3,02	24	29,5
S11D-068	575342	9293335	643	10,5	1,91	25	23,5
S11D-069	575336	9293328	675	21	4,51	56,5	55,5
S11D-070	575313	9293346	643	25	5,18	96	475
S11D-071	575313	9293349	645	10,5	1,58	20,5	16
S11D-072	575289	9293346	632	16	4,12	94	237
S11D-073	575373	9293387	623	13	2,51	73	196
S11D-074	575374	9293389	636	20	1,74	28,5	28,5
S11D-075	575429	9293400	631	12	2,29	43	43
S11D-076	575567	9293377	684	32	1,27	166	448
S11D-077	575600	9293368	676	63,5	5,24	291	794,5
S11D-078	575630	9293370	670	133,5	22,59	672	1483
S11D-079	575702	9293355	698	42	10	91	155
S11D-080	575665	9293338	694	18	2,35	66,5	72,5
S11D-081	575787	9293328	735	81	8,15	180	290
S11D-082	575777	9293310	736	7	2,19	25,5	20,5
S11D-083	574796	9292886	731	94,4	4	418	765
S11D-084	574807	9292898	728	9,6	0,6	12,4	7
S11D-085	574829	9292937	729	7,2	2	29	82
S11D-086	574835	9292930	726	11,2	1	21	23
S11D-087	574859	9292958	721	9	1,4	38	52
S11D-088	574871	9293001	727	31	1,2	169	260
S11D-089	574940	9292989	696	23,2	7,2	77,5	110
S11D-090	574948	9292993	685	5,1	2	23,8	30
S11D-091	574979	9293043	679	37	7,4	117	258
S11D-092	574984	9293069	686	11	0,6	20	40
S11D-093	575018	9293113	685	39,9	2	92,1	248,4
S11D-094	575039	9293131	682	25,5	1	48,7	107,2
S11D-095	574770	9293233	766	5,9	1,2	20,5	34,8
S11D-096	574740	9293225	754	56,7	4,2	358,2	716,9
S11D-097	573962	9292921	772	5,5	1	23,4	43,2
S11D-098	572899	9292962	679	10	4,27	68	96
S11D-099	572901	9293019	659	23	3,68	171	368
S11D-100	572893	9293013	659	32,5	2,66	146	482
S11D-101	570393	9293694	680	51	1,95	183	309
S11D-102	570352	9293825	662	10	1,04	24,5	24,5

* ND - Dado não disponível

A distribuição das cavidades estudadas é apresentada na Figura 6.

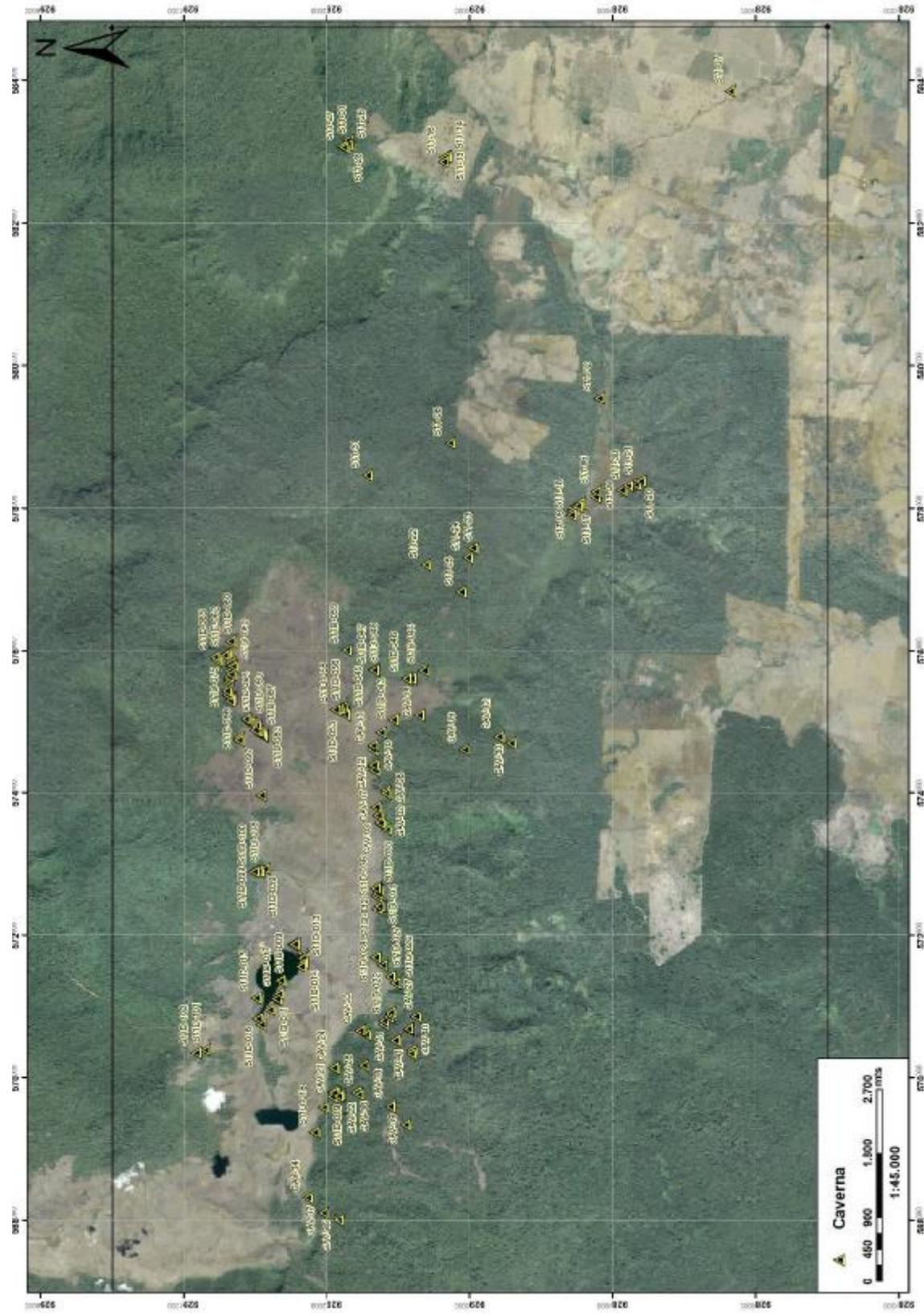


Figura 6. Distribuição das cavidades estudadas em S11D.

5.2.1. Inserção das cavernas na paisagem

A distribuição das cavidades do Projeto S11D pode ser, com base na compartimentação do relevo local, dividida em três principais setores:

- i) cavernas inseridas no topo e bordas do platô;
- ii) cavernas inseridas nas vertentes inclinadas da serra e;
- iii) cavernas em áreas rebaixadas no sopé da serra e depressão periférica.

A superfície do platô possui relevo ondulado, com colinas de vertentes côncavas a convexas, sustentadas de um modo geral pela cobertura laterítica (canga). Rupturas da cobertura laterítica são comuns nas encostas interiores, mas ocorrem de modo mais pronunciado nas bordas do platô, gerando, nesse compartimento, escarpas de altura variável, podendo atingir até 30 m. A maior parte das cavidades está posicionada na base dessas escarpas. Essa tendência pode ser explicada pelo aumento da capacidade erosiva, em função do aumento no gradiente hidráulico do lençol freático nesses locais, uma vez que o posicionamento topográfico das bordas tende a ser mais rebaixado em relação ao topo do platô. Ao todo ocorrem 44 cavidades no interior do platô e 84 em suas bordas. Esses valores correspondem a 74% do total de cavernas estudadas. Dezesesseis dessas cavidades estão inseridas nas bordas do lago violão e representam 9,5% da amostra. Entre elas podemos citar as cavernas S11D-01, S11D-10, S11D-12, S11D-13 e S11D-14.

O intervalo altimétrico de inserção das desse compartimento é de 842 m a 617 m, onde 69 (53,9%) estão no terço superior das vertentes. Trinta e quatro cavernas (26,5%) estão no terço médio e por fim, vinte e cinco cavidades (19,6%) estão no terço inferior das vertentes. Entre as cavidades inseridas nesse grupo destacam-se: S11D-01; S11D-12; S11D-33; S11D-55; S11D-57; S11D-61; S11D-64; S11D-78 e S11D-83.

A vegetação predominante é a savana arbustiva com variada densidade de plantas, podendo atingir uma altura maior que 3 m. Em alguns locais, a vegetação pode se apresentar mais baixa. Quando a crosta maciça de canga aflora,

predominam as canelas-de-emas. À medida que a canga vai sendo desmantelada, o solo vermelho cascalhento torna-se mais espesso, aumentando as condições edáficas e possibilitando a vegetação de porte arbustivo-arbóreo. Nas bordas do platô o contato entre a savana e a floresta de encosta é abrupto, com essa última ocupando os solos mais espessos existentes abaixo da ruptura do relevo. A Floresta Ombrófila Aberta Submontana, como é denominada, é constituída por uma formação de floresta aberta com abundância de cipós. Apresenta poucas árvores emergentes e um estrato dominante de aproximadamente 10 a 15 m de altura, com presença expressiva de cipó e bambu no sub-bosque. Essa vegetação ocupa a maior parte das vertentes inclinadas da serra e sua área de abrangência se estende das bordas do platô às áreas rebaixas no sopé da serra, onde atualmente sedem espaço às pastagens.

Ocorrem, no entanto, ao longo das vertentes da serra, manchas esparsas de savana em meio à floresta. Tais ocorrências estão, em geral, relacionadas a afloramentos isolados de canga ou ferricrete, espessos o suficiente para impedir a fixação de uma vegetação mais densa.

Ao longo das encostas inclinadas da serra foram registradas 39 cavidades, correspondendo a 22,5% do total estudado. As cavidades estão distribuídas de forma fortuita, ao longo desse compartimento, sendo seis posicionadas na alta vertente (15,4%), 28 na média vertente (71,8%) e apenas cinco na baixa vertente (12,8%). O intervalo altimétrico para essas cavidades é 796 m a 332 m. Entre as cavidades inseridas nesse grupo destacam-se: S11-28; CAV-41 e S11D-39.

Nas áreas rebaixadas do sopé da Serra Sul foram registradas seis cavidades (3,5%), entre as altitudes de 319 m e 277 m. Nesse compartimento destacaram-se as caverna S11-07 e S11-16.

Pinheiro et al. (1985), coloca o intervalo 650-600 m, como o mais marcante para a ocorrência de cavernas na região de Carajás. Esta tendência foi também observada em outros estudos (ainda não publicados) realizados em cavernas de N4E, N4WS e N5S em Serra Norte. No entanto, a análise altimétrica das cavidades dos três compartimentos de relevo do Projeto S11D demonstra que a maior parte, ou seja, 39,3% se concentra entre 800 m e 700 m e 31,2% entre 700 m e 600 m. As

cavidades acima de 800 m representam 16,2% da amostra e cavidades abaixo de 600 m de altitude representam 13,3% (Figura 7).

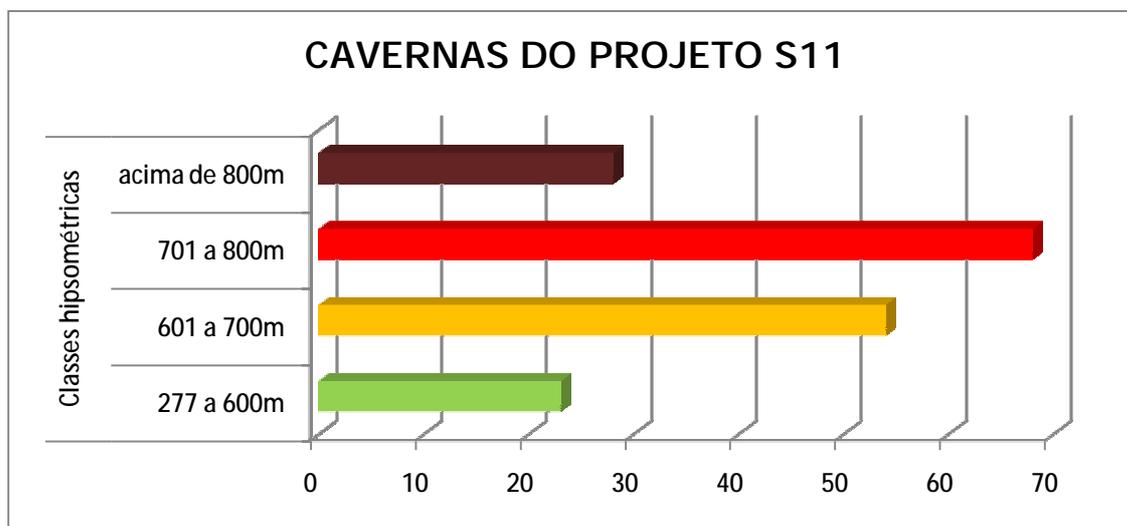


Figura 7. Frequência de cavernas (n=173) por classes hipsométricas do Projeto S11D.

Os paredões rochosos onde se inserem as cavernas estão distribuídos de forma escalonada ao longo da vertente inclinada, nas bordas ou mesmo no interior do platô. Estes paredões são muitas vezes representados por afloramentos da formação ferrífera bandada encimados por uma cobertura de canga. A altura média destes paredões na área de estudo é de 5,8 m, com altura máxima de 30 m, observada na caverna S11-21 e mínima de meio metro, registradas nas cavernas CAV-16 e CAV-21. Nas áreas rebaixadas as cavidades estão inseridas na borda de calhas de drenagem, onde a superfície aplainada recoberta pelos ferricretes foi entalhada, expondo suas entradas, sendo a caverna S11-07 um bom exemplo desse tipo de inserção.

A altura média das escarpas onde se inserem as cavidades de S11D é de 5,8 m, sendo a maior altura 30 m e a menor 0,5 m. Em 125 cavidades (72,2%) a posição da escarpa na zona de entrada é perpendicular ao maior gradiente da encosta. Escarpas paralelas ao maior gradiente foram registradas em 18 cavidades (10,4%). Em 19 (11%) cavernas a entrada está na forma de anfiteatro. Dez cavernas estão inseridas em depósitos de tálus e representam 5,8% da amostra. A caverna CAV-35 não se insere em escarpa. Sua entrada está na superfície, ou seja, a caverna se desenvolve a partir de uma fratura na superfície da canga.

A Figura 8 apresenta um perfil esquemático do relevo de S11D e o posicionamento das cavidades.



Figura 8. Inserção das cavernas estudadas no relevo local.

5.2.2. Espeleometria

Uma das cavidades estudadas na área do Projeto S11D não foi mapeada (S11D-54) e desse modo não foi incluída na análise espeleométrica apresentada a seguir (ver item 2.2.3).

A média da projeção horizontal – PH das cavidades da formação ferrífera foi de 28,59 m, com valor máximo e mínimo de 196 e 5,1 m, respectivamente. A maior parte das cavernas da área do Projeto S11D (64%) apresenta projeção horizontal igual ou inferior a 20 m e, 21%, entre 20,1 e 50 m. Cavernas com PH entre 50,1 e 100 m representam 10% da amostra e, entre 100,1 e 196 m, correspondem a 5% (Figura 9). Nessa amostra se destacaram as cavernas: S11D-01 (117 m); S11D-10 (96 m); S11D-12 (169 m); S11D-13 (130 m); S11D-33 (111 m); S11D-39 (138,5 m); S11D-40 (79 m); S11D-55 (109 m); S11D-57 (81 m); S11D-61 (91,5 m); S11D-64 (196 m); S11D-78 (133,5 m); S11D-81 (81 m) e S11D-83 (94,40 m) com valores bastante superiores à média. Entre essas, as cavernas S11D-12 e S11D-64 apresentaram PH superior a cinco vezes a média.

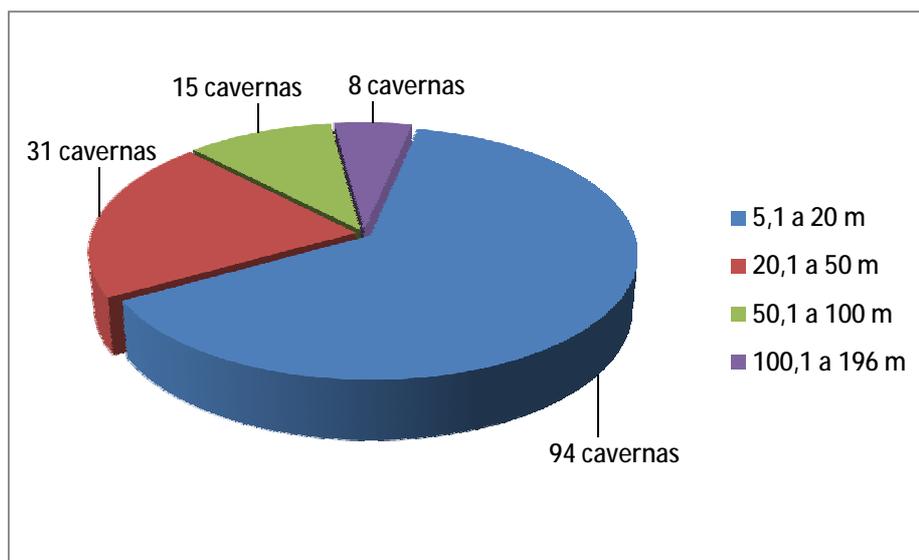


Figura 9. Frequência de cavidades de S11D em função da projeção horizontal (formação ferrífera).

A amostra em rocha máfica possui apenas quatro cavidades, das quais 50% apresentaram projeção horizontal inferior a 20 m. A média para a amostra foi de 27,8 m, com valor máximo e mínimo de 72 (S11D-47) e 5,2 m (Figura 10), respectivamente.

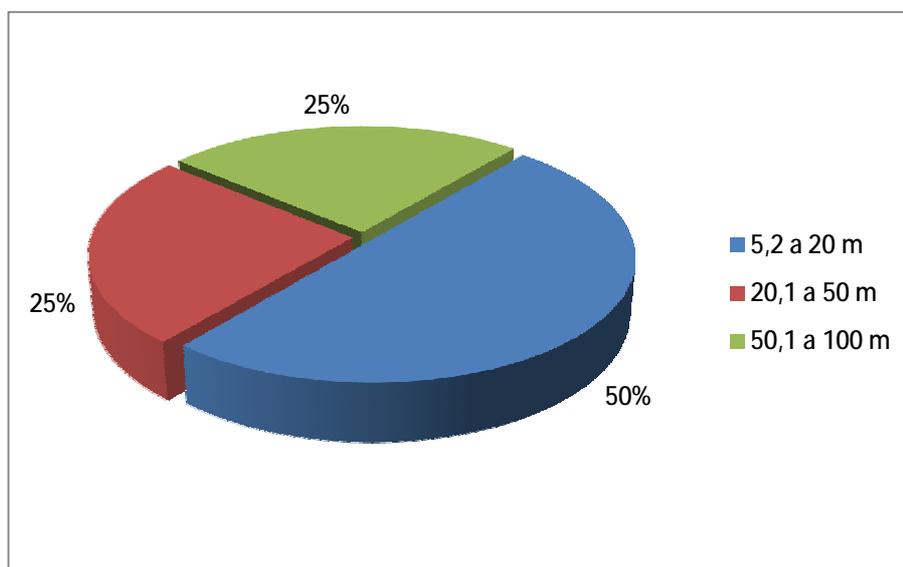


Figura 10. Frequência de cavidades em S11D em função da projeção horizontal (metabasalto).

Dentre as cavidades em ferricrete, a média de projeção horizontal foi de 92,33 m, sendo o valor máximo e mínimo de 1.546 e 6 m, respectivamente. Nessa

amostra, 14 cavernas têm PH inferior a 20 m (70%) e outras cinco entre 20,8 e 38,1 m (25%). A caverna S11-07, com 1.546 m, tem projeção horizontal 16,7 vezes a média e representa 5% da amostra (Figura 11).

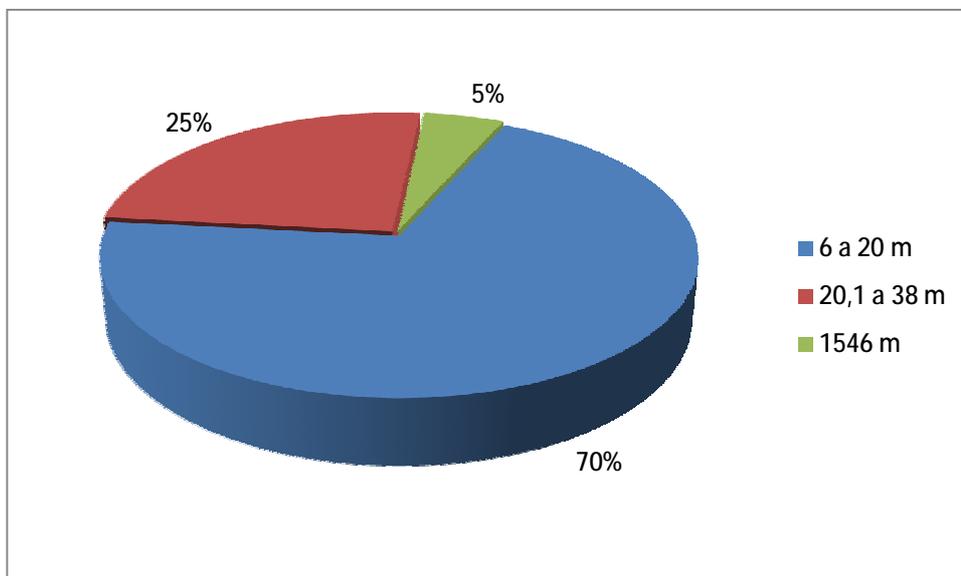


Figura 11. Frequência de cavidades em S11D em função da projeção horizontal (ferricrete).

O desnível médio das cavernas da formação ferrífera foi de 3,79 m, com valor mínimo de 0,1 m (CAV-24 e CAV-38) e máximo de 32,5 m (S11D-64).

Dentre as cavernas em máfica, o valor médio de desnível foi de 4,51 m, com valor mínimo de 0,69 m (S11D-44) e máximo de 7,89 m (S11D-46). Entre as cavernas em ferricrete, o valor médio de desnível é de 2,45 m. Com valor mínimo e máximo de 0,2 m (CAV-32 e CAV-37) e 6,1 m (S11-25), respectivamente.

Cavernas da formação ferrífera apresentaram média de 101,60 m² para a área. O valor máximo para esse atributo foi de 1.060 m² (S11D-64) e o mínimo de 5 m² (CAV-14 e CAV-16). Nessa amostra, 87 cavernas (59%) têm área igual ou inferior a 50 m² (Figura 12). Vinte e três tem área entre 50,1 e 100 m² (16%). Vinte cavernas têm área entre 100,1 e 200 m² (13%). Dezesete cavidades têm área entre 200,1 e 1.000 m² (11%) e apenas uma tem área superior a 1.000 m². Dentre essas se destacam as cavernas S11D-01 (618,5 m²), S11D-61 (708 m²), S11D-64 (1060 m²) e S11D-78 (672 m²). Essas cavernas apresentaram áreas superiores a cinco vezes a média. Outras nove cavidades, apesar de não possuírem áreas superiores a cinco vezes a média, apresentaram valores de área

bastante altos: S11D10 (359 m²); S11D-12 (565 m²); S11D-13 (515,5 m²); S11D-39 (540 m²); S11D-55 (387 m²); S11D-77 (291 m²); S11D-83 (418 m²) e S11D-96 (358,2 m²).

Dentre as cavernas em máfica, duas cavernas (50%) apresentaram área inferior a 50 m²: S11-31 (37 m²) e S11D-44 (25,5 m²). Uma caverna (25%) apresentou área de 182 m² (S11D-46) e outra (S11D-47) tem área igual a 369 m². O valor médio para a área da projeção horizontal nessa amostra é de 153,38 m².

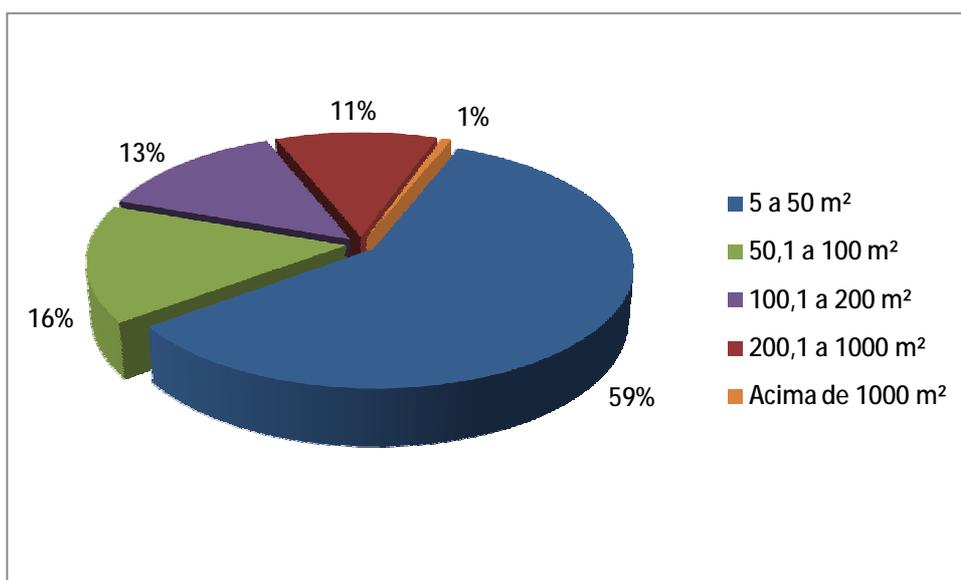


Figura 12. Frequência de cavidades em S11D em função da área da projeção horizontal (formação ferrífera).

Para a amostra de cavernas em ferricrete a média de área foi de 252,08 m², com valor máximo e mínimo de 4.224 m² (S11-07) e 8,7 m² (CAV-17), respectivamente. A maior parte das cavernas (90%) tem área inferior a 100 m². Apenas duas apresentaram valores superiores a 100 m²: CAV-35 (110,9 m²) e S11-07 (4.224 m²). Essa última foi a única caverna da amostra a superar a média, com área 16,7 vezes superior.

A média para volume entre as cavernas da formação ferrífera foi de 207,29 m³, com valor máximo e mínimo de 3.823 (S11D-61) e 3 m³ (S11-01), respectivamente. Noventa e cinco cavernas apresentaram volume entre 3 e 100 m³, representando 64% da amostra (Figura 13). O intervalo entre 100,1 e 400 m³ incluiu 32 cavernas, abrangendo 22% da amostra. Quinze cavidades (10%)

apresentaram volume entre 400,1 e 1000 m³ e quatro entre 1000,1 e 2000 m³, representando 3% da amostra: S11D-01 (1706 m³); S11D-12 (1000 m³); S11D-39 (1080 m³) e S11D-78 (1483 m³). Apenas duas cavernas apresentaram volume acima de 2.000 m³: S11D-64 (2553 m³) e S11D-61 (3823 m³).

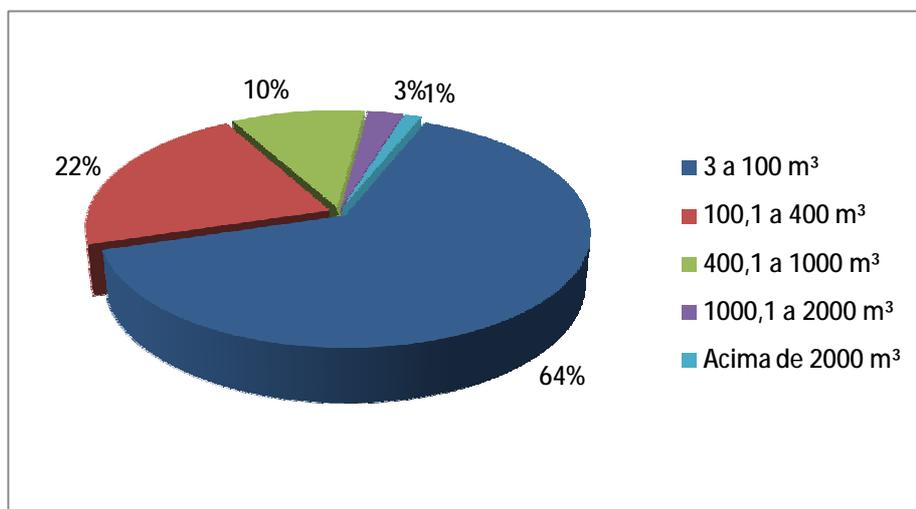


Figura 13. Frequência de cavidades em S11D em função do volume (formação ferrífera).

Cavernas em metabasalto apresentaram volume médio de 273,13 m³, com valor máximo e mínimo de 716 m³ (S11D-47) e 25 m³ (S11D-44), respectivamente. As cavernas S11D-46 (278,5 m³) e a S11D-47 são as únicas a superar a média da amostra (50%).

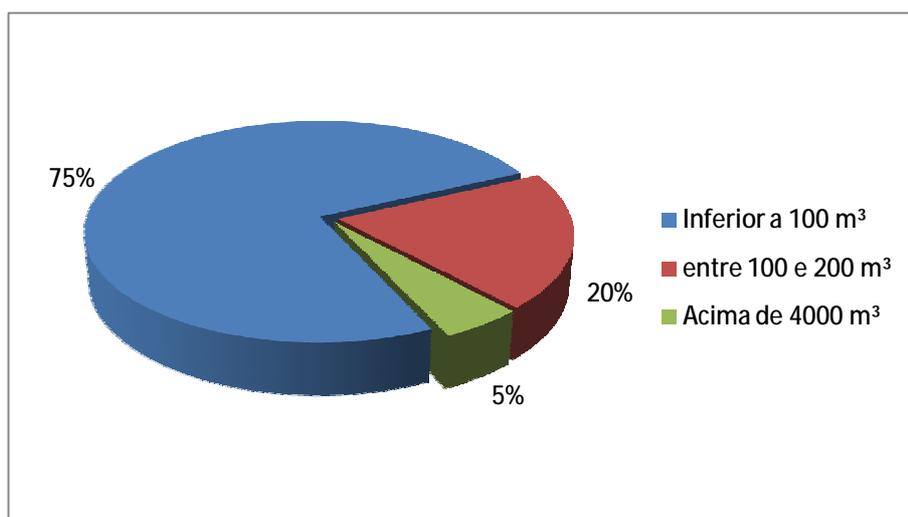


Figura 14. Frequência de cavidades em função do volume (ferricrete).

O volume médio para a amostra de cavernas em ferricrete foi de 268,83 m³, com valor máximo e mínimo de 4.340 m³ (S11-07) e 5 m³ (S11-14), respectivamente. A caverna S11-07 foi a única a superar a média nesse atributo, com área superior a dezesseis vezes a média, representando 5% da amostra (Figura 14). Quinze cavernas (75%) apresentaram volume inferior a 100 m³ e, quatro cavidades (20%), o volume entre 100 e 200 m³.

5.2.3. Morfologia

Dentre as 173 cavernas estudadas abordadas neste estudo foram identificados quatro tipos de padrão planimétrico, com base na análise da planta baixa. O mais recorrente foi o padrão retilíneo, observado em 54 cavidades (31,2%). O segundo mais freqüente foi o espongiforme, com 32 cavidades, representando 18,5% da amostra. O padrão curvilíneo foi observado em seis cavidades (3,5%), seguido pelo anastomótico, registrado apenas em uma (0,6%) cavidade, a S11-07. Vinte e quatro cavernas (13,9%) são constituídas de um salão único. Trinta cavidades (17,3%) não apresentaram padrão morfológico definido (Figura 15), pois são cavidades de tamanho muito reduzido.

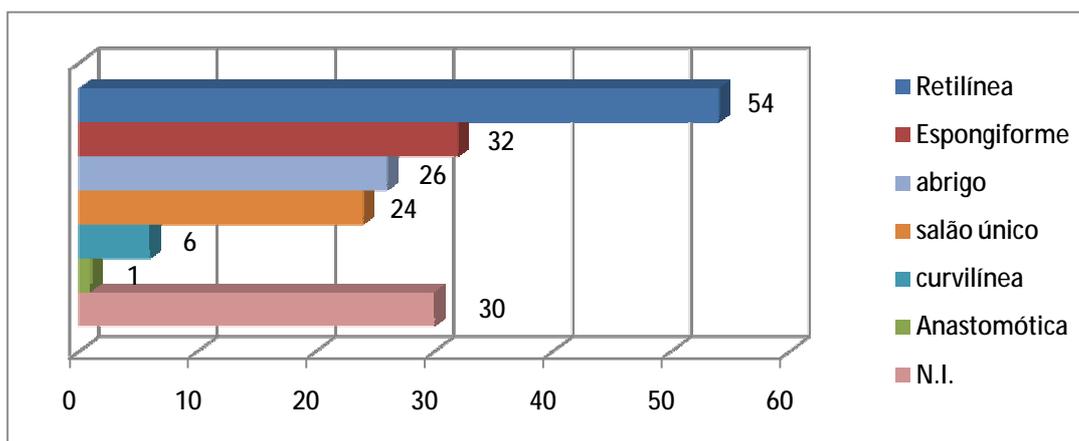


Figura 15. Frequência de cavernas em função do padrão planimétrico em S11D.

a) *retilíneo*; constituído por conduto simples, seguindo uma única direção, geralmente condicionada por fratura, junta ou pelo plano inclinado do bandamento ou foliação da rocha. Esse tipo de padrão morfológico foi observado,

por exemplo, nas cavidades S11D-13, S11D-22, S11D-61, S11D-62 (Figura 16), S11D-64 e S11D-69.

b) *curvilíneo*; constituído por um conduto principal que apresenta curvatura em seu eixo de desenvolvimento. Essa curvatura pode estar condicionada ao encontro entre diferentes planos de fraturas ou juntas, ou mesmo pelo contato entre o plano de fratura e o plano de bandamento. Dentre as cavernas curvilíneas estão S11D-35, S11D-43, S11D-51 e S11D-76.

c) *espongiforme*; caracteriza-se por apresentar condutos de tamanho variado, em alguns casos de formato globular, que se interconectam normalmente por passagens mais estreitas, como os poros de uma esponja. É mais identificável em cavernas mais desenvolvidas, no entanto, cavidades menores também podem apresentar feições típicas desse tipo de padrão planimétrico. Trata-se de um padrão bastante freqüente nas maiores cavernas do Quadrilátero Ferrífero e Carajás. Em S11D, entre as cavernas com padrão espongiforme destacam-se: S11D-06, S11D-12, S11D-14, S11D-33, S11D-39 e S11D-83.

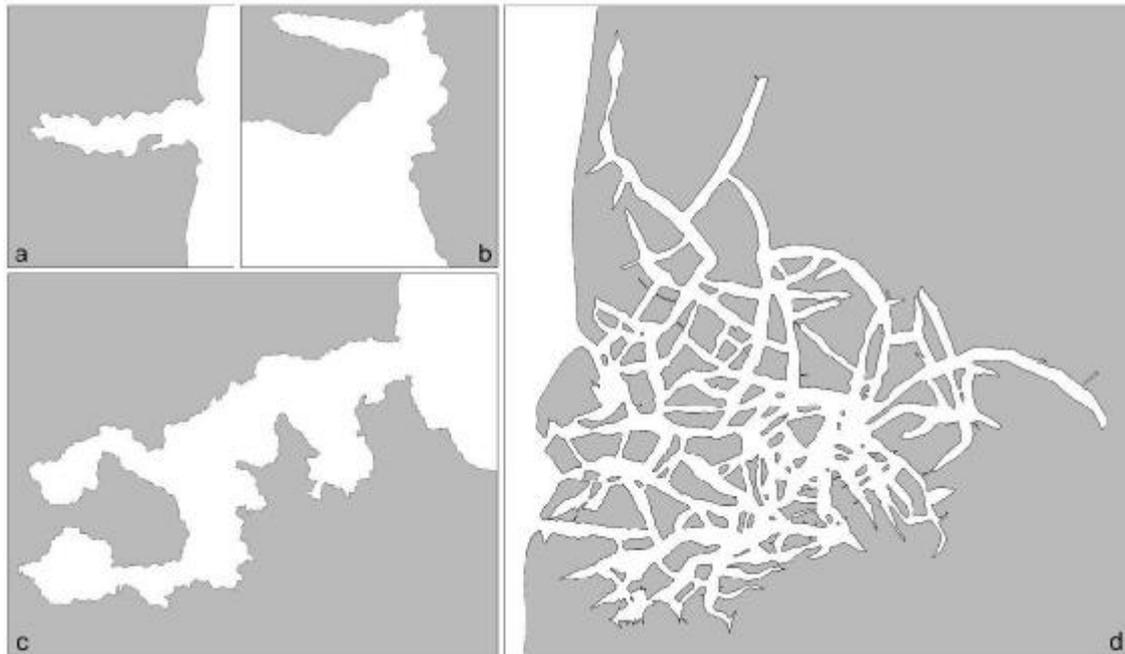


Figura 16. Representação dos padrões planimétricos observados nas cavernas estudadas. Exemplos: a) retilíneo (S11D-62); b) curvilíneo (S11D-51); c) espongiforme (S11D-39) e d) anastomótico (S11-07).

d) *anastomótico*; trata-se de um padrão planimétrico proposto por Palmer

(1991) para cavernas carbonáticas. Cavernas com padrão anástomótico (ou anastomosado) possuem diversas galerias curvilíneas que se entrelaçam. Este padrão planimétrico é o que mais se aproxima da forma da caverna S11-07 (Figura 16).

Com relação à morfologia, a cavidade S11-07 se destaca na amostra estudada no Projeto S11D. É formada por longos condutos curvilíneos, localmente retilíneos, de seção transversal semicircular. O teto, com altura média de 1 m, apresenta frequentes rebaixamentos, em geral associados ao acúmulo de material clástico no piso (Figura 17).

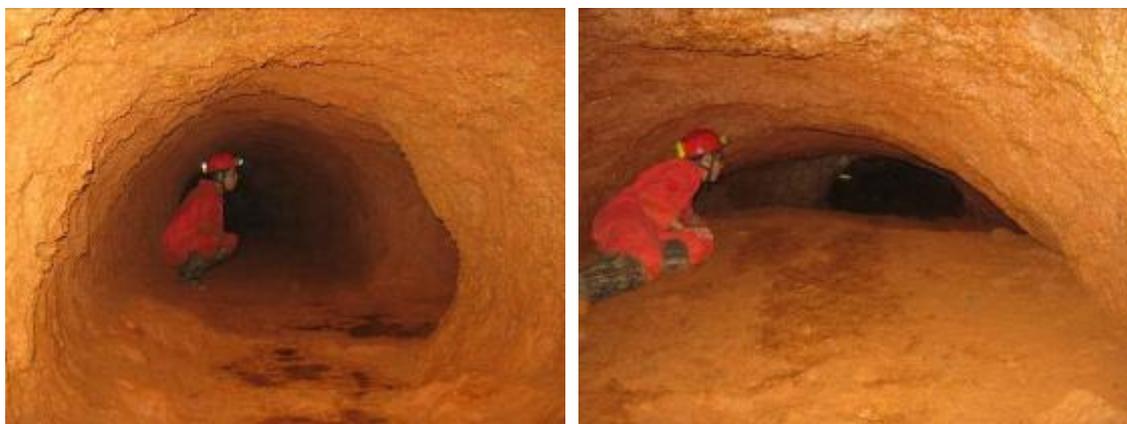


Figura 17. Exemplos de condutos de seção semicircular da caverna S11-07; à direita, o estreitamento foi gerado pelo acúmulo de sedimento no piso.

As maiores alturas foram registradas na parte centro-sudeste da caverna (zona mais baixa) e em algumas confluências entre condutos. Nesses locais a erosão de canalículos verticais (*pipes*) gerou “cúpulas” ou “*bell holes*” alargadas, com até 2 m de diâmetro na base (Figura 18). A altura do teto no interior dessas “cúpulas” pode atingir 3 m, sendo comum a ocorrência de crostas ferruginosas recobrando suas paredes. No piso logo abaixo das cúpulas é comum a presença de pequenos cones sedimentares ou depressões geradas por gotejamento. Cúpulas menos desenvolvidas que as observadas na caverna S11-07 foram registradas em outras seis cavernas (CAV-23, CAV-25, S11-22, S11-24, S11D-31 e S11D-54). O setor sudoeste apresenta teto mais alto que a média. Nesse setor a morfologia predominantemente tubular é interrompida por abatimentos, dando lugar a um salão amplo com teto plano. Juntas subhorizontalizadas, ainda observadas entre

parede e teto podem ter sido responsáveis pelos abatimentos (Figura 18).



Figura 18. À esquerda, canalículos a partir de uma cúpula de teto; à direita, salão amplo gerado por abatimentos. Nota-se atrás do espeleólogo (seta), a interrupção de um conduto de morfologia tubular.

O cruzamento entre os condutos gera ângulos agudos, observados nas paredes dos pilares. Esses, muitas vezes, apresentam morfologia retangular ou triangular em planta. Três das entradas estão posicionadas na extremidade oeste e uma a sudoeste; todas associadas ao entalhe da drenagem. Nas extremidades leste e norte ocorrem condutos curvilíneos mais longos e, de certa forma, mais individualizados se comparados à área central da caverna. A inclinação do piso no interior da cavidade é suave. O mesmo não ocorre nas entradas, onde se observam rampas com inclinação de até 12° em direção ao interior. De um modo geral, as extremidades da caverna estão elevadas em relação à área central.

A inclinação do piso, na maior parte das cavernas analisadas (41,6%), independentemente da litologia, é concordante com gradiente externo. Ou seja, é ascendente a partir da entrada. O teto tende, de maneira geral, a acompanhar tal inclinação. Ocorrem, no entanto, freqüentes estreitamentos nas partes mais distais dos condutos.

Abatimentos de parte do teto, interceptando com a superfície do terreno, geram feições denominadas clarabóias. Ocorrem geralmente onde o pacote rochoso é pouco espesso. A primeira referência a clarabóias em cavernas ferríferas foi feita por Simmons (1963) ao descrever cavidades no Quadrilátero Ferrífero. Em cavernas de Carajás, clarabóias já foram descritas por Maurity &

Kotschoubey (1995) e Piló & Auler (2007). Esse tipo de feição pode estar associado a processos doliniformes e, em alguns casos, representar o único acesso ao interior da cavidade (caso da caverna S11D-60). Clarabóias foram registradas em 20 cavernas em S11D (11,6%), entre elas merecem destaque as cavidades S11-22, S11D-14, S11D-35 e S11D-60 (Figura 19). Também foram registradas ocorrências de clarabóias em cavernas formadas em depósitos de *tálus* (CAV-15, CAV-16, CAV-19, CAV-20). Nessas cavidades, o acesso é feito pelas clarabóias que se formaram pela ruptura e basculamento da superfície rochosa (Figura 19). Essas clarabóias são formadas pelos vazios dos blocos amontoados após os abatimentos.

Canalículos foram observados em 159 cavidades do Projeto S11D (92%). Constituem canais pouco desenvolvidos, geralmente de dimensões centimétricas. Podem se posicionar subhorizontalmente, o mais comum, ou subverticalmente como observado na caverna S11-07. É freqüente se localizarem nas partes mais baixas das paredes, próximos ao piso, podendo também ocorrer em pontos mais elevado das paredes.



Figura 19. À esquerda, caverna S11D-60; à direita, caverna CAV-20 em *tálus*. Ambas acessíveis apenas por clarabóias.

Os canalículos afetam a morfologia das cavernas, pois sua evolução gera apêndices ou expansões laterais que podem eventualmente evoluir para galerias laterais (Figura 20).

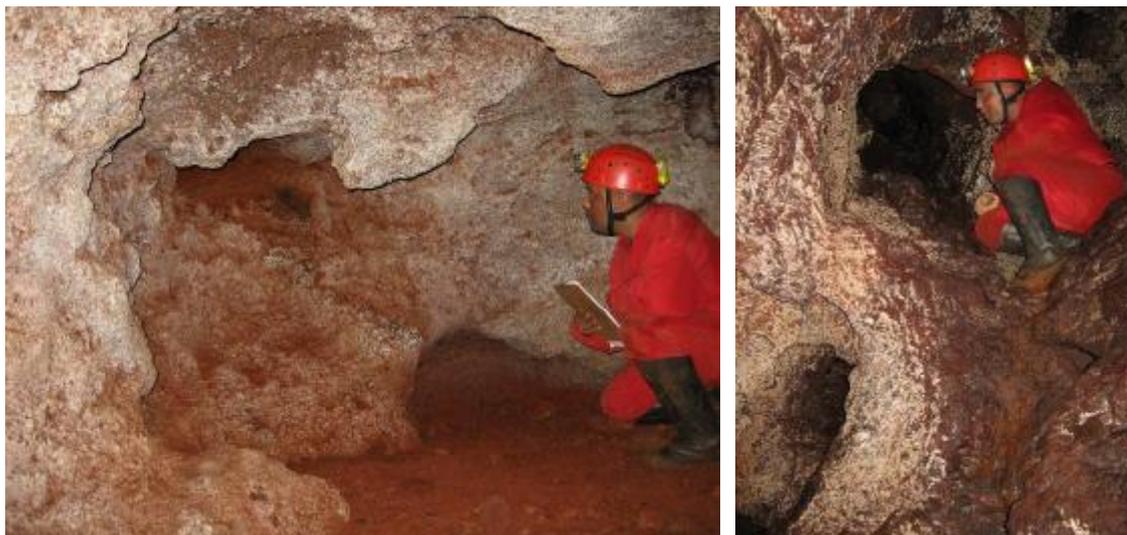


Figura 20. À esquerda, canalículo suspenso na caverna S11D-12; à direita, canalículos suspensos mais desenvolvidos, formando extensões do conduto principal da cavidade S11D-41.

Segundo Piló & Auler (2005), de uma forma geral, há uma relação diretamente proporcional entre o perímetro da caverna e o número de canalículos, mostrando que a presença dos mesmos representa um “alongamento” do perímetro da caverna, como ficou demonstrado em Capão Xavier (Figura 21). A mesma relação é observada em relação à área. Quanto maior o número de canalículos maior a área da cavidade. Estas duas relações demonstram a importância dos canalículos na geração da morfologia final da caverna.

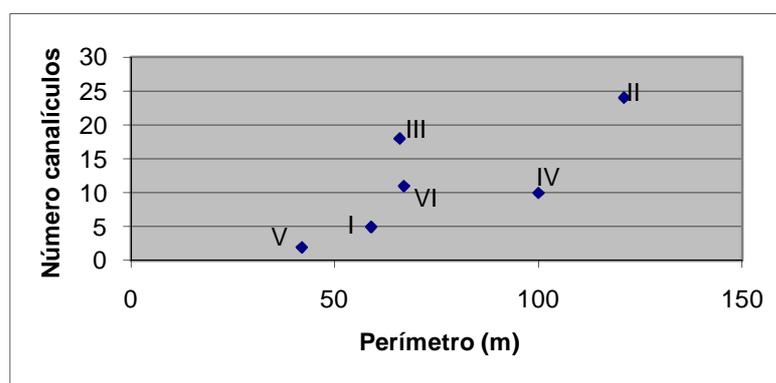


Figura 21. Relação entre perímetro e número de canalículos para as cavernas de Capão Xavier.

Estruturas alveolares observadas no interior de 36 cavidades (21%) do Projeto S11D (Figura 22). Constituem pequenos furos de dimensões milimétricas a

centimétricas, com morfologia circular a elíptica típica de feições dissolutivas de zonas de baixa densidade, podendo muito provavelmente ter se formado na primeira fase de espeleogênese em ambiente freático. Foram observados em paredes e teto de cavernas dos três litotipos analisados.



Figura 22. Alvéolos de espessura centimétrica no teto da caverna S11D-71.

Poros tubulares com diâmetro entre 0,5 e 2 cm foram registrados nas cavernas S11-07 e S11D-45. Na primeira caverna, essas feições foram observados em diversos setores, com maiores concentrações na porção sul.

Localmente constituem feições reliquiares que se projetam na parede ou teto, na forma de tubos de comprimento centimétrico (Figura 23). A sustentação desses tubos se deve à presença de uma delgada camada de crosta ferruginosa, localmente alterada para goethita, que lhes reveste as paredes. É possível que a origem desses poros seja biológica, relacionada ao sistema radicular de uma antiga cobertura vegetal mais densa que a atual. Na caverna S11D-45 ocorrem no teto de maneira mais discreta.



Figura 23. À esquerda, poro tubular com revestimento interno de crosta alterada na caverna S11-07; à direita, poro tubular na caverna S11D-45.

Dezenove cavidades de S11 possuem arcos rochosos (11%). Trata-se de uma feição residual originada pela erosão diferenciada no interior do pacote rochoso. A formação de arcos rochosos nas cavernas estudadas está geralmente associada ao abatimento de paredes e/ou teto, próximo à zona de entrada, ou mesmo, ao cruzamento entre canalículos e condutos (Figura 24). As dimensões desses arcos variam de poucos centímetros a menos de 10 m.

Pilares foram registrados em 57 cavernas (33%). Essas feições estão associadas à preservação de zonas mais resistentes de minério de ferro ou a estruturas reliquias de canga. Algumas cavidades se destacam por apresentar grande número de pilares. É o caso da caverna S11-07.



Figura 24. À esquerda, arco rochoso no interior da caverna S11D-12; à direita, pilar na caverna S11D-88.

A erosão basal de pilares pode resultar em feições denominadas pendentas.

Caracterizam-se por projeções rochosas de formato aproximadamente cônico invertido a partir do teto. As dimensões variam de poucos centímetros a cerca de 2 ou 3 m de comprimento e diâmetro em geral decimétrico. Pendentes foram registrados em 23 cavernas (13%), tanto em canga como no ferricrete. Os maiores pendentes registrados em S11 estão nas cavernas S11-15 e S11D-64, com aproximadamente 1,5 m de comprimento (Figura 25). Na caverna S11D-96 alguns pendentes em canga apresentaram imbricamento dos clastos no sentido de seu comprimento. É possível que a posição desses clastos esteja associada ao preenchimento de depressões pré-existentes na superfície de deposição da canga.

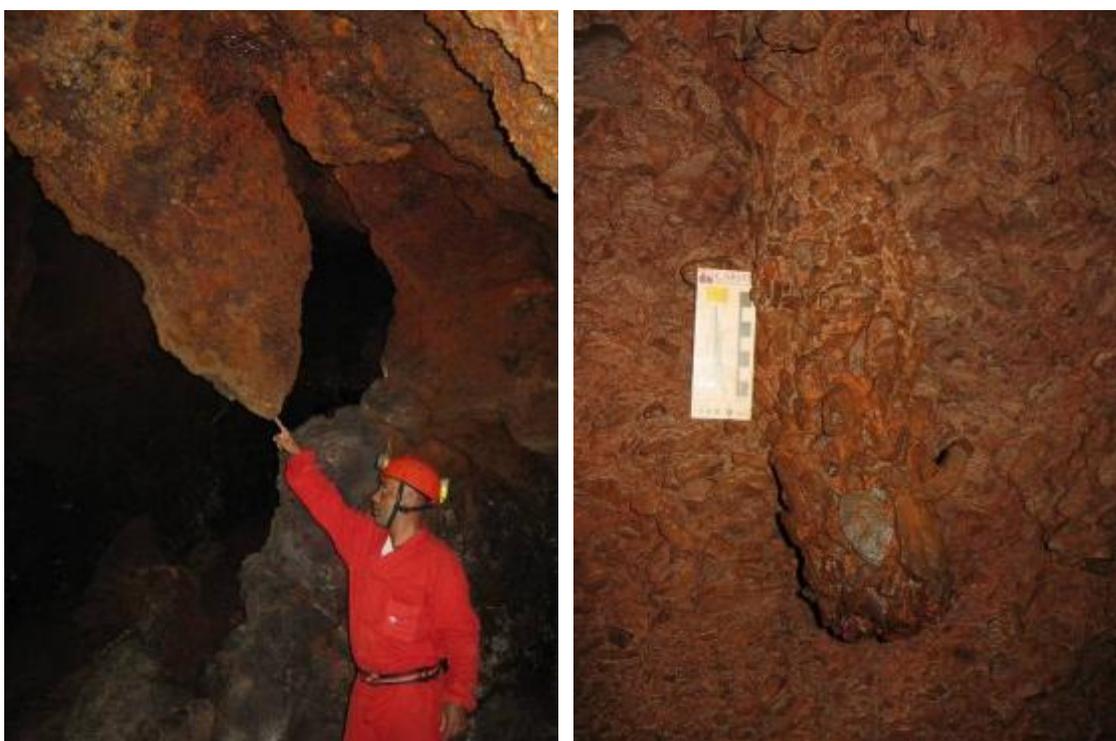


Figura 25. À esquerda, pendente com aproximadamente 1,5 m na caverna S11D-64; à direita, pendente com clastos de canga imbricados, na caverna S11D-96.

As seções de algumas das cavidades inseridas na formação ferrífera bandada apresentaram irregularidades no teto e paredes denominadas de *pontões estruturais*. Essa feição, registrada em 51 cavernas (29,5%), é caracterizada por pontas retangulares (dissimétricas), sub-retangulares, que se projetam do teto de forma escalonada (Figura 26).



Figura 26. À esquerda, pontões estruturais (indicados com seta) no minério de ferro bandado (caverna S11D-33). À direita, pontões residuais formados por crosta ferruginosa (caverna S11D-93).

Ocorrem mais claramente quando o bandamento, com mergulho concordante com o maior prolongamento do conduto, é interceptado por um plano de fratura perpendicular. Essas feições também já foram observadas em cavernas do Quadrilátero Ferrífero. Na caverna S11D-93 foi registrado um pontão constituído por crostas ferruginosas bandadas residuais depositadas no interior de uma fratura subvertical na canga. A erosão da rocha encaixante expôs as crostas mais duras, gerando uma protuberância no teto (Figura 26).

Paleopisos foram observados em 48 cavernas (28%). Esse tipo de feição é caracterizado por um piso suspenso em relação ao nível de piso atual da caverna. Em cavernas da formação ferrífera sua individualização e conservação está associada, muitas vezes, ao capeamento de crostas que o recobre, protegendo-o dos processos erosivos. É comum estarem sobrepostos a canalículos, condutos ou a pontos da parede onde tenha ocorrido solapamento (Figura x). Na caverna S11D-78 foram observados níveis superpostos de paleopisos parcialmente erodidos, que constituem testemunhos do rebaixamento gradual do piso da caverna (Figura 27).



Figura 27. À esquerda, paleopiso sustentado por crostas, apresentando camadas de deposição subhorizontalizadas; à direita, paleopisos sobrepostos evidenciando o rebaixamento gradual do piso da caverna, todos na caverna S11D-78.

Marmitas de diâmetro centimétrico a decimétrico e comprimento centimétrico a até 2,5 m foram registradas na caverna S11D-83. Constituem feições erosivas ou dissolutivas responsáveis por um piso extremamente irregular, com desenvolvimento subvertical. A interseção dessas marmitas gera ravinamentos no piso. Também foram observadas marmitas na cavidade S11D-54. Em ambas as cavidades as marmitas ocorrem em setores mais úmidos, onde se concentram os depósitos de guano (Figura 28). É possível que a origem dessas marmitas esteja associada às condições físico-químicas resultantes da interação entre o guano e a umidade, uma vez que marmitas de mesmo porte foram observadas em duas outras cavernas de S11D e Serra Norte (ainda não estudadas), em condições semelhantes.



Figura 28. Salão oeste da caverna S11D-83, com piso sulcado pela interseção de marmitas subverticalizadas; as manchas escuras na superfície são depósitos de guano.

5.2.4. Litologia e estruturas

Os tipos litológicos observados nas cavernas da área do Projeto S11D podem, como mencionado anteriormente, ser divididos em quatro grupos principais:

- Ø Formação ferrífera – este grupo é composto por 149 cavernas distribuídas entre o minério de ferro, a canga e o jaspilito, além daquelas cavernas inseridas no contato entre a formação ferrífera e metabasaltos.
- Ø Metabasaltos – este grupo é composto por quatro cavernas inseridas exclusivamente em rochas máficas.
- Ø Ferricretes – grupo composto por 20 cavidades.

A frequência de cavernas em função do litotipo é apresentada na Figura 29.

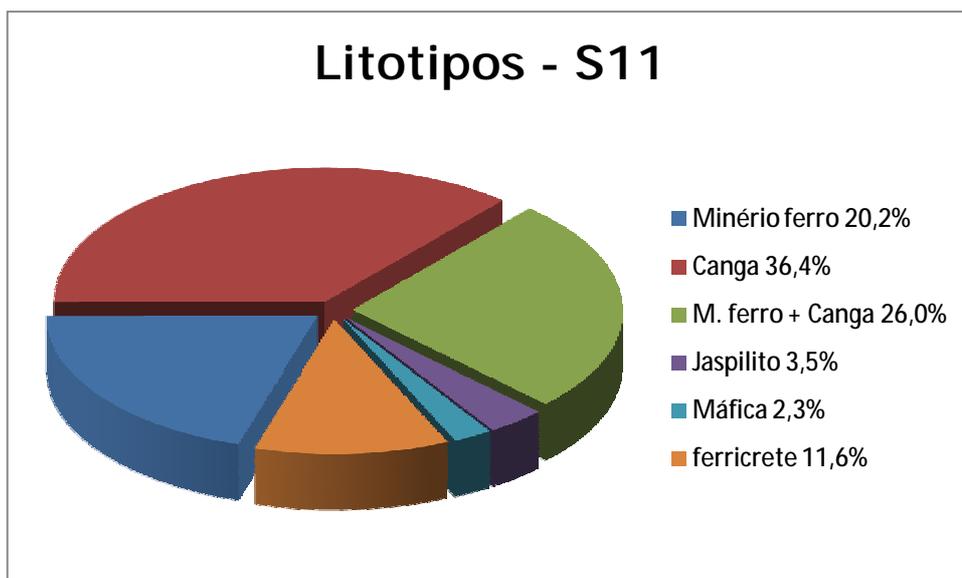


Figura 29. Frequência de cavernas do Projeto S11D em função do litotipo.

5.2.4.1. Cavernas na formação ferrífera e canga

Entre as 149 cavidades estudadas na formação ferrífera 35 estão inseridas no minério de ferro e representam 20,2% do total de cavernas analisado. Foram registradas 63 cavernas na canga, representando 36,4% da amostra. Quarenta e cinco cavidades estão no contato entre esses dois litotipos e representam 26% da amostra. O jaspilito é responsável por 3,5% das ocorrências, com apenas seis cavidades.

O minério de ferro bandado (Figura 30) observado nas cavernas do Projeto S11D é constituído predominantemente por bandas de hematita com espessura variando entre poucos milímetros e cerca de dois centímetros. Entre as camadas é comum a ocorrência de vazios milimétricos a centimétricos, outrora preenchidos por sílica. No entanto, a ocorrência de vazios não é uma regra, uma vez que as camadas hematíticas podem por vezes se apresentar bem compactas. O estado de intemperismo é bastante variável, sendo comum a ocorrência de rocha sã e alterada em uma mesma cavidade, como é o caso das cavernas S11D-60 e S11D-61.



Figura 30. Minério de ferro pouco alterado e alterado, nas cavernas S11D-67 e S11D-60, respectivamente.

A canga representa o litotipo com o maior número de ocorrência de cavernas. Foram observados dois tipos de canga na área de estudo: a canga detrítica e a canga química. A primeira se caracteriza pela ocorrência de fragmentos clásticos da formação ferrífera cimentados por matriz limonítica. A dimensão do material clástico observado varia entre grânulo e matacão, com predomínio de seixos (Figura 31). A forma dos clastos varia entre arredondada e angulosa, predominando a subangulosa.

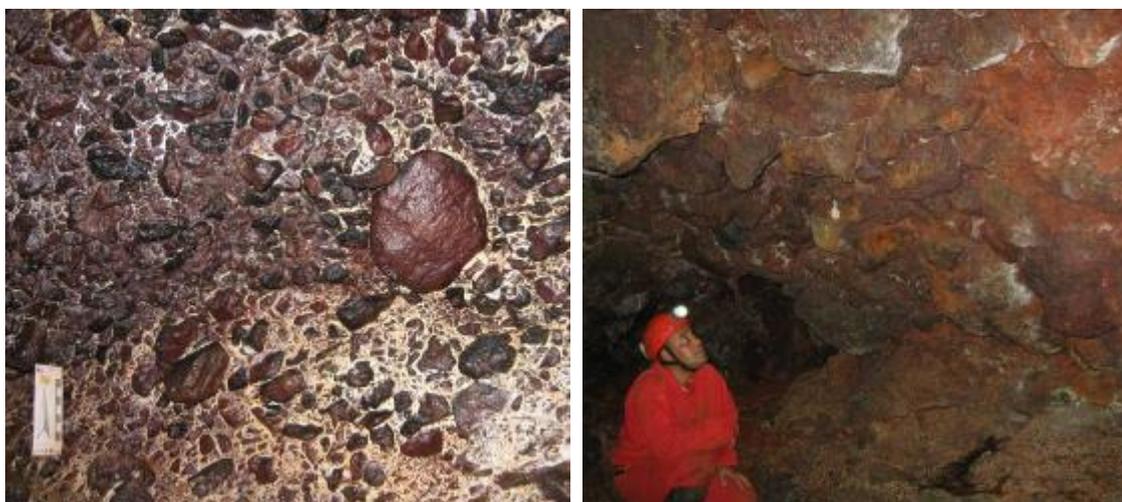


Figura 31. Variação granulométrica da canga detrítica; da esquerda para a direita: clastos com tamanho seixo a calhau (S11D-22) e predomínio de matações (S11D-99).

Nas cavernas S11D-99 e S11D-100, que estão inseridas nas margens de uma drenagem, foi observada canga detrítica mal selecionada, com ocorrência de

clastos de tamanhos variados e predomínio de matacões subarredondados. Tal arredondamento indica transporte antes da cimentação dos clastos.

É comum a ocorrência de fácies mais terrígenas associadas à canga detrítica. Caracteriza-se pela pouca presença ou mesmo pela ausência de clastos, sendo comum uma deposição em descontinuidades como juntas de alívio, canaliculos ou em diferentes níveis do pacote rochoso. Na caverna S11D-13 foram observadas estruturas deposicionais horizontalizadas na canga detrítica, com camadas intercaladas por material terrígeno (Figura 32). O aspecto dessas estruturas sugere deposição em ambiente lacustre, o que constitui um importante registro sobre a origem dessa rocha.

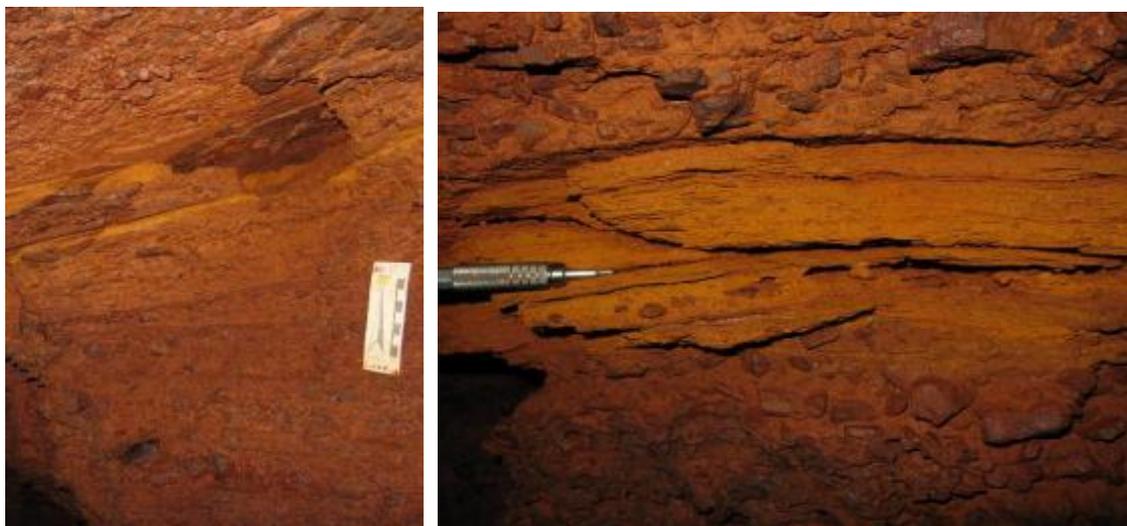


Figura 32. À esquerda, camadas horizontalizadas de canga detrítica com intercalações de fácies terrígenas; à direita, detalhe da fácies terrígena, caverna S11D-13.

A canga química ocorre geralmente sobre as rochas vulcânicas máficas e é constituída por raros fragmentos saprolitizados dessas rochas e da formação ferrífera. A matriz é predominantemente saprolítica, de coloração vermelha a amarelada (Figura X). Essas características foram registradas nas cavernas S11-06, S11D-45 e S11D-101. As cavernas CAV-23, CAV-25, CAV-28, CAV-29, CAV-36, CAV-38, CAV-39, S11-22 E S11-23 estão em afloramentos isolados (residuais) de canga, depositados sobre rochas vulcânicas máficas nas encostas inclinadas da serra. Nessas cavidades, a constituição da matriz é bastante parecida com a canga química, no entanto, há grande participação de clastos de granulometria e

composição variada, em geral seixos a matações de máfica, formação ferrífera e localmente quartzo (Figura 33).

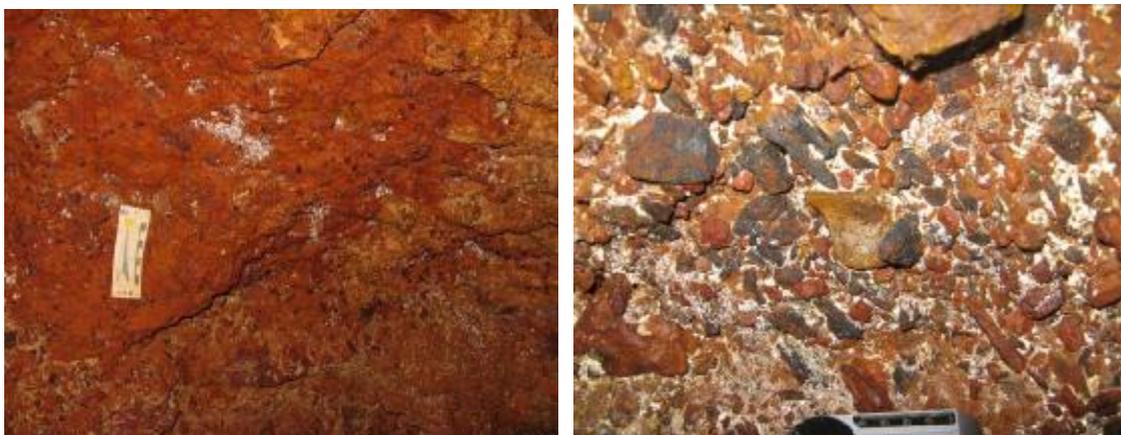


Figura 33. À esquerda, canga química na caverna S11D-101, com matriz saprolítica e clastos incipientes. À direita, canga detrítica com matriz saprolítica incipiente e predomínio de clastos mal selecionados na caverna S11-23.

O jaspilito foi observado em apenas seis cavidades de S11D (Figura 34). A rocha se caracteriza pela ocorrência de bandas alternadas de hematita, jaspe e localmente quartzo. A espessura dessas camadas é milimétrica podendo atingir um ou dois centímetros no caso da hematita. As bandas de jaspe e sílica são milimétricas. Em três cavernas foi observada rocha sã: CAV-33, S11-26 e S11-27. Nas cavernas S11-01, S11-02 e S11-28 o jaspilito encontra-se intemperizado.



Figura 34. Jaspilito em dois estados de alteração; à esquerda, rocha fresca na caverna S11-27; à direita, rocha alterada na caverna S11-28.

Na caverna S11-02 o jaspilito apresentou grande diferença composicional em relação ao observado nas demais cavernas desse litotipo. A rocha possui planos de foliação bem definidos, no entanto, sem o bandamento composicional típico dos jaspilitos. Apresenta avançado estado de intemperismo e aspecto saprolítico com predomínio de minerais claros, amarelos a brancos, possivelmente goethita e óxido de alumínio. A textura é siltosa e a porosidade elevada, com alvéolos de diâmetro milimétrico. Possui camadas de até 1 cm intercaladas pontualmente com camadas de óxidos de ferro de espessura milimétrica. De um modo geral, a rocha é bem friável. A superfície está recoberta em grande parte por uma fina camada de óxido de ferro vermelha bem mais dura que a rocha (Figura 35).



Figura 35. Jaspilito alterado na caverna S11-02; à esquerda é possível observar o mergulho da rocha (a bússola está na posição horizontal) e a camada delgada de óxido de ferro na superfície; à direita, camadas saprolíticas (amarelas e brancas) intercaladas a camadas mais ferruginosas.

5.2.4.2. Cavernas em metabasalto

Foram registradas quatro cavidades totalmente inseridas em metabasalto na área do Projeto S11D (S11-31, S11D-44, S11D-46 e S11D-47), representando 2,3% da amostra. No entanto, em sete outras cavernas registrou-se a presença de metabasalto associado a litotipos como: a canga (S11-30, S11D-25, S11D-45 e S11D-70), o minério de ferro (CAV-06 e S11D-48) e o ferricrete (CAV-35).

Das quatro cavidades em metabasalto, três estão distribuídas nas bordas do platô do Corpo D e uma (S11-31) na encosta inclinada da serra. A rocha encontra-

se bastante alterada nas três cavernas do Corpo D. Sua coloração varia do vermelho ao vermelho-amarelado (Figura 36), incluindo um aspecto saprolítico e alta porosidade. É comum a ocorrência de crostas ferruginosas irregulares entrecortando a rocha. Apenas na caverna S11-30 foi observado metabasalto pouco alterado (Figura 36), com coloração cinza esverdeada e granulação fina. Localmente apresenta-se alterada com concentração de hematita principalmente entre fraturas. Nestes pontos a coloração torna-se castanho-avermelhada.



Figura 36. À esquerda, metabasalto alterado na caverna S11D-47; à direita, metabasalto pouco alterado na caverna S11-31.

5.2.4.3. Cavernas em ferricrete

As cavidades inseridas em ferricrete estão distribuídas nas encostas inclinadas da serra e na depressão periférica, próximas a Mozartinópolis. São ao todo 20 cavidades (CAV-09, CAV-17, CAV-18, CAV-19, CAV-22, CAV-30, CAV-32, CAV-35, CAV-37, CAV-40, CAV-41, S11-07, S11-08, S11-12, S11-13, S11-14, S11-15, S11-16, S11-24 e S11-25), representando 11,6% da amostra. A rocha é constituída por um colúvio ferruginizado depositado sobre rochas vulcânicas máficas ou gnaisses do Complexo Xingu (S11-07).

O ferricrete apresenta-se em geral com coloração vermelha a amarela. A porosidade é alta, com presença pontual de estrutura vesicular. Podem ocorrer clastos angulosos a subarredondados de máfica alterada, formação ferrífera e quartzo. É comum que nos afloramentos externos onde se inserem as cavernas o ferricrete se apresente mais endurecido, possivelmente devido à desidratação e

oxidação, formando uma carapaça dura, de coloração acinzentada que recobre a superfície sustentando o teto de algumas cavidades (Figura 37).



Figura 37. À esquerda, ferricrete com clastos de máfica alterada no interior da caverna S11-13; à direita, clastos de rocha máfica e quartzo na superfície próximo à entrada da caverna S11-07.

Na caverna S11-12 observam-se veios de hematita compacta que formam bancos endurecidos com atitude N30E/42NW. Esses bancos atingem cerca de 20 cm de espessura. Com relação à dureza, contrastam enormemente com a rocha encaixante. O contato é abrupto e marcado por algumas fraturas. Localmente ocorre hematita cristalizada em hábito botrioidal em algumas reentrâncias do veio.

A maior caverna nesse litotipo é a S11-07. Essa caverna está inserida na borda de uma drenagem, na depressão periférica, sobre domínio do Complexo Xingu. Nessa cavidade o ferricrete apresentou duas fácies diferenciadas em função da granulometria: i) uma fácies predominantemente terrígena e ii) uma fácies pedregosa (Figura 38). Embora não haja uma diferenciação espacial clara, nota-se o predomínio da fácies terrígena, sendo observada na maior parte dos condutos. A fácies pedregosa ocorre de forma pontual, particularmente no teto da área central da caverna, apresentando uma espessura inferior a 50 cm.



Figura 38. À esquerda, ferricrete fácies terrígena; à direita, fácies pedregosa no teto da caverna S11-07.

5.2.4.4. Estruturas

As estruturas observadas nas cavernas da área do Projeto S11D podem ser caracterizadas por bandamento, fraturas, juntas de alívio, dobras e falhas.

Na formação ferrífera o bandamento foi observado em 83 cavidades, perfazendo 48% das cavernas amostradas. Nas cavernas inseridas no minério de ferro as bandas são compostas principalmente de hematita, intercaladas ou não por vazios. Nos jaspilitos alternam-se bandas de sílica, hematita e jaspe. Com base na medição em 108 diferentes pontos observou-se que o eixo predominante foi o NNE-SSW, com direções entre N20-30E. Direções entre N30-40W ocorrem de modo secundário, como visto na Figura X. As direções predominantes do mergulho das camadas apontam para os quadrantes sudeste, com azimute entre 140 e 150°, quadrante noroeste e norte - noroeste, com direções entre 290 - 300° e 350° - Norte, respectivamente (Figura 39). A inclinação das camadas varia de 10° a subvertical, predominado ângulos entre 20 e 30° e entre 40 e 50°.

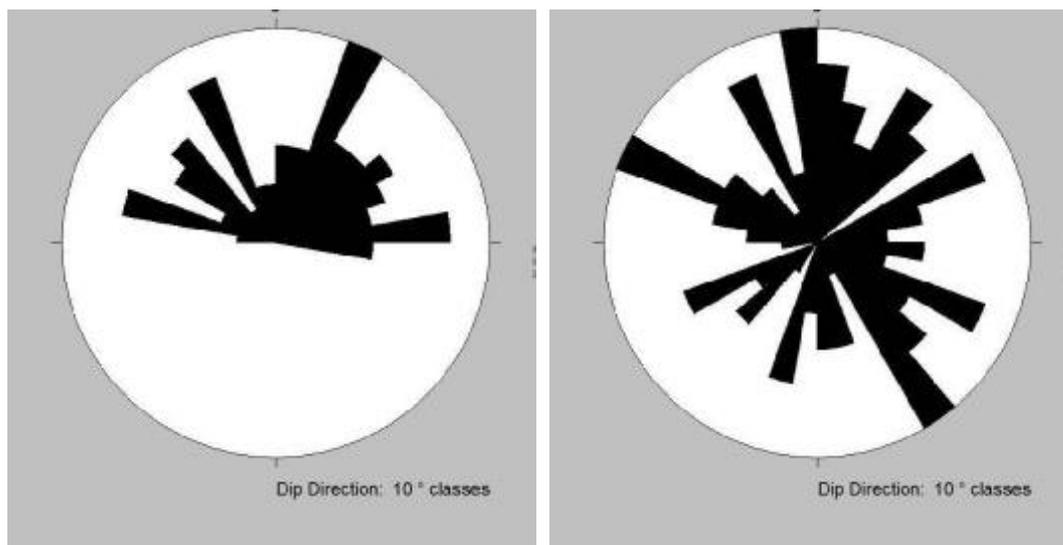


Figura 39. Gráficos de roseta da atitude do bandamento (n=108). À esquerda, direção das camadas; à direita, direção do mergulho.

Uma análise das direções principais dos condutos foi realizada com base nos mapas disponíveis. Em 206 cavidades foi possível observar tendências no alinhamento dos principais condutos (Figura 40). A maior parte dos alinhamentos se concentra nos quadrantes NE e NW, com azimutes entre 20 e 40° e entre 300 e 310°, respectivamente. Cavernas estudadas na Serra Norte apresentaram tendências semelhantes, com eixos principais de condutos nas direções NW e, secundariamente, NE (Figura 40). O alinhamento dos condutos coincide de modo aproximado com as direções do bandamento e de fraturas.

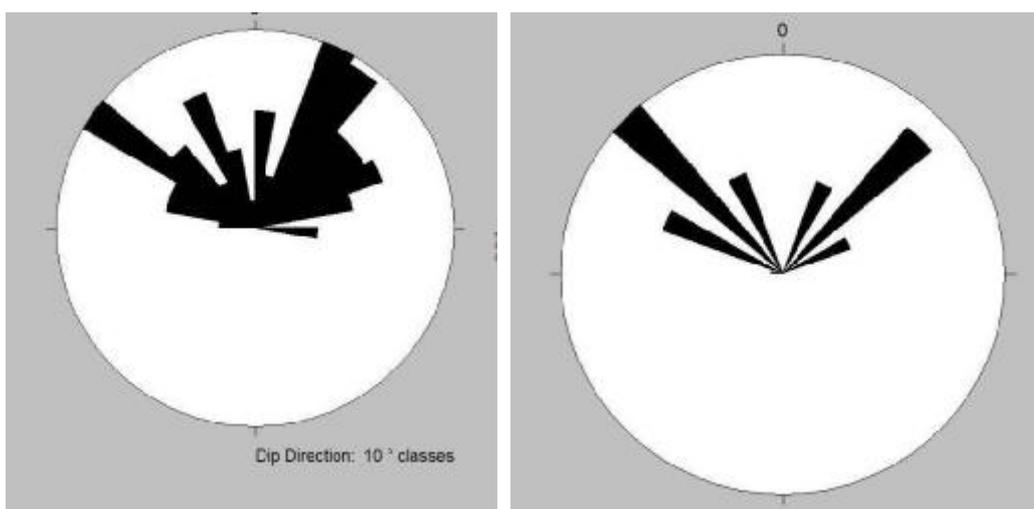


Figura 40. À esquerda, gráfico de roseta das principais direções dos condutos das cavernas de S11; à esquerda, das cavernas de Serra Norte; n=206).

Na caverna S11-07 a direção dos condutos apesar de variada, apresenta uma tendência para o quadrante noroeste, com azimutes 300-310° e 330-340°. Condutos alinhados ao eixo nordeste ocorrem de modo secundário, com os azimutes: 30-40° e 50-60° (Figura 41). Essa análise teve como base o eixo principal de 113 condutos.

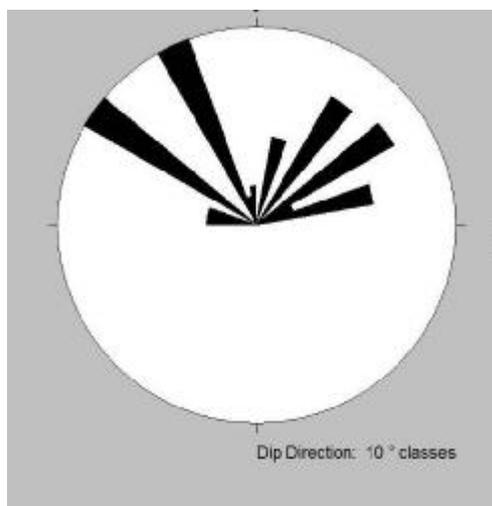


Figura 41. Gráfico de roseta das direções dos condutos da caverna S11-07.

Fraturas foram observadas em 92 cavernas, o que representou 53,2% da amostra, independentemente da litologia. Esse tipo de estrutura não foi observado em cavernas desenvolvidas no ferricrete. Medidas de 143 fraturas nas cavidades de S11D indicam o quadrante NE como o mais frequente, com azimutes entre 30 e 40°. Azimutes entre 60 e 70° ocorrem de modo secundário (Figura 42).

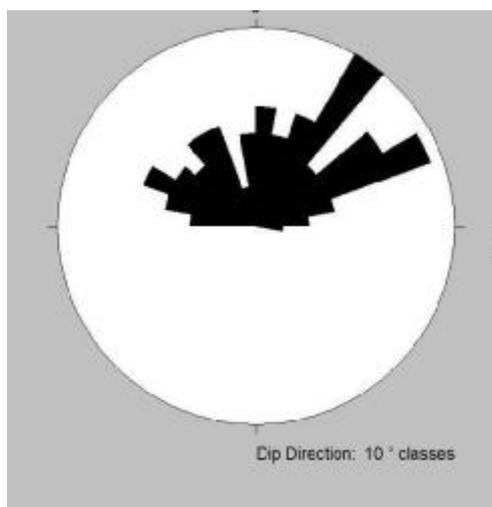


Figura 42. Gráfico de roseta de fraturas medidas nas cavernas de S11D (n=143).

Nas cavernas de canga (S11D-91, S11D-93 e S11D-94), as fraturas observadas apresentaram alinhamento recorrente no eixo N50E. A inclinação variou entre 60SE e subvertical (Figura 43). Essas fraturas encontram-se preenchidas por crostas ferruginosas bandadas. O eixo dessas fraturas é bem próximo ao alinhamento de uma drenagem a cerca de 100 m a sul das cavernas.

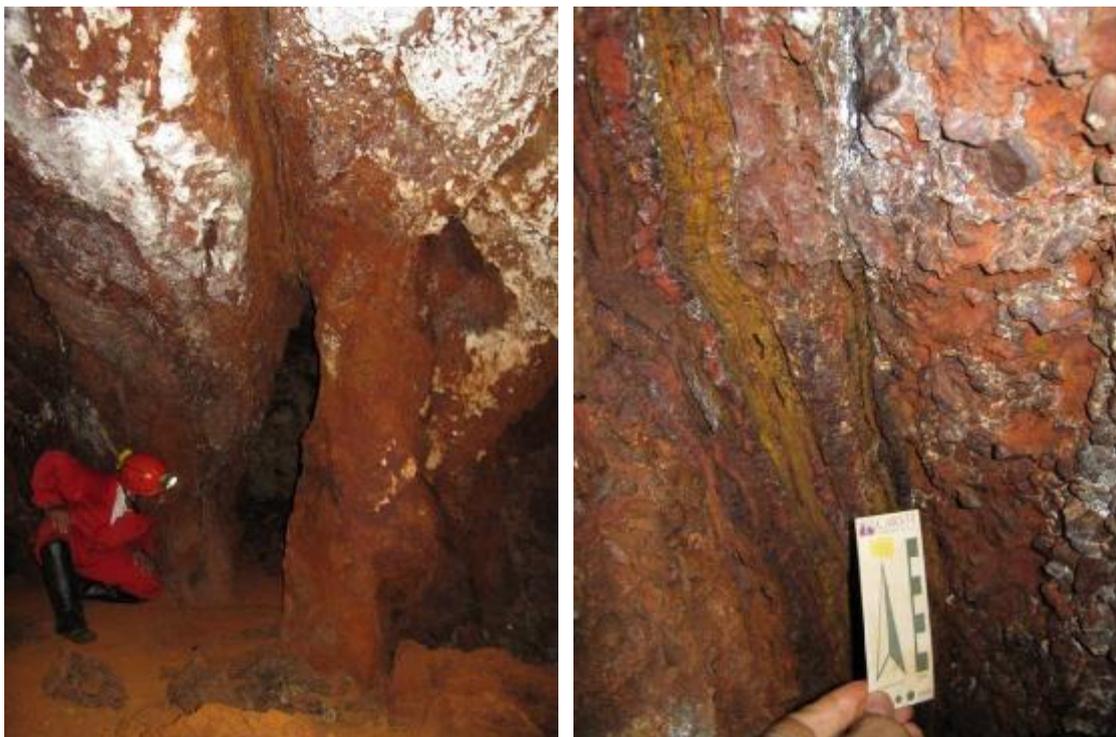


Figura 43. Fratura verticalizada preenchida por crostas na caverna S11D-93.

Fraturas muitas vezes podem exercer influência na espeleogênese da cavidade. Estas discontinuidades facilitam o fluxo da água no interior do maciço rochoso. Importantes frentes de alteração também são guiadas por essas estruturas. Na caverna S11D-93 alguns condutos se desenvolvem no alinhamento de fraturas subverticais (Figura 43, à esquerda). Nas cavidades CAV-14, S11-26, S11-27, S11D-40, S11D-41, S11D-91, S11D-92 e S11D-94 foi possível observar, de forma clara, uma relação entre as fraturas e a morfologia da caverna.

A presença de veios de quartzo foi registrada na caverna S11-27 e constitui um preenchimento relativamente expressivo, se comparado a outras ocorrências em cavernas da formação ferrífera. Os veios preenchem um conjunto de fraturas que corta perpendicularmente o plano do bandamento no sentido longitudinal,

atingindo até 5 m de comprimento. A espessura desses veios varia de poucos milímetros a aproximadamente 20 cm e, localmente, podem se apresentar concordante com o plano do bandamento (Figura 44).



Figura 44. Conjunto de fraturas preenchido por veio de quartzo na caverna S11-27; veios em posições concordante e discordante dos planos do bandamento.

Na rocha máfica foram observadas fraturas nas cavidades CAV-35, S11-31 e S11D-47. Na CAV-35, as estruturas encontram-se preservadas no saprólito e apresentam dimensões centimétricas com frentes de maior alteração em seu interior, marcadas por alteração goethítica (Figura x). Na caverna S11D-47 foram observados relictos de planos de fraturamento no saprólito com atitudes N42E/56SE, N80W/56NE, N5W/48NE e N25W/subvertical (Figura 45). Na caverna S11-31, a rocha máfica está pouco alterada e preserva planos de fraturas com dimensões centimétricas, registradas em grande parte da parede direita do conduto.



Figura 45. Conjunto de fraturas com frentes de maior alteração em rocha máfica saprolítica; à esquerda, na caverna CAV-35 (linhas mais amareladas); à direita, planos de fratura (linhas pontilhadas) na caverna S11D-47.

Juntas de alívio ocorrem em 82,7% das cavernas estudadas, estando presentes em 143 cavidades. São caracterizadas por descontinuidades irregulares, dispostas de forma subhorizontal, subvertical ou mesmo oblíqua. A espessura varia entre poucos milímetros a poucos centímetros (Figura 46). Assim como as fraturas, as juntas de alívio podem influenciar no desenvolvimento de condutos ou alterar sua morfologia.

A caverna S11-07 é um bom exemplo de como essas estruturas modificaram a forma da cavidade (ver item morfologia). Nessa cavidade as juntas de alívio subhorizontais e subverticais (Figura 46) se concentram nas extremidades oeste e sudoeste. Este setor é o mais afetado pela erosão remontante, observada na área externa, onde a continuidade da escarpa é interrompida pela drenagem. É possível que as juntas representem o alívio de carga gerado pelos abatimentos ao longo da margem. As juntas subhorizontais são observadas no contato entre o teto e as paredes de todo o setor, enquanto que as subverticais se concentram no conduto da entrada sudoeste. É uma junta persistente, posicionada no teto, no eixo central do conduto. Acredita-se que sua origem esteja associada ao basculamento da lateral sul da escarpa em direção à drenagem. Juntas menores,

em geral fechadas e discretas ocorrem de modo esparsos em outros pontos da caverna.

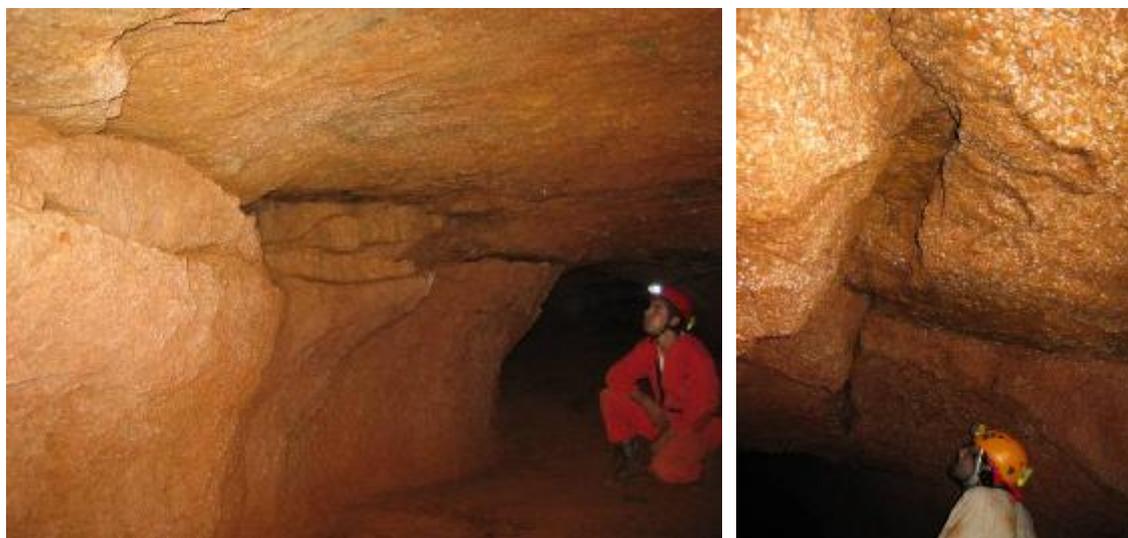


Figura 46. Juntas de alívio subhorizontais (esquerda) e subverticais na caverna S11-07.

Dobras ou flexuras do tipo *kink bands* foram observadas em 63 cavidades, correspondendo 36,4% do total de cavernas estudado. Sua ocorrência se limitou às cavernas inseridas na formação ferrífera (Figura x). A dimensão das dobras observadas variou de milimétrica a métrica. Na caverna S11-03 o conduto está alinhado concordantemente com o eixo de uma dobra, com cerca de 2 m entre os dois flancos. O mesmo ocorre na S11D-77, onde um dos condutos segue os planos de charneira de diversas dobras subparalelas (Figura 47). Em ambas as cavernas as dobras são responsáveis pelas seções arqueadas dos tetos. No entanto, a maior parte dos dobramentos observados atinge poucos centímetros, exercendo pouca ou nenhuma influência na morfologia da caverna. Segundo Ribeiro (2003), estruturas deste tipo podem, localmente, estar relacionadas à deformação por colapso gravitacional, em função da lixiviação de minerais no processo supergênico. Nota-se que a maior friabilidade do substrato não está associada apenas a um processo químico, mas também à movimentação do maciço e à quebra das partículas.



Figura 47. Conduto alinhado ao eixo de dobra na caverna S11D-77 (esquerda). Dobra centimétrica no bandamento, observado na caverna S11D-55 (direita); notar o canalículo desenvolvido no eixo da dobra.

Falhas foram registradas nas cavernas S11-03, S11-27, S11D-51 e S11D-53, representando 2,3% do total de cavernas estudado. Em todas estas cavernas essas estruturas se limitaram ao deslocamento pontual e em escala milimétrica de algumas camadas do bandamento (Figura 48).



Figura 48. Falhas na formação ferrífera nas cavernas S11-03 e S11-27, respectivamente.

5.2.5. Hidrologia

Entre as cavernas do Projeto S11D, três cavidades (1,7%) apresentaram escoamento perene (S11-08, S11-28 e CAV-30). As cavernas CAV-30 e S11-28 se inserem em calhas de drenagem, onde parte do fluxo é capturado, ressurgindo no

interior dessas cavidades na forma de drenagens de pequeno porte. A caverna S11-08 é formada por um depósito de tálus na drenagem.

Drenagens temporárias foram observadas em dezessete cavidades (CAV-09, CAV-37, CAV-40, CAV-41, S11-07, S11-20, S11-24, S11D-09, S11D-17, S11D-29, S11D-33, S11D-39, S11D-41, S11D-54, S11D-70, S11D-77 e S11D-83), representando 9,8% da amostra, sendo mais expressivas nas cavernas CAV-09, CAV-41, S11-07, S11D-33, S11D-54, S11D-70, S11D-77 e S11D-83. Em doze cavidades (CAV-37, CAV-40, CAV-41, S11-07, S11-20, S11-24, S11D-09, S11D-33, S11D-54, S11D-70, S11D-77 e S11D-83) essas drenagens funcionam como surgências; nas demais estão associadas a drenagens externas parcialmente capturadas.

A Figura 49 apresenta exemplos de drenagem perene e temporária observadas nas cavernas estudadas.

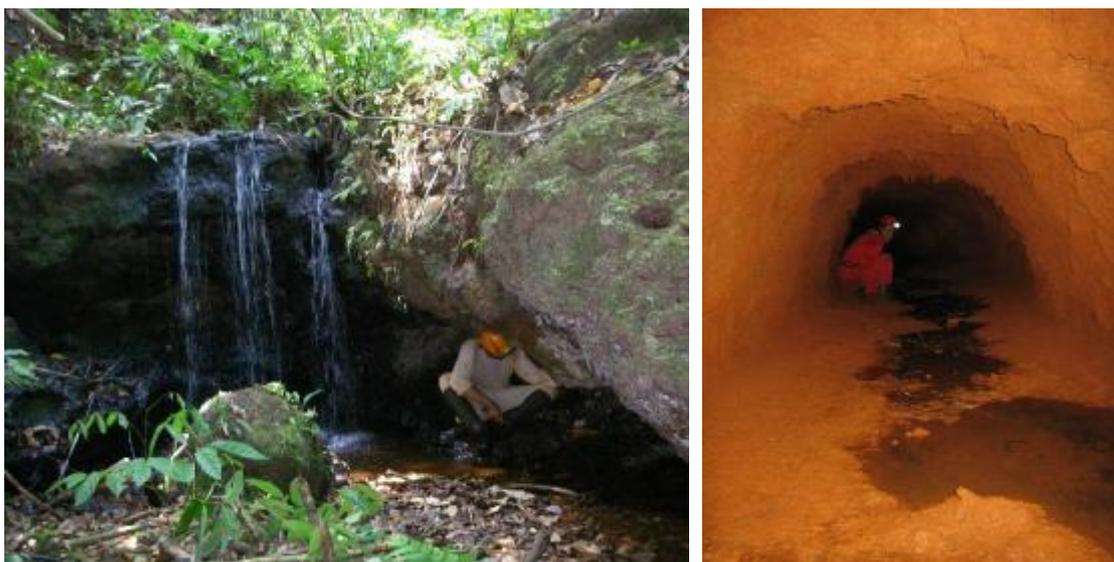


Figura 49. À esquerda, drenagem perene sobre a caverna CAV-30; parte do escoamento é capturado e flui pelo conduto principal em direção à entrada. À direita, escoamento temporário na cavidade S11-07; o fluxo não atinge a parte externa da caverna.

Poças foram observadas em 24 cavernas (13,8%) da amostra (CAV-23, CAV-34, CAV-40, CAV-41, S11-07, S11-15, S11-16, S11D-01, S11D-07, S11D-08, S11D-09, S11D-33, S11D-39, S11D-40, S11D-41, S11D-42, S11D-54, S11D-59, S11D-77, S11D-83, S11D-86, S11D-87, S11D-96 e S11D-101). Apenas nas cavernas CAV-40, CAV-41, S11-07, S11D-01, S11-16, S11D-33, S11D-77, S11D-83 e S11D-96

atingem dimensões representativas. Na caverna S11D-16 a poça que ocupa todo o piso da caverna é alimentada pela drenagem externa em períodos mais úmidos. As cavernas S11D-07, S11D-08 e S11D-09 estão nas margens do Lago Violão (Figura 50), ficando parcial ou totalmente submersas em períodos chuvosos. Nas demais cavidades sua origem está associada à percolação de águas pluviais.

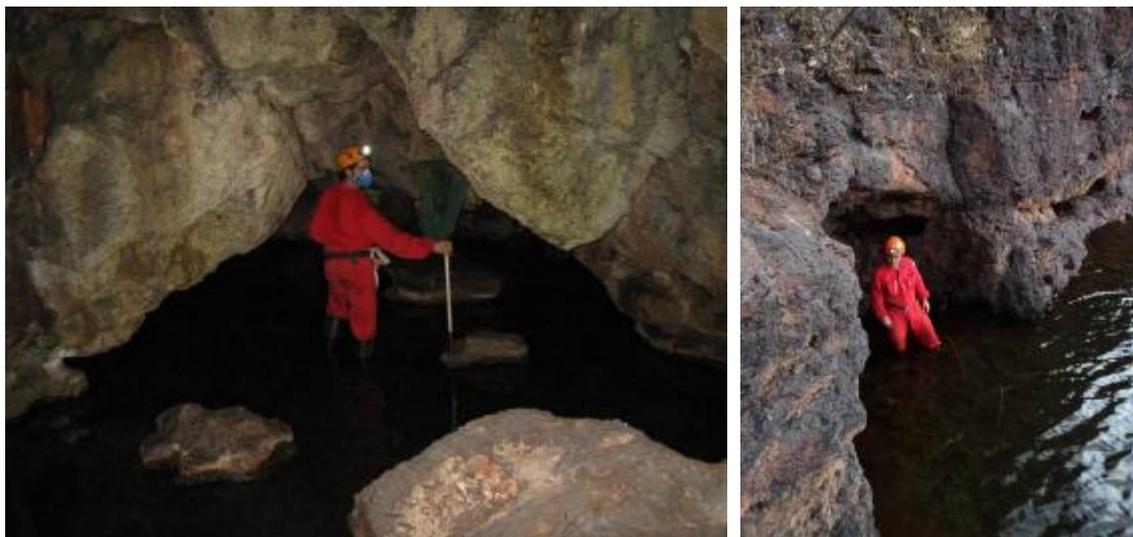


Figura 50. À esquerda, poça temporária na caverna S11D-83. À direita, águas do lago Violão na entrada da caverna S11D-08.

Gotejamento foi registrado em 108 cavernas, representando o total de 62,4% da amostra. Os estudos ocorreram em período úmido e algumas cavidades foram visitadas em dias chuvosos. É provável que entre abril e setembro, período de estiagem, estes gotejamentos diminuam consideravelmente.

Em 42 cavernas (24,2%) houve registro de percolação. Em duas cavidades (S11D-01 e S11D-101) foi possível notar a influência da percolação sobre os depósitos químicos. Na caverna S11D-01, a percolação é responsável pela deposição de escorrimentos com a formação de pingentes e uma cortina. Na caverna S11D-101 existem escorrimentos, pingentes e cortinas com até 25 cm, além de microtravertinos depositados logo abaixo destas. Em ambas as cavidades os espeleotemas estão em processo de formação, sendo possível observar a atuação do fluido percolante (Figura 51).



Figura 51. Espeleotemas ativos nas cavernas S11D-01 e S11D-101, respectivamente. À esquerda, um pingente em plena formação; à direita, microtravertinos depositados abaixo de um ponto de percolação.

5.2.6. Depósitos clásticos

Os sedimentos clásticos observados nas cavernas do Projeto S11D não apresentaram diferenças significativas se comparado a outras cavidades estudadas na região de Carajás.

Entre as cavernas da formação ferrífera foram observados clastos líticos de granulometria variada, comumente entre grânulos e matacões. O tamanho predominante em grande parte das cavernas é o seixo. No entanto, quando o substrato é composto por clastos maiores como é o caso da canga observada na caverna S11D-99 é comum que o tamanho dos clastos seja maior. Nesta caverna o tamanho predominante dos clastos é o matacão. Isso indica a estreita relação entre o sedimento e o substrato rochoso, já que os sedimentos, na sua maioria, são de origem autóctone. A forma dos clastos variou de arredondados a angulosos, com predomínio de subangulosos. Nota-se que nas cavernas onde o litotipo predominante é o minério de ferro bandado, os clastos tendem a ser mais angulosos, principalmente quando a rocha está muito fraturada. As formas mais arredondadas dos clastos estão normalmente associadas a cangas cujos clastos sofreram maior transporte antes da cimentação, como é o caso das cavernas S11D-99 e S11D-100 (Figura 52).

Sedimento terrígeno também foi observado em grande parte das cavidades estudadas. Com exceção da caverna S11-26, este tipo de sedimento quando presente possui textura argilo-arenosa e coloração avermelhada a amarelada. Cavernas em rocha máfica tendem a apresentar predomínio de sedimento terrígeno, o que se deve ao freqüente estado de alteração intempérica da rocha. A única exceção observada em S11 foi a cavidade S11-31, onde a predominante presença de calhaus se deve ao estado pouco alterado da rocha.

Em algumas cavidades como a S11D-12 e S11D-33 foi possível observar o aporte de sedimento terrígeno via canaliculos (Figura 53), demonstrando a autogenia desses depósitos. Na caverna S11D-26, o sedimento de granulometria fina tem textura arenosa e pode ter origem tanto autóctone, resultante do intemperismo da sílica existente no jaspilito, quanto alóctone, resultante do aporte de material externo, trazido pela drenagem existente na entrada da caverna.



Figura 52. À esquerda, matacões arredondados abatidos do teto na caverna S11D-99; à direita, aporte de sedimentos de granulometria fina através de um canaliculo na caverna S11D-33.

Cones de abatimentos foram registrados em 41 cavidades (23,7%). Em função do volume desses depósitos, podemos destacar as seguintes cavernas: S11D-13, S11D-33, S11D-39, S11D-43, S11D-46, S11D-64, S11D-76, S11D-78, S11D-83 e S11D-96. Os cones são constituídos de matacões e calhaus e se formam a partir do abatimento de porções do teto ou da escarpa onde se insere a caverna (Figura 53).



Figura 53. Cone de matações no interior da caverna S11D-76.

Sedimentos claramente de origem alóctone foram registrados em 17 cavernas, representando 9,8% da amostra (CAV-09, CAV-23, CAV-25, CAV-37, S11-01, S11-02, S11-07, S11-08, S11-11, S11-13, S11-14, S11-16, S11-26, S11-31, S11D-18, S11D-20 e S11D-31). Esses depósitos caracterizam-se por volumes representativos de material terrígeno, folhiços, pequenos troncos e até blocos desprendidos da escarpa, que atingem o interior da cavidade. Na caverna S11-07 o sedimento terrígeno forma rampas a partir das entradas em direção ao interior da cavidade. Acredita-se que tais sedimentos tenham origem fluvial, tendo-se depositado em sucessivos eventos de cheia, no passado, quando a drenagem ainda podia atingir o nível das entradas. Atualmente o nível da drenagem está 6 m abaixo do nível das entradas, o que provavelmente impossibilita o aporte de sedimentos mesmo em períodos de cheia (Figura 54).



Figura 54. À esquerda, sedimento de origem alóctone na cavernas S11-07; à direita, cone de sedimentos e folhiço na caverna S11D-48 .

Em 29 cavidades (16,8%) foi registrada a presença de vestígio arqueológico. Constituem em geral fragmentos de cerâmica e/ou material lítico lascado, esses últimos na maior parte das vezes de litologia diferente da caverna onde estão depositados. É o caso de lascas de metabasalto fresco e quartzo no interior da caverna CAV-32. O litotipo mais freqüente entre os vestígios arqueológicos é o quartzo hialino, no entanto, a presença de quartzo na composição de rochas como a canga, o ferricrete, além de veios na FFB faz com que a ocorrência desse material nem sempre esteja associada à presença humana pretérita, o que poderá ser constatado por pesquisa arqueológica mais detalhada. Os estudos arqueológicos no Projeto S11D estão sendo conduzidos pela Scientia Consultoria.

Sedimentos de origem orgânica são bastante recorrentes nas cavernas de S11. Geralmente constituem depósitos ou manchas esparsas de guano, estes observados em 74 cavernas (42,8%), fragmentos de ossos, presentes em 14 cavernas (8,1%) e serrapilheira, presente em 130 cavernas (75,1%) em geral na zona de entrada. Importantes depósitos de guano foram registrados nas cavernas S11D-54 e S11D-83. Nessas cavidades a presença de grandes colônias de morcegos é responsável por depósitos recentes e volumosos. Na caverna S11D-54 gases resultantes da decomposição do guano impossibilitam o acesso à caverna durante os períodos mais úmidos do ano. Na caverna S11D-83 a colônia habita atualmente no salão oeste, no entanto, a abundância de guano seco no salão norte registra que o local já foi habitado por uma grande colônia.

5.2.7. Depósitos químicos

Depósitos químicos foram registrados em todas as cavidades na área do Projeto S11D. Em minério de ferro compreendem em geral feições de pequeno porte e com mineralogia limitada a óxidos/hidróxidos de ferro, sulfatos e fosfatos (Piló & Auler, 2009). A variedade tipológica não é extensa, estando em geral limitada a alguns poucos tipos corriqueiros.

As Figuras 55, 56 e 57 apresentam os espeleotemas mais freqüentes nas cavernas em função do litotipo.

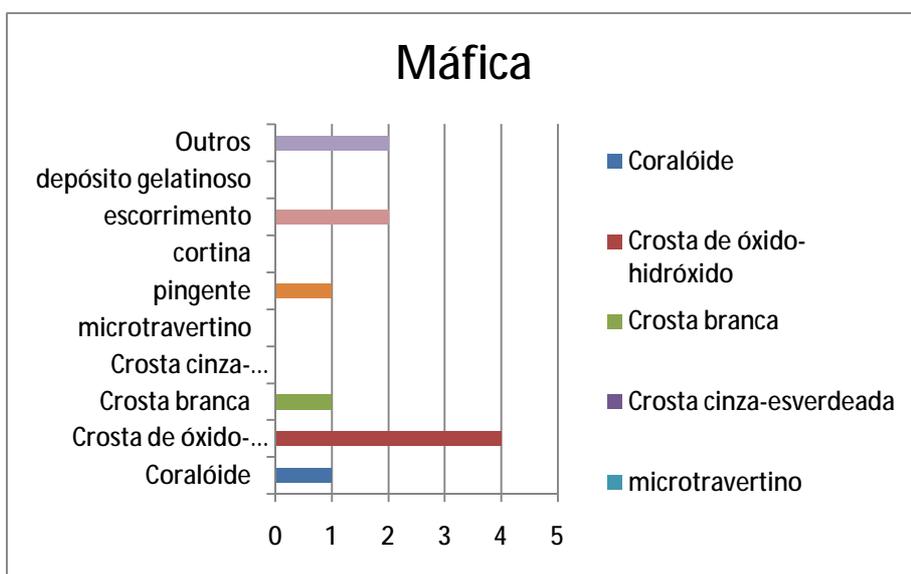


Figura 55. Freqüência de cavernas em rocha máfica por tipo de espeleotema.

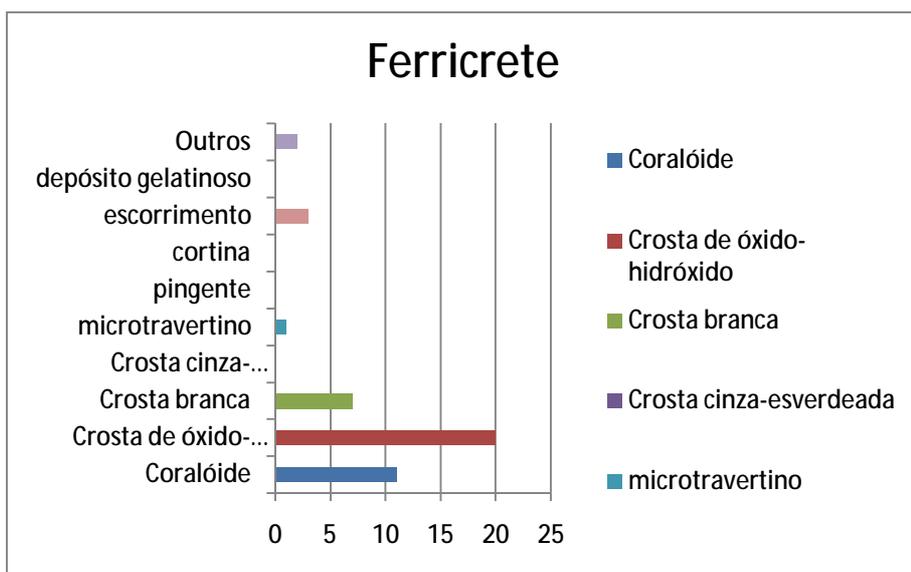


Figura 56. Freqüência de cavernas em ferricrete por tipo de espeleotema.

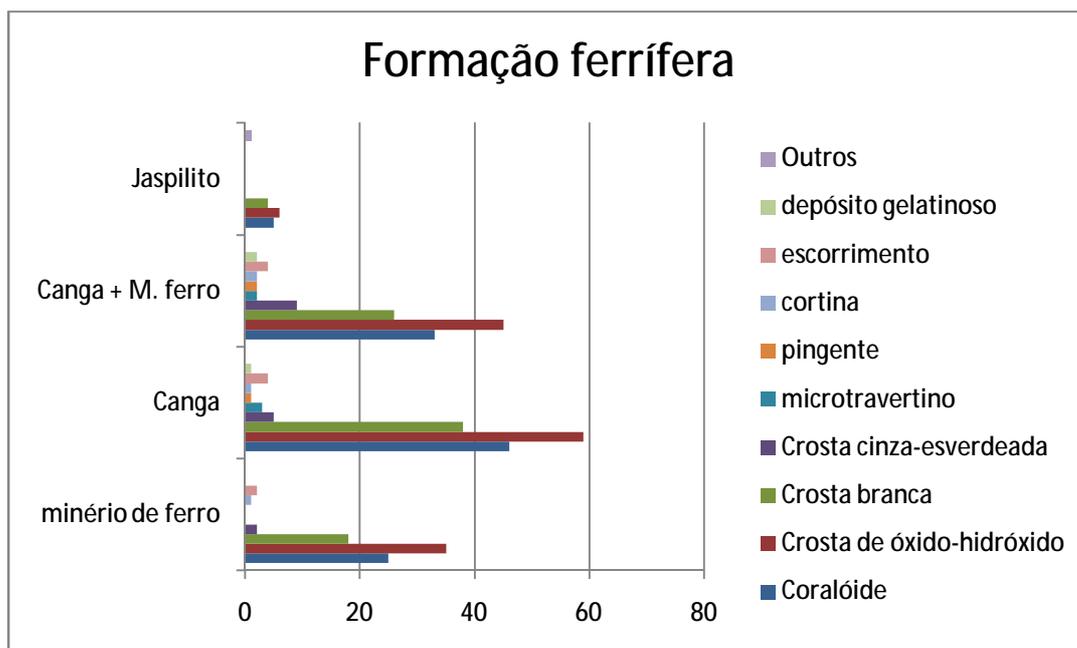


Figura 57. Frequência de cavernas da formação ferrífera por tipo de espeleotema.

Os gráficos das figuras acima demonstraram que o espeleotema mais recorrente, independentemente do litotipo, foi a crosta, presente em 172 cavidades (99,4%); a única exceção foi a cavidade CAV-25. Essas crostas podem ter coloração cinza com aspecto porcelanizado, vermelha ou amarelada. Constituem em geral, películas de espessura milimétrica a centimétrica que recobrem blocos, piso, paredes e teto das cavernas (Figura 58). Essas crostas em alguns casos são responsáveis pela sustentação de paleopisos (mencionados anteriormente), que constituem importantes registros evolutivos da caverna.



Figura 58. À esquerda, crosta escura na caverna S11D-63; à direita, crosta vermelha-amarelada na caverna S11D-77.

Nas cavidades CAV-14, S11-05, S11D-91, S11D-93 e S11D-94 crostas estão relacionadas a fraturas verticalizadas. A espessura dessas crostas varia de aproximadamente 5 cm a até 50 cm (CAV-14) e apresentam-se em camadas milimétricas bastante parecidas com o bandamento da formação ferrífera. Na caverna S11D-93 estão intercaladas a finas camadas de canga detritica (Figura 59).



Figura 59. À esquerda, camadas de crosta preenchendo fratura subvertical na canga (CAV-14); à direita, detalhe das camadas de crosta intercaladas a canga detritica na caverna S11D-93.

Coralóides foram registrados em 122 cavernas, correspondendo a 70,5% da amostra. Em geral apresentam dimensões milimétricas a até 1 cm, com formatos variados, podendo ser alongados (tipo agulha), na forma de *couve-flor* e rombudos (morfologia mais arredondada). Segundo Piló & Auler (2009), há maior incidência de coralóides do tipo agulha em locais onde o fluxo de ar é mais acentuado, ao passo que os coralóides de topo arredondado (rombudos) são mais recorrentes em ambientes onde a atmosfera é mais estável e com maior umidade. É comum que estes espeleotemas estejam associados a crostas. A coloração desses espeleotemas dependerá dos minerais envolvidos na cristalização. Já foram registrados coralóides nas cores branca, branco-amarelada, marrom, cinza e

preta. Ocorrem em paredes, sobre blocos abatidos, sobre pisos ou nos tetos das cavernas (Figura 60).



Figura 60. À esquerda, coralóides do tipo rombudo sobre crostas na caverna S11D-05; à direita, coralóides pontiagudos na caverna CAV-34.

Na caverna CAV-41 foram observadas formas coraloidais desenvolvidas em crostas ao longo de grande parte do teto próximo à entrada. O arranjo desses espeleotemas se destaca no conjunto observado na região de Carajás, constituindo formas botrioidais de textura granular com até 10 cm de diâmetro. Essas feições projetam-se da superfície da crosta ferruginosa como couves-flor. Crostas com textura similar, sem as formas botrioidais foram registradas também nas cavernas CAV-34 e CAV-35. Alguns pendentes de teto da CAV-41 são recobertos por esses espeleotemas (Figura 61).



Figura 61. À esquerda, coralóides de hábito botrioidal na caverna CAV-41; à direita, coralóides semelhantes recobrendo um pendente no teto.

Crostras, possivelmente fosfáticas, de coloração cinza-esverdeada foram observadas em 16 das cavidades estudadas, representando 9,3% da amostra. As mais expressivas encontram-se nas cavernas S11D-54, S11D-55, S11D-64, S11D-83 e S11D-96. Nessas cavidades, setores de paredes, piso, além de inúmeros blocos abatidos estão recobertos por essas crostas, que freqüentemente estão associadas a depósitos de guano (Figura 62).



Figura 62. Da esquerda para a direita: crosta cinza-esverdeada nas cavernas S11D-83 e S11D-96.

Escorrimentos foram observados em 16 cavidades, correspondendo a 9,3% da amostra. Em sete dessas cavidades (4%), os escorrimentos apresentaram-se com textura de microtravertinos. Em cinco cavidades (2,9%), os escorrimentos adquirem a forma de cortinas e, em cinco cavidades (2,9%), formam pingentes

(Figura 63). As maiores dimensões para esse tipo de espeleotema ocorreram na caverna S11D-01, onde se observou a presença de um escorrimento com cerca de 2 m de comprimento, além de pingentes com aproximadamente 15 cm de comprimento.

Na caverna S11D-83 ocorrem cortinas com dimensões superiores a 50 cm, o que é bastante raro em cavernas da formação ferrífera. Os depósitos de microtravertinos mais expressivos foram vistos na caverna S11D-101, ocupando uma área de aproximadamente 1,5 x 2 m sobre matacões abatidos. Detalhes desses espeleotemas podem ser observados na Figura 51.



Figura 63. Da esquerda para a direita: escorrimento com cerca de 2 m de comprimento formando cortinas na caverna S11D-01; escorrimento na forma de microtravertinos e pequenas cortinas na caverna S11D-101.

Grande parte dos espeleotemas observados na caverna S11D-83 constitui formas raras em cavernas da formação ferrífera e litologias associadas (Figura 64). As ocorrências praticamente se restringem aos dois salões da extremidade norte da caverna. Nesses salões foram registradas estalactites com dimensões entre poucos centímetros a 1 m de comprimento. Algumas estalactites fragmentadas na base demonstram anéis de crescimento concêntricos. Colunas também foram observadas, algumas com altura de até 1,5 m, além de cortinas, crostas e capas estalagmíticas.

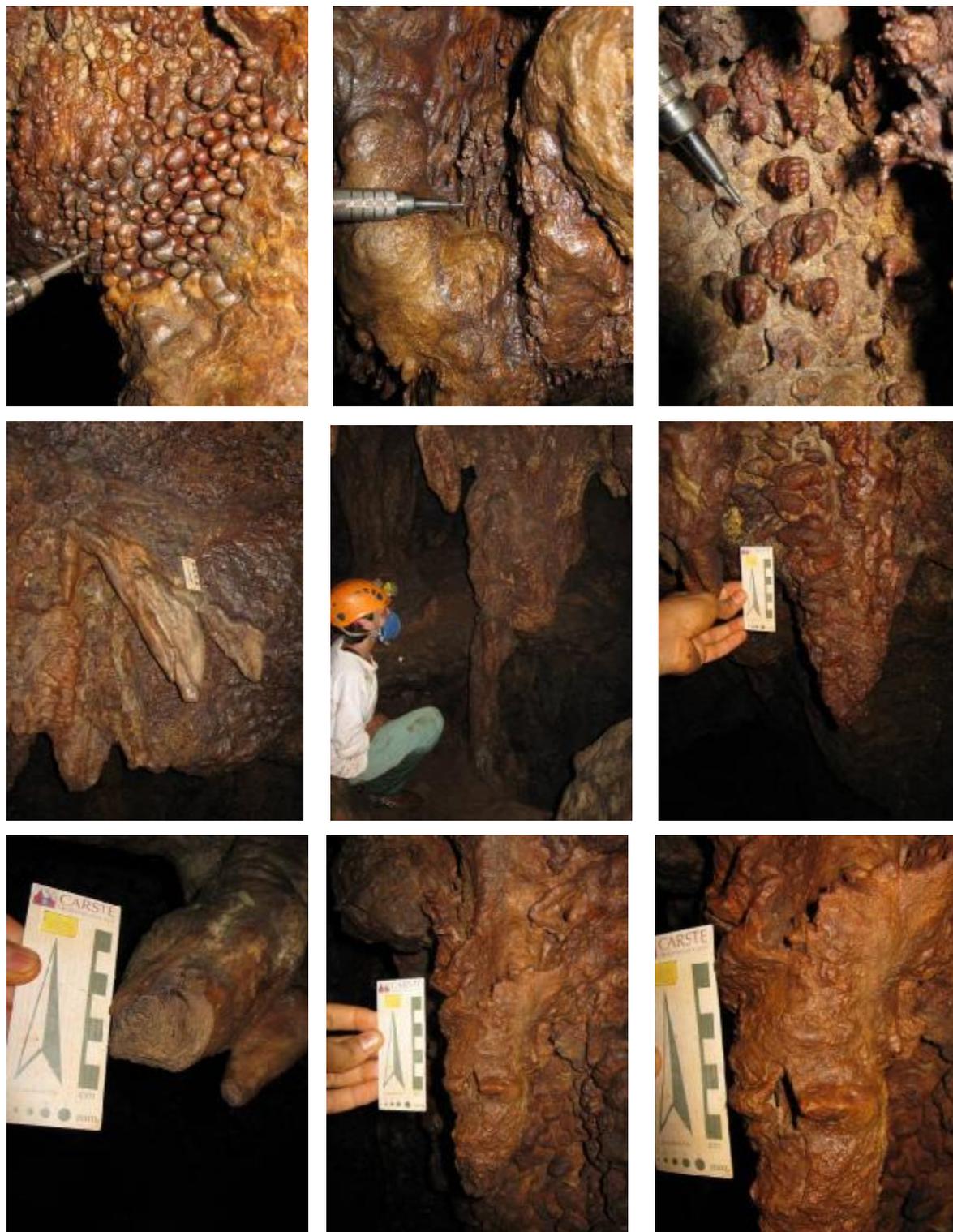


Figura 64. Espeleotemas raros na caverna S11D-83, em sentido horário: formas botrioidais de coralóides; pingentes milimétricos de morfologia anelar; proto pingentes anelares desenvolvendo-se a partir de projeções subhorizontalizadas; cortinas; coluna com aproximadamente 1,5 m de comprimento; estalactite com coralóides rombudos alongados de até 6 cm; estalactite fragmentada apresentando estrutura de deposição concêntrica; estalactite com camada externa aparentemente colapsada e detalhe camada externa da mesma estalactite.

Espeleotemas menores como coralóides do tipo rombudo, outros bem arredondados, além de alguns pontudos de morfologia anelar, foram registrados. As dimensões variam de 1 a 6 cm aproximadamente

Crostas brancas foram registradas em 95 cavidades, correspondendo a 54,9% das cavernas estudadas. Esse tipo de espeleotema possui textura macia e é extremamente sensível ao toque. Ocorrem geralmente em paredes e no teto das cavidades. Nas cavernas S11D-05, S11D-12 e S11D-47 essas crostas se destacam por apresentarem conjuntos expressivos. Localmente, essas crostas podem estar associadas microcoralóides do tipo agulha (Figura 65).



Figura 65. Da esquerda para a direita: crostas brancas nas cavernas S11D-05 (com microcoralóides) e S11D-12.

Na zona de entrada da caverna S11D-83 grande parte das paredes e teto é recoberta por crostas branco-amareladas, de composição química ainda desconhecida. Ao contrário das crostas brancas de textura macia, as crostas branco-amareladas têm consistência dura e formam uma película delgada na superfície da rocha. Localmente essas crostas estão capeadas por fina película de coloração vermelha (Figura 66).



Figura 66. À esquerda, crostas branco-amareladas nas paredes e teto da caverna S11D-83, à direita, detalhe de crosta vermelha sobre crosta branco-amarelada.

Crostas de coloração semelhante foram identificadas no piso na caverna S11D-57. Nessa cavidade as crostas se apresentam em camadas subhorizontalizadas, de espessura milimétrica a centimétrica, cimentando grânulos esparsos milimétricos de hematita. Estão intercaladas a camadas mais espessas de matriz ferruginosa e clastos maiores e mais abundantes (Figura 67). As características dessa deposição sugerem variação no regime hidrológico da caverna, marcada por períodos de maior fluxo associado às camadas ferruginosas mais grosseiras. A redução desse fluxo seria responsável pela deposição das camadas de crosta branco-amarelada com diminuição granulométrica dos clastos.



Figura 67. À esquerda, crosta branco-amarelada na caverna S11D-57; à direita, detalhe da variação granulométrica entre as diferentes camadas.

Pigmentos constituem delgados recobrimentos de paredes e tetos de cavernas. Apresentam na forma de manchas ou mesmo pontos de coloração branca opaca ou por vezes brilhante (Figura 68). São extremamente comuns, ocorrendo em grande parte das cavernas. São mais freqüentes em zonas de entrada ou zonas que recebem alguma luminosidade. Análises químicas (difração de raios X) demonstraram não se tratar de material de afiliação mineralógica, mas possivelmente orgânica.

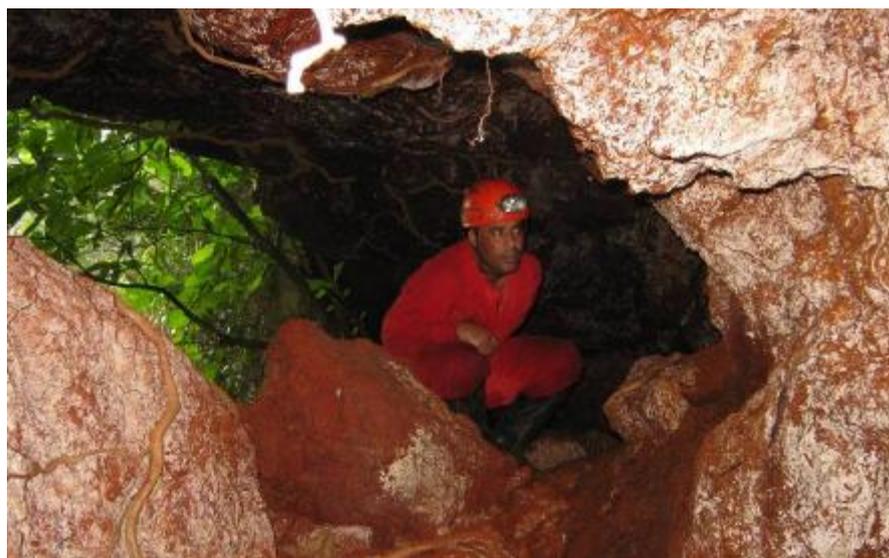


Figura 68. Pigmentos brancos sobre as paredes e teto na caverna S11D-46.

Na caverna S11D-33 foram registrados pequenos ninhos de larva de marimbondos, construídos a partir de material terrígeno que posteriormente sofreu endurecimento diante da precipitação mineral (Figura 69). Trilhas de térmitas (cupins) são freqüentes nas cavernas e podem sofrer endurecimento diante da percolação e precipitação de soluções ricas em minerais (Figura 69). Esse tipo de espeleotema foi denominado “cupimtemas” durante estudos nas grutas de Capão Xavier (Piló & Auler, 2005). Na área de estudo foram identificados em diversas cavernas, dentre elas N4E-20, N4E-43 e N4WS-17.



Figura 69. À esquerda, ninho de marimbondo na caverna S11D-33; à direita, “cupimtema” na caverna S11D-39.

5.2.8. Aspectos espeleogenéticos e cronológicos

O trabalho de Simmons (1963) em áreas com presença de minério de ferro dolomítico no Quadrilátero Ferrífero foi o pioneiro em atribuir a gênese de cavernas em minério de ferro e canga a processos de dissolução. Segundo ele, a dissolução do dolomito, mas também de quartzo e hematita, leva à formação de uma zona de minério de ferro alterado de alta porosidade que chega a atingir 50% do volume da rocha. Em regiões de minério de ferro silicoso, a dissolução da sílica também exerceria um papel importante.

Uma vez que o enriquecimento supergênico consiste na retirada de matéria do protominério (lixiviação), além do aumento residual do teor em ferro, o processo promove também um significativo aumento da porosidade e permeabilidade do corpo mineral. Ribeiro (2003), trabalhando no Quadrilátero Ferrífero, demonstrou que pode haver uma redução de até 40% do volume da rocha, resultando em

minério friável com alta porosidade. A remoção de sílica e/ou dolomito resulta em uma concentração e conseqüente geração de zonas com minérios de ferro de alto teor (processo de mineralização).

Na Serra dos Carajás, duas fases espeleogenéticas foram propostas por Pinheiro & Maurity (1988). Durante a primeira fase, inteiramente na zona freática, ocorre a formação de complexos alumino-ferrosos e argilo-minerais instáveis de Fe, Al e Si que preenchem os vazios da canga e da FFB. A remoção deste material residual instável leva à formação de orifícios irregulares que podem ser observadas nas paredes e cavidades das cavernas (Pinheiro & Maurity, 1988). A segunda etapa, ainda na zona freática, envolve processos erosivos (*piping*), que basicamente expandem as cavidades geradas na primeira etapa, levando então à formação de condutos e salões. Esses processos erosivos serão intensificados quando a caverna passar a ser exposta à atuação de processos vadosos, propiciando também a atuação de processos de abatimento (Pinheiro & Maurity, 1988).

Piló & 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 através de processos similares ao *piping*, descrito para cavidades em rochas siliciclásticas. Essa segunda etapa, iniciada na zona freática, pode ter continuidade na zona vadosa, quando os processos de *piping* podem vir a ser favorecidos.

Iniciada a etapa erosiva das cavidades e sendo estabelecida uma saída para o exterior, os processos físicos serão incrementados. Material de granulometria fina será aportado para o interior das cavernas, principalmente, via canaliculos, de onde será evacuado para o exterior. Essa fase erosiva, aliada a processos de abatimento de blocos, é responsável pela maior parte da morfologia atualmente observada nas cavernas estudadas.

Nas altas e médias vertentes, áreas onde haja quebra de relevo, ou encostas íngremes, são locais em que o gradiente hidráulico do lençol freático será mais pronunciado, resultando em uma maior velocidade da água subterrânea e concomitantemente maior capacidade erosiva da mesma. Este processo parece responsável pela formação das cavernas estudadas na área do platô de S11D e aquelas posicionadas na encosta da serra.

O mesmo não ocorre com a caverna S11-07. Sua gênese está diretamente associada à variação do nível freático, sendo a circulação facilitada pela porosidade secundária. Os escoamentos internos atuais testemunham de modo discreto o processo de circulação hidráulica responsável pelo alargamento dos poros iniciais e evolução dos condutos.

O fato de as entradas estarem todas na borda da drenagem evidencia que a abertura do sistema se deu em função da erosão fluvial. Uma vez aberto o sistema, é possível que o processo de remoção mecânica da rocha tenha sido acelerado durante uma segunda fase de espeleogênese. Hoje as entradas encontram-se suspensas em relação ao talvegue, mas medições topográficas demonstram que o nível de base da caverna (setor centro-sudeste) está bastante próximo ao nível da drenagem externa (Figura 70). Ao longo dos condutos das entradas os leques de sedimentos evidenciam uma fase de entulhamento fluvial, responsável pela elevação do nível das entradas, desconectando-as do curso d'água superficial.

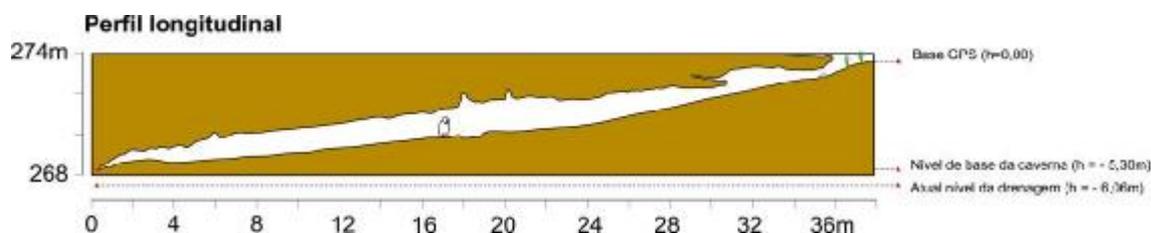


Figura 70. Perfil longitudinal da entrada utilizada como início da topografia. Note que o nível de base da cavidade está a aproximadamente 70 cm acima do nível atual da drenagem em período seco.

As "cúpulas" de teto tiveram e ainda têm um papel importante na evolução da cavidade, sendo responsáveis por significativos aumentos de volume interno. Tais

feições são decorrentes de fluxo hídrico no sentido vertical, certamente associado à ação pluvial. O topo de algumas dessas “cúpulas” se conectam a “pipings” subhorizontalizados que se desenvolvem em um nível superior ao atual.

A morfologia espongiiforme de algumas das cavernas estudadas sugere que algumas câmaras (globulares) podem ter evoluído independentemente, tendo sido tardiamente conectadas por galerias mais estreitas (canalículos alargados). Dois bons exemplos desse padrão planimétrico em S11D são as cavernas S11D-39 e S11D-83.

A zona de contato irregular entre dois litotipos - canga e minério de ferro - parece, favorecer a espeleogênese de algumas das cavernas estudadas. A ocorrência de cavernamento neste tipo de contato litológico é bastante comum na região de Carajás e no Quadrilátero Ferrífero, MG. Estes locais constituem pontos favoráveis para que o processo de dissolução e erosão seja acelerado e cavernas sejam geradas.

Poucas inferências têm sido feitas a cerca da idade das cavernas em minério de ferro e canga. Em Carajás, Pinheiro *et al.* (1985) e Pinheiro & Maurity (1988) teceram breves considerações sobre o tema. Esses autores associam o início da formação das cavidades ao processo de geração da canga, atrelando a idade das cavernas à idade da canga. No entanto, existem grandes incertezas com relação à idade do início da formação da canga. Uma idade aproximada, final do Cretáceo/início do Terciário e desenvolvimento durante o Pleistoceno foi aventada por Pinheiro *et al.* (1985) e Pinheiro & Maurity (1988).

Segundo Spier (2005), os intensos processos de intemperismo químico que atuaram nas formações ferríferas do Quadrilátero Ferrífero permitiram a completa dissolução da dolomita e a formação de minerais de manganês a partir das FFBs. Datações, pelo método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, forneceram idades entre 61,5 Ma a 14,2 Ma, sugerindo uma longa história de intemperismo na região. No entanto, a maior parte dos óxidos de Mn precipitou no intervalo entre 51 e 41 Ma, com pico por volta de 46,7 Ma. Os dados cronológicos também confirmaram que o perfil de intemperismo das formações ferríferas já tinha atingido o atual estágio de desenvolvimento há cerca de 50 Ma, sugerindo que a frente intempérica avançou

muito pouco durante o Neógeno. Esses dados indicam que a partir do Eoceno as formações ferríferas já apresentam boas condições para a espeleogênese. Apesar da falta de dados demonstrativos e cronológicos absolutos, acredita-se que as cavernas desenvolvidas no minério de ferro são realmente muito antigas (acima de 2 Ma), com idades bem superiores às cavernas carbonáticas.

Vale lembrar que ainda não existem, no interior destas cavernas, métodos de datação absoluta passíveis de serem aplicados na escala de tempo da história evolutiva das cavernas. Registros do Holoceno poderão ser balizados, via ^{14}C , através de sedimentos antropogênicos (carvão de fogueira, restos vegetais etc.).

5.2.9. Aspectos sócio econômicos, culturais e estado de conservação

Nenhuma das cavernas estudadas na área do Projeto S11D apresentou valor cultural ou sócio econômico. Com relação a seu estado de conservação, 13 cavidades apresentaram algum tipo de interferência (impacto) em seu interior. Nas cavidades do Corpo D os impactos são decorrentes de escavações de quadras para sondagem arqueológica. Em algumas delas essas quadras não foram fechadas (recobertas com sedimentos). Também foram encontrados restos de sacos e lonas plásticas. Nas cavernas S11-26 e S11-27, próximas a um balneário, foi encontrado lixo deixado por banhistas. Setenta cavernas sofreram interferências em seu entorno de 250 m, sendo tais impactos caracterizados pela abertura de vias de acesso, sondagens e supressão da vegetação para o cultivo de pastagem. Em algumas cavernas o entorno é utilizado como balneário (Tabela 3).

Tabela 3. Alterações no interior e entorno das cavernas da área do Projeto S11D.

Caverna	Impacto no interior	Impacto no entorno de 250 m
CAV-01		Via de acesso
CAV-03		Via de acesso
CAV-06		Via de acesso
CAV-07		Via de acesso
CAV-10		Via de acesso
CAV-11		Via de acesso
CAV-12		Via de acesso
CAV-13		Via de acesso
CAV-15		Via de acesso
CAV-16		Via de acesso
CAV-17		Via de acesso

CAV-18		Via de acesso
CAV-19		Via de acesso
CAV-20		Via de acesso
CAV-21		Via de acesso
CAV-22		Via de acesso
CAV-24		Via de acesso
S11-01		Balneário
S11-07		Supressão da vegetação para cultivo de pastagem
S11-12		Supressão da vegetação para cultivo de pastagem
S11-13		Supressão da vegetação para cultivo de pastagem
S11-14		Supressão da vegetação para cultivo de pastagem
S11-15		Supressão da vegetação para cultivo de pastagem
S11-16		Supressão da vegetação para cultivo de pastagem
S11-21	Sondagem arqueológica	
S11-26	Lixo	Balneário
S11-27	Lixo	Balneário
S11-28	Lixo	Balneário
S11D-001	Sondagem arqueológica	
S11D-003		Bomba d'água e via de acesso
S11D-005		Bomba d'água e via de acesso
S11D-018		Via de acesso
S11D-019		Via de acesso
S11D-029		Via de acesso
S11D-038		Via de acesso
S11D-040	Sondagem arqueológica	Via de acesso
S11D-041		Via de acesso
S11D-045	Sondagem arqueológica	
S11D-049	Sondagem arqueológica	Via de acesso
S11D-050	Sondagem arqueológica	Via de acesso
S11D-052		Praça de sondagem e via de acesso
S11D-053	Sondagem arqueológica	Praça de sondagem e via de acesso
S11D-054		Praça de sondagem e via de acesso
S11D-055	Sondagem arqueológica	Praça de sondagem e via de acesso
S11D-056		Praça de sondagem e via de acesso
S11D-057		Praça de sondagem e via de acesso
S11D-058		Praça de sondagem e via de acesso
S11D-060		Praça de sondagem e via de acesso
S11D-061		Praça de sondagem e via de acesso
S11D-062		Praça de sondagem e via de acesso
S11D-063		Praça de sondagem e via de acesso
S11D-064		Praça de sondagem e via de acesso
S11D-065		Praça de sondagem e via de acesso
S11D-066		Praça de sondagem e via de acesso
S11D-067		Praça de sondagem e via de acesso
S11D-080		Praça de sondagem e via de acesso
S11D-081		Praça de sondagem e via de acesso
S11D-082		Praça de sondagem e via de acesso
S11D-083		Via de acesso
S11D-084		Via de acesso
S11D-085		Via de acesso
S11D-086		Via de acesso
S11D-087		Via de acesso

S11D-088		Via de acesso
S11D-089		Via de acesso
S11D-090		Via de acesso
S11D-091		Via de acesso
S11D-092		Via de acesso
S11D-093		Via de acesso
S11D-094		Via de acesso
S11D-097		Via de acesso
S11D-098		Sondagem arqueológica
S11D-099	Sondagem arqueológica	Via de acesso
S11D-101	Sondagem arqueológica	

5.3. Bioespeleologia

5.3.1. Introdução

5.3.1.1. Ambiente Subterrâneo

O meio subterrâneo é caracterizado por um complexo de espaços interconectados no subsolo, onde a ausência de luz, a temperatura constante e alta umidade relativa do ar são características marcantes e determinantes para colonização dos habitats ali encontrados (Juberthie, 2000). A zonação das variáveis ambientais tem relação direta com a topografia e extensão da cavidade, que por sua vez podem influenciar na distribuição da fauna cavernícola (Juberthie, 2000; Trajano & Bichuette, 2006).

A diminuição na amplitude de oscilação de fatores climáticos (luminosidade, temperatura e umidade) é observada à medida que regiões mais distantes de entradas (com menor comunicação com o meio epígeo) são consideradas. Como consequência da ausência de luz nas regiões afastadas da zona de entrada, a ausência de fotoperíodo e organismos fotossintetizantes torna-se mais acentuada, desencadeando uma escassez alimentar característica do meio cavernícola. Esta escassez é considerada um importante filtro que atua fortemente na seleção da fauna que aí se desenvolve (Poulson & Lavoie, 2000).

5.3.1.2. Comunidade cavernícola

São considerados cavernícolas os organismos que passam pelo menos uma parte do seu ciclo de vida no ambiente subterrâneo, apresentando uma relação direta com esse meio. Assim, esses animais podem ser agrupados em três categorias ecológico-evolutivas (Holsinger & Culver, 1988): os troglófilos passam parte da vida em cavernas, mas devem retornar regularmente ao meio epígeo (superfície) para completarem seu ciclo; os troglófilos possuem populações tanto no meio epígeo como no meio hipógeo (subterrâneo) e podem completar todo o ciclo em um ambiente ou passar de um para outro, permitindo o fluxo gênico; os troglóbios são restritos ao ambiente cavernícola, onde completam todo o ciclo de vida. Podemos encontrar troglóbios com modificações típicas, denominadas troglomorfismos, como redução dos olhos, pigmentação e metabolismo, aumento do tamanho, número e sensibilidade de estruturas sensoriais que não a visão. Esses troglomorfismos são explicados por teorias que incluem seleção natural e/ou mutações neutras, ocorrendo durante a evolução das espécies no ambiente subterrâneo (Culver & Wilkens, 2000).

Embora o critério utilizado para a definição de troglóbios seja geográfico - ausência em outros domínios que não o subterrâneo - sua aplicação é difícil, particularmente em regiões tropicais, onde a fauna de invertebrados do meio externo é pouco conhecida. Dessa forma, usualmente utiliza-se a presença de características troglomórficas e comparação com parentes filogeneticamente próximos que vivem no meio externo para definir se um táxon é troglóbio. Entretanto, esse procedimento deve ser efetuado com cautela e por especialistas, já que organismos que vivem em ambientes superficiais com características semelhantes podem apresentar modificações similares.

É interessante notar uma padronização da fauna cavernícola de diferentes regiões do país quando níveis taxonômicos mais abrangentes são considerados, com algumas similaridades locais, regionais e mesmo globais.

5.3.1.3. Caracterização das cavidades

De modo geral, as cavidades localizadas na área do Projeto S11D apresentam pequenas dimensões, característica comum em cavidades inseridas em rochas ferríferas.

A superficialidade de tais cavidades é evidente, ocorrendo forte influência de fatores climáticos do meio epígeo. Foi comum a ocorrência, em regiões iluminadas próximas às aberturas, de vegetação de pequeno porte, constituída na sua maioria por musgos, pteridófitas e ocasionalmente pequenos brotos de plantas vasculares. Devido à pequena dimensão e predomínio de zona de entrada, algumas cavernas possuem grande parte de sua área recoberta por vegetação (Figura 71). Ainda sobre a rocha e avançando para regiões mais internas, com luminosidade indireta ou mesmo em locais onde não foi detectada luz (afótica), podem ser encontrados pontos de líquens e algas recobrendo parede e teto.



Figura 71. À esquerda, piso da cavidade S11D-05, onde podem ser observados brotos de angiospermas, pteridófitas e musgos na zona de entrada; à direita, cavidade S11-09 com brotos de angiospermas esparsos.

Em 82 cavidades (47%) foi registrada apenas região com incidência direta de luz (zona de entrada). Cavidades com presença de zona afótica correspondem a 12%, embora regiões com luminosidade reduzida (penumbra escura) tenham sido registradas em uma proporção maior de cavidades.

Algumas cavidades apresentaram áreas maiores inseridas em profundidade na rocha, com extensas regiões afóticas ou luminosidade reduzida, como as cavidades S11D-01, S11D-12, S11D-13, S11D-39, S11D-40, S11D-64, S11D-78 e

S11D-96, com destaque para a cavidade S11-07, com vários condutos em zona afótica.

De um modo geral, a umidade era elevada em regiões mais isoladas e profundas na rocha; a umidade de cavidades menores era reduzida, especialmente considerando o período seco. Em 55% das cavidades foi detectada uma diminuição na umidade do período úmido para o período seco, sendo que para as demais cavidades não foi detectada variação marcante entre ambas as campanhas. Em 17% das cavidades (29) foram registradas regiões com água estagnada ao menos em uma campanha, representada na sua maioria por poças no sedimento ou sobre a rocha, muitas vezes com matéria orgânica. Destas, em 14 cavidades foi encontrado corpo d'água apenas no período úmido, e, em 15 cavidades, em ambas as campanhas. A presença e quantidade desses corpos d'água, que podem servir de micro-habitat para a fauna, podem variar em função do regime de chuvas na superfície. Três cavidades encontradas na beira do lago Violão (S11D-07, S11D-08 e S11D-09) estavam alagadas na campanha úmida, quando o nível do lago estava mais alto devido às chuvas (Figura 72). Adicionalmente, a cavidade CAV-37, com presença de drenagem, estava alagada na primeira campanha. Alguns organismos inventariados foram coletados nas poças e outros corpos d'água, dentre eles: larvas de díptera, heterópteros Velidae (*Paravelia*, *Rhagovelia*) Oligochaeta, coleópteros Dytiscidae.



Figura 72. Nível alto da lagoa Violão, com água ocupando a cavidade S11D-07.

A ocorrência dos diferentes recursos tróficos em cada cavidade, considerando os sete tipos de substratos orgânicos contemplados na Instrução Normativa (IN) nº 2, de 20/08/09, está indicada na Tabela 4 e sintetizada na Figura 73.

Tabela 4. Recursos tróficos presentes nas cavidades estudadas em S11D (1 = presença; 0 = ausência). 1. Material Vegetal. 2. Detrito. 3. Raízes. 4. Guano 5. Fezes de vertebrados não-voadores. 6. Bolotas de regurgitação 7. Carcaça.

Caverna	1	2	3	4	5	6	7	Total
S11D-01	1	1	1	1	1	0	1	6
S11D-02	1	0	1	0	1	1	0	4
S11D-03	1	0	1	0	0	1	0	3
S11D-05	1	0	1	0	0	0	0	2
S11D-06	1	1	1	1	1	0	0	5
S11D-07	0	0	1	0	0	0	0	1
S11D-08	0	0	1	0	0	0	0	1
S11D-09	0	1	0	0	0	0	0	1
S11D-10	1	1	1	1	1	0	0	5
S11D-11	1	0	1	0	1	0	0	3
S11D-12	1	1	1	1	1	0	0	5
S11D-13	1	0	1	1	1	0	0	4
S11D-14	1	0	1	0	1	0	0	3
S11D-15	1	0	1	0	0	0	0	2
S11D-16	1	0	1	0	0	0	0	2
S11D-17	1	0	1	0	0	0	0	2
S11D-18	1	1	1	0	0	0	0	3
S11D-19	1	0	1	0	0	0	0	2
S11D-20	1	1	1	0	0	0	0	3
S11D-21	1	1	1	0	0	0	0	3
S11D-22	1	1	1	1	1	0	1	6
S11D-23	1	1	1	0	0	0	0	3
S11D-24	1	1	1	1	0	0	0	4
S11D-25	1	0	1	1	0	0	0	3
S11D-26	1	1	1	1	0	0	0	4
S11D-27	1	0	1	1	1	0	0	4
S11D-28	1	1	1	1	0	0	0	4
S11D-29	1	1	1	1	1	0	0	5
S11D-30	1	0	1	0	0	0	0	2
S11D-31	1	0	1	0	0	0	0	2
S11D-32	1	0	1	1	0	0	0	3
S11D-33	1	1	1	1	1	0	1	6
S11D-34	1	1	1	1	1	0	0	5
S11D-35	1	1	1	1	0	0	0	4
S11D-36	1	1	1	0	0	0	0	3
S11D-37	1	1	1	1	0	0	0	4
S11D-38	1	1	1	1	1	0	0	5
S11D-60	1	0	1	1	0	0	0	3
S11D-61	1	1	1	1	1	1	1	7
S11D-62	1	0	1	0	0	0	0	2
S11D-63	1	1	1	1	0	0	0	4
S11D-64	1	1	1	1	1	1	0	6
S11D-65	1	1	1	0	0	0	0	3
S11D-66	1	0	1	1	0	0	0	3
S11D-67	1	1	1	0	0	0	0	3
S11D-68	1	0	1	0	0	0	0	2
S11D-69	0	0	1	1	0	0	0	2
S11D-70	1	0	1	0	0	0	0	2
S11D-71	1	0	1	1	1	0	0	4
S11D-72	1	0	0	0	0	0	0	1
S11D-73	1	1	1	0	0	0	0	3
S11D-74	1	1	1	0	0	0	0	3
S11D-75	1	1	1	0	0	0	0	3
S11D-76	1	1	1	0	0	0	0	3
S11D-77	1	1	1	1	1	0	0	5
S11D-78	1	1	1	1	1	0	0	5
S11D-79	1	1	1	1	1	0	0	5
S11D-80	1	1	1	1	0	0	0	4
S11D-81	1	1	1	1	0	0	0	4
S11D-82	1	0	1	0	0	0	0	2
S11D-83	1	1	1	1	0	1	1	6
S11D-84	1	0	1	0	0	0	0	2
S11D-85	1	0	1	0	0	0	0	2
S11D-86	1	0	1	0	0	0	0	2
S11D-87	1	1	1	0	0	0	0	3
S11D-88	1	0	1	0	1	0	0	3
S11D-89	1	0	1	0	0	0	0	2
S11D-90	1	1	1	0	0	0	0	3
S11D-91	1	1	1	1	0	0	0	4
S11D-92	1	0	1	0	0	0	0	2
S11D-93	1	1	1	1	1	0	0	5
S11D-94	1	1	1	1	0	0	0	4
S11D-95	1	0	1	0	0	0	0	2
S11D-96	1	1	1	1	1	0	0	5
S11-16	1	1	1	1	1	0	0	5
S11-17	1	0	1	0	0	0	0	2
S11-18	1	1	1	0	1	0	0	4
S11-19	1	1	1	0	0	0	0	3
S11-20	1	0	1	0	0	0	0	2
S11-21	1	0	1	1	1	0	0	4
S11-22	1	1	1	1	1	0	0	5
S11-23	1	1	1	1	0	0	0	4
S11-24	1	1	1	0	1	0	0	4
S11-25	1	1	1	0	0	0	0	3
S11-26	0	1	0	0	1	0	1	3
S11-27	1	1	1	1	1	0	0	5
S11-28	0	1	0	0	0	0	1	2
S11-29	1	1	1	1	0	0	0	4
S11-30	1	1	1	0	0	0	0	3
S11-31	1	0	1	1	0	0	0	3
CAV-01	1	1	1	1	1	0	0	5
CAV-02	1	1	1	0	0	0	0	3
CAV-03	1	1	1	1	0	0	0	4
CAV-04	1	0	1	0	0	0	0	2
CAV-05	1	1	1	0	0	0	0	3
CAV-06	1	0	1	0	0	0	0	2
CAV-07	1	0	1	1	0	0	0	3
CAV-08	1	0	1	0	0	0	0	2
CAV-09	1	1	1	1	0	0	0	4
CAV-10	1	1	1	0	0	0	0	3
CAV-11	1	0	1	1	0	0	0	3
CAV-12	1	1	1	0	0	0	0	3
CAV-13	1	0	1	0	0	0	0	2
CAV-14	1	0	1	1	0	0	0	3
CAV-15	1	1	1	0	0	0	0	3
CAV-16	1	1	1	1	0	0	0	4
CAV-17	1	0	1	0	0	0	1	3
CAV-18	1	1	1	1	1	0	0	5
CAV-19	1	0	1	0	0	0	0	2
CAV-20	1	0	1	0	0	0	0	2
CAV-21	1	1	1	0	0	0	0	3

S11D-39	1	0	1	1	1	0	0	4
S11D-40	1	1	1	1	0	0	0	4
S11D-41	1	0	1	0	0	0	0	2
S11D-42	1	1	1	1	0	0	0	4
S11D-43	1	1	1	1	1	0	0	5
S11D-44	1	0	1	0	1	0	0	3
S11D-45	1	1	1	1	1	0	0	5
S11D-46	1	0	1	1	0	0	0	3
S11D-47	1	1	1	1	1	0	1	6
S11D-48	1	0	1	0	0	0	0	2
S11D-49	1	1	1	0	0	0	0	3
S11D-50	1	1	1	0	0	0	0	3
S11D-51	1	0	1	0	1	0	0	3
S11D-52	1	0	1	0	1	0	0	3
S11D-53	1	0	1	1	1	0	0	4
S11D-54	1	1	1	1	0	1	0	5
S11D-55	1	1	1	1	1	0	1	6
S11D-56	0	0	1	0	1	0	0	2
S11D-57	1	1	1	1	1	0	0	5
S11D-58	0	1	1	1	1	0	0	4
S11D-59	1	1	1	1	0	0	0	4
S11D-97	1	0	1	0	0	0	0	2
S11D-98	1	1	1	0	0	0	0	3
S11D-99	1	1	1	1	1	0	0	5
S11D-100	1	0	1	1	1	0	0	4
S11D-101	1	1	1	1	0	0	0	4
S11D-102	1	0	1	0	0	0	0	2
S11-01	1	0	1	0	0	0	0	2
S11-02	1	1	0	0	0	0	0	2
S11-03	1	1	1	0	0	0	0	3
S11-04	1	1	1	1	0	0	0	4
S11-05	1	0	1	0	0	0	0	2
S11-06	1	1	1	1	0	0	0	4
S11-07	1	1	1	1	1	0	1	6
S11-08	1	1	1	1	1	0	0	5
S11-09	1	1	1	0	0	0	0	3
S11-10	1	0	1	0	1	0	0	3
S11-11	0	0	1	1	1	0	0	3
S11-12	1	1	1	1	1	0	0	5
S11-13	1	0	1	1	1	0	0	4
S11-14	1	1	1	1	0	0	0	4
S11-15	1	1	1	1	1	0	0	5
CAV-22	1	1	1	1	1	0	0	5
CAV-23	1	1	1	1	0	0	0	4
CAV-24	1	0	1	1	0	0	0	3
CAV-25	1	1	1	1	0	0	0	4
CAV-26	1	1	1	0	1	0	0	4
CAV-27	0	1	1	0	0	0	0	2
CAV-28	1	0	1	0	0	0	0	2
CAV-29	1	1	1	1	0	0	0	4
CAV-30	0	0	0	1	1	0	0	2
CAV-31	1	1	1	0	0	0	0	3
CAV-32	1	1	1	1	1	0	0	5
CAV-33	1	1	1	0	0	0	0	3
CAV-34	1	1	1	1	1	0	1	6
CAV-35	1	1	1	0	1	0	0	4
CAV-36	1	0	1	1	1	0	0	4
CAV-37	1	0	0	0	0	0	0	1
CAV-38	1	0	1	1	1	0	0	4
CAV-39	1	1	1	0	0	0	0	3
CAV-40	1	1	1	1	0	0	0	4
CAV-41	0	0	1	1	1	0	0	3

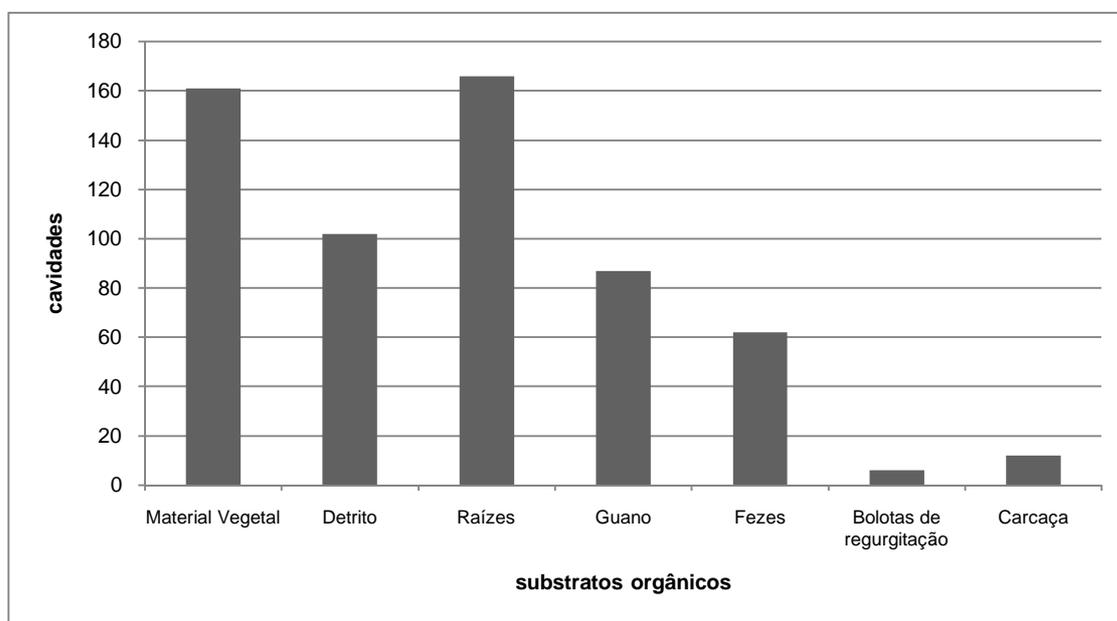


Figura 73. Número de cavidades com presença dos diferentes tipos de substratos orgânicos.

Os substratos orgânicos mais freqüentes, registrados em praticamente todas as cavidades, foram raízes e material vegetal constituído predominantemente de

folhiço, provenientes da vegetação do entorno, que se acumulam na região de entrada próximos à linha d'água. Alguns acúmulos isolados foram detectados em regiões mais profundas de algumas poucas cavidades, como em S11D-12 e S11D-22. Ocasionalmente, foram registradas sementes e frutos deixados por animais troglóxenos, como morcegos (Figura 74, à direita).

Na sua maioria, raízes estão representadas por sistemas sub-superficiais de calibre fino (menor que dois milímetros de diâmetro) que ocupam diferentes extensões das cavidades (Figura 74). Penetram a partir das aberturas horizontais e verticais, muitas vezes permeando canalículos estreitos e atingindo a cavidade verticalmente. Raízes de calibre grosso, quando presentes, foram detectadas geralmente próximas às aberturas horizontais e verticais. Sistemas radiculares superficiais abundantes localizados, incluindo a formação de rizotemas (crescimento de raízes em locais com gotejamento; Figura 74), foram registrados em 29% das cavidades. Geralmente associados às raízes são encontrados opiliões Escadabiidae, ninfas de homópteros Cixiidae, *Symplylla*, moluscos *Happia* sp e colêmbolos diversos.



Figura 74. Micro-raízes no piso da cavidade S11D-33 e rizotemas e sementes germinadas na cavidade S11D-06.

Guano de morcego foi observado em 49% das cavidades estudadas. Foram identificados guano de morcegos com dieta frugívora, insetívora e, mais raramente, hematófaga. No geral, esses depósitos estão representados por pontos esparsos e manchas localizadas. Depósitos maiores, ocupando áreas relativamente grandes, foram observados nas cavidades S11D-01, S11D-12, S11D-33, S11D-39, S11D-40 (Figura 75), S11D-54, S11D-55, S11D-64, S11D-78, S11D-83, S11D-96 e

CAV-14 e CAV-41. Guano de morcegos é um importante recurso trófico disponível para a fauna cavernícola da área. Associados a acúmulos de guano de morcegos, foram encontrados coleópteros Histeridae, Hydrophilidae, Staphilinidae e Ptiliidae, heterópteros Cydnidae, minhocas, micro-lepidópteros Tineidae, dípteros Drosophilidae e Psychodidae, Thysanura, Blattodea, colêmbolos, ácaros e larvas, além de outros organismos atraídos pela presença do recurso trófico. Especificamente para a cavidade S11D-54, uma colônia numerosa de morcegos insetívoros do gênero *Pteronotus* é responsável por grande quantidade de guano acumulado no piso. Nesta cavidade foram registradas populações densas de *Phalangopsis* sp., Tineoidea, Histeridae sp. e aranhas em rocha, como *Alpaida septemmammata* e *Scytodes* sp., além de serem registrados centenas de dípteros *Trichobius* sp., ectoparasitas de morcegos, em parede e teto. Populações elevadas em cavidades com grande quantidade de guano são esperadas (Gnaspini, 2004).

Fezes de vertebrados não voadores foram registradas em diferentes cavidades e setores internos, em pontos esparsos, sem ocorrência de acúmulos ou locais com abundância desse recurso (Figura 75); constituem na sua maioria fezes de vertebrado insetívoro, originadas de anuros que se abrigam na cavidade. Carcaças foram observadas em 12 ocasiões (6,9%), e correspondiam a roedores, morcegos, lagarto e cobra (Figura 76).



Figura 75. Guano de morcego com dieta frugívora recobrando o piso do salão distal da cavidade S11D-40 e fezes de vertebrado insetívoro (S11D-34).



Figura 76. À esquerda, carcaça de lagarto na cavidade CAV-17; à direita, carcaça de morcego na cavidade S11D-83.

Pelotas de regurgitação de coruja foram registradas na região de entrada das cavidades S11D-02, S11D-03, S11D-54, S11D-61 (Figura 77), S11D-64 e S11D-83; corujas suindaras (*Tyto alba*) foram avistadas deixando as cavidades S11D-02 e S11D-61. Outro recurso trófico registrado corresponde à lixeira de formiga (*Acromyrmex* sp.1) registrada no piso de região afótica na cavidade S11-25 (Figura 77).



Figura 77. À esquerda, pelotas de regurgito de coruja no piso da cavidade S11D-61; à direita, lixeira de formiga na cavidade S11-25.

5.3.1.4. Considerações sobre a fauna inventariada

Foram registradas 830 espécies no inventário elaborado. A ocorrência de táxons para cada cavidade está disposta no Anexo V. A fauna inventariada mostrou-se diversificada e compreende organismos pertencentes a distintos

grupos. Grande parte da fauna é composta por organismos que se inserem em grupos esperados em meios subterrâneos, quando considerados grupos taxonômicos mais abrangentes (ordem, família e mesmo gênero). A comunidade cavernícola estudada apresenta peculiaridades regionais, tendo em vista a especificidade de comunidades epígeas da região que fornecem os elementos que colonizam o ambiente subterrâneo. Embora o conhecimento sobre a fauna cavernícola na área de Carajás esteja aumentando, ainda é marcante a carência de especialistas nos diferentes grupos.

Algumas famílias ou gêneros foram pouco freqüentes. Aliado à baixa freqüência, o número reduzido de indivíduos, e o local de coleta, em zona de entrada próximo à boca, indicam tratar-se de organismos epígeos coletados em região de ecótono, sem populações estabelecidas e sem relações ecológicas bem definidas com o meio subterrâneo. O limite entre o meio superficial e subterrâneo não é abrupto: considerando zonas iluminadas e próximas à entrada, existe uma zona de transição entre os ambientes, onde coexistem organismos epígeos (acidentais) e hipógeos; esses últimos seriam representados especialmente por troglófilos e troglógenos, já que é mais provável encontrar troglóbios em regiões mais estáveis devido às especializações adquiridas durante seu isolamento no meio subterrâneo.

Não é possível afirmar que todos os organismos encontrados em regiões afóticas, mais isoladas, especialmente de cavidades em minério de ferro, são cavernícolas, dado a superficialidade dessas cavidades, pela pequena extensão e presença de canalículos, aumentando a probabilidade de ocorrência de organismos acidentais, mesmo em regiões mais afastadas.

Geralmente categorizações ecológico-evolutivas são feitas após estudos populacionais específicos. Entretanto, a partir das observações em campo, pode-se inferir que alguns dos organismos inventariados sejam cavernícolas, pela sua freqüência de ocorrência, distribuição espacial nas cavidades e observações em campo, além do conhecimento prévio sobre o táxon no meio subterrâneo de outras regiões no país, a partir de literatura.

Dentre os macro-invertebrados, os mais comuns foram grilos (onívoros) pertencentes à família Phalangopsidae, da qual duas espécies foram comuns e

registradas na maioria das cavidades estudadas: *Phalangopsis* sp., cujos indivíduos eram encontrados em regiões mais distantes da abertura das cavidades, incluindo zona afótica, e *Paraclodes* sp., mais comuns em região de entrada (Figura 78).



Figura 78. À esquerda, grilo fêmea *Phalangopsis* sp. na cavidade S11D-39; à direita, macho *Paraclodes* sp. na cavidade S11D-99.

Considerando os macro-invertebrados predadores, amblipígio *Heterophrynus* sp. foram registrados com frequência, ocupando diferentes profundidades das cavidades; durante o estudo foram observadas fêmeas ovadas de *Heterophrynus* sp. (Figura 79), com maior frequência no período seco (duas fêmeas no período úmido e 14 no seco). Ainda dentro dos amblipígio, foram registrados exemplares de *Charinus* sp., com populações maiores e estabelecidas em cavidades extensas (S11D-39, S11D-64 e S11D-78).



Figura 79. Fêmea de *Heterophrynus* sp. *ovada* na cavidade S11D-10.

Considerando Acari, os mais frequentes foram Trombidiformes sp.2, sp.6 e sp.7, Mesostigmata sp.1, Oribatida sp. 3 e carrapatos *Ornithodoros* sp, ectoparasitas de morcegos e outros mamíferos não voadores, encontrados em 24% das cavidades estudadas.

Dentre as aranhas, pode-se citar a ocorrência das famílias Theridiosomatidae (representada pela espécie *Plato* sp.1 registrada em 53% das cavidades estudadas), Araneidae (*Alpaida septemmammata*, em 25% das cavidades, Figura 80), Ochyroceratidae (*Ochyrocera* sp.1, 40%; *Speocera* sp.1, 35%), Pholcidae (*Mesabolivar* sp.1, 31% - Figura 81; Ninetinae, 35%; *Leptopholcus* sp.1, 21%), Scytodidae (*Scytodes eleonora*, 42%; *Scytodes globula*, 21% - Figura 82) e Tetrablemmidae (*Matta* sp.1, 22%) Pode-se destacar o registro e também a população estabelecida de *Nesticus* sp.1 apenas na cavidade S11-07.



Figura 80. *Alpaida septemmammata* com ootecas na cavidade S11D-54, onde ocorre população elevada devido ao depósito denso de guano de morcego.



Figura 81. *Mesabolivar* sp.1 na cavidade S11D-76.



Figura 82. *Scytodes globula* com ooteca na cavidade S11D-34.

Dentre os opiliões, distribuídos em cerca de 15% das cavidades, estão *Sclerossomatidae* sp.1, *Roquettea singularis*, *Escadabiidae* sp.1 e *Canga renatae*. Esta última espécie foi descrita cientificamente a partir de exemplares coletados na cavidade S11D-40 (DaSilva, 2010), onde apresenta população com densidade elevada junto ao depósito de guano de morcegos frugívoros. Opiliões Stygnidae sp.1 (Figura 83) apresentaram distribuição mais ampla, com ocorrência em 64% das cavidades estudadas.



Figura 83. Opilião Stygnidae sp.1 na cavidade S11D-28.

Considerando pseudo-escorpiões, pode-se destacar os táxons *Spelaeochnes* sp.1 e *Pseudochthonius* sp.1, com registro em mais da metade das cavidades estudadas. Já Bochicidae sp.1 e Oрпиidae sp.1 ocorreram em 23% das cavidades estudadas. Os dois primeiros gêneros possuem representantes cavernícolas comuns em diferentes regiões do país (Mahnert, 2001).

Ainda considerando os aracnídeos, exemplares adultos e jovens de Ricinulei (*Cryptocellus* sp., Figura 84) e Schizomida (*Rowlandius* sp.) foram registrados respectivamente em 16% e 25% das cavidades, ocupando também regiões afóticas.



Figura 84. Exemplar de Ricinulei na cavidade CAV-35.

Quilópodos Psellioididae foram inventariados, na sua maioria a partir de jovens, em 26% das cavidades; os adultos correspondentes (*Sphendononema guildingii*), freqüentes em cavidades da Serra dos Carajás, foram amostrados em nove cavidades. O segundo quilópodo inventariado com maior freqüência foi *Cryptops* sp.1, registrado em 11% das cavidades. Dentre os diplópodos, foram freqüentes Pyrgodesmidae sp.2 (Figura 85) e Hypogexenidae sp.1 (cerca de 25% das cavidades), seguidos de Chelodesmidae sp.4 e *Pseudonannolene* sp.1 (14%).



Figura 85. Diplopoda Pyrgodesmidae sp.2 na cavidade S11D-39.

Considerando os insetos, colêmbolos foram comuns, sendo os mais freqüentes *Cyphoderidae* sp.1 (encontrados em 19% das cavidades estudadas), *Isotomidae* sp.1 (26%), *Paronellidae* sp.1 (61%) e *Paronellidae* sp. 4 (29%). *Dipluros* *Campodeidae* sp.1 e *Thysanura* *Nicoletiidae* sp.1 foram comuns (55% e 24% das cavidades), assim como baratas, registradas principalmente a partir de ninfas.

Coleoptera foi um grupo diversificado no inventário, podendo-se destacar a família *Staphylinidae*, com cerca de 65 espécies identificadas, 14 delas na subfamília *Pselaphinae*; pouco freqüentes, besouros correspondem, em sua maioria, a epígeos encontrados ocasionalmente nas cavidades. Merece atenção a população estabelecida de *Scydmaenidae* sp.1 apenas nas cavidades S11D-01 e S11D-10.

Ainda considerando os besouros, cabe destaque a ocorrência de larvas bioluminescentes do besouro *Elateridae* (tribo *Pyrophorini*; Figura 86) em diferentes condutos da cavidade S11-07, em zonas de penumbra e afótica. Situam-se em fendas no substrato argiloso, ocorrendo em piso e paredes. Emitem luz esverdeada (Figura 86), responsável pela atração de diferentes presas, sendo observadas a predação de formigas, especialmente *Solenopsis* sp.3 e opiliões *Escadabiidae* durante os estudos de campo; a ocorrência de restos de

exoesqueletos de presas na superfície lateralmente à fenda é comum. Adultos não foram registrados, indicando a possibilidade de uso da cavidade em apenas uma fase do ciclo de vida (trogloxenos). O registro de sua ocorrência nos dois períodos de campo e anteriormente, durante topografia, em 2008, indica o estabelecimento e uso da cavidade de forma prolongada. O registro é único para cavidades do país.

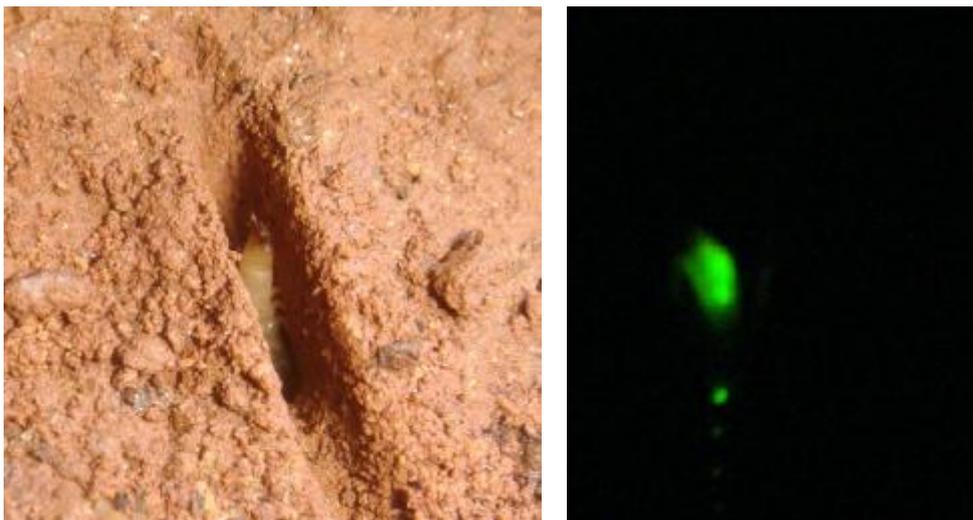


Figura 86. Larva de besouro Pyrophorini em fenda no substrato argiloso na cavidade S11-07; à direita, luz esverdeada emitida.

Comuns em cavidades de todas as áreas (75%) e presentes também em zonas afólicas estão os dípteros pertencentes à subfamília Phlebotominea (mosquitos-palha). A espécie mais freqüente corresponde a *Sciopemyia sordellii*, encontrada em 66% das cavidades, que geralmente se alimentam de animais de sangue frio, como sapos e lagartos (Figura 87). Exemplos da espécie do gênero *Lutzomyia* geralmente são antropofílicas e podem transmitir patógenos ao homem, possivelmente também se alimentam de morcegos e aves. Pertence a este grupo a principal vetora (*Lutzomyia longipapis*) da *Leishmania infantum chagasi*, agente da leishmaniose visceral; no presente inventário exemplares foram registrados nas cavidades S11D-64, S11D-83, S11D-93 e S11D-95.



Figura 87. Dípteros flebotomíneos com sangue no abdômen, parasitando lagarto Gekkonidae na cavidade S11-22.

Adultos de *Drosophila* cf. *eleonora* foram freqüentes e registrados em 16% das cavidades, especialmente em grutas com guano recente de morcego. Essa espécie é comum em cavidades de várias regiões do país.

Dentre os hemípteros destacam-se Dipsocoroidea (14%), Reduviidae (representado na sua maioria por jovens em região de entrada, em 43% das cavidades) e Cixiidae (ninfas em 65% das cavidades, com adultos Cixiidae sp.1, sp.3 e sp.4 mais frequentes).

Formicidae foi um grupo diversificado, com 42 espécies registradas, sendo comuns as espécies *Wasmania auropunctata*, *Camponotus atriceps* (Figura 88) e *Solenopsis* sp.2 (registradas em cerca de 30% das cavidades) e *Camponotus* sp.1 (40%). A superficialidade apresentada pelas cavidades, bem como sua pequena extensão favorecem a ocupação por formigas, que a utilizam para forrageio ou mesmo nidificação; Gnaspini & Trajano (1994) citam que formigas podem apresentar diversidade alta em cavidades superficiais, dentre elas formigas dos gêneros *Solenopsis*, *Paratrechina*, *Labidus*, *Pachycondyla* e *Hypopponera*. Cupins do gênero *Nasutitermes* sp. (Figura 89), comuns em cavidades de regiões tropicais, foram freqüentes e inventariados em 61% das cavidades.



Figura 88. Formigas *Camponotus atriceps* na cavidade S11D-77.



Figura 89. Cupins *Nasutitermes* sp. na cavidade S11-04

Mariposas Noctuidae e micro-lepidópteros Tineoidae foram comuns nas cavidades, sendo freqüentes mariposas Noctuidae sp.1, encontradas em região de entrada (Figura 90). Psocópteros, registrados na sua maioria em regiões iluminadas, foram diversificados, mas pouco comuns (a espécie mais freqüente, *Psyllipsocus* sp.1 ocorreu em 13% das cavidades).



Figura 90. Mariposa Noctuidae sp.1 em parede na cavidade S11D-58.

Entre os crustáceos, foram freqüentes isópodos Dubioniscidae sp.1 (24% das cavidades) e Philosciidae sp.1 (40%). Moluscos Gastropoda Subulinidae (Figura 91; *Lamelaxis* sp. 16% das cavidades) e Systrophiidae (*Happia* sp. em 34% das cavidades) foram os mais freqüentes e encontrados em locais de maior umidade.



Figura 91. Gastropoda Subulinidae em detrito na cavidade S11-27.

Considerando os vertebrados, foram comuns anfíbios *Pristimantis fenestratus* (Figura 92), registrados no interior de 58% das cavidades estudadas, com maior freqüência e abundância no período seco (81 cavidades e 360 indivíduos no

período seco *versus* 59 cavidades e 116 indivíduos no período úmido). Embora em menor frequência, pode-se citar ainda anfíbios *Leptodactylus* sp., geralmente encontrados em cavidades úmidas e com guano e *Rhinella* cf. *marina*. Destaque pode ser dado para a população de pipas (*Pipa arrabali*; Figura 93) nas cavidades S11D-33 e 96, observadas em densidade elevada e em ambas as campanhas.



Figura 92. Anuro *Pristimantis fenestratus* sendo parasitado por flebotomíneo na cavidade S11D-27.



Figura 93. *Pipa arrabali* em lago na cavidade S11D-33.

Lagartos *Thecadactylus rapicauda* foram registrados em 14% das cavidades (Figura 94) e *Neusticurus* sp., embora pouco comuns, ocorreram em cavidades com presença de água. Cobras foram ocasionais e registradas em cinco cavidades. Aves foram pouco frequentes, e avistadas em quatro ocasiões: duas corujas *Tyto*

alba nas cavidades S11D-02 e S11D-61, primeira campanha, e filhotes de urubus nas cavidades S11-10 e S11D-23, segunda campanha; vestígios de ninhos de aves foram raros e registrados em região de abertura de sete cavidades (S11D-02, S11D-76, S11D-83, S11D-91, S11D-96, S11-21, CAV-03 e CAV-34).



Figura 94. Lagarto *Thecadactylus rapicauda* (Gekkonidae) na cavidade S11D-43.

Roedores (Figura 95) foram registrados em 7,5% das cavidades, embora vestígios de ninhos apresentem maior frequência de ocorrência (29% das cavidades). Usam a cavidade para abrigo e reprodução. Ainda considerando mamíferos não-voadores, isoladamente foi encontrado um tamanduá-mirim em região afótica na cavidade S11D-43.



Figura 95. Roedor registrado em reentrância na parede de S11D-100.

Morcegos, que utilizam as cavidades como abrigo, foram observados na maioria das cavidades estudadas (Anexo VI). Foram identificadas ao menos 20 espécies. São frequentes exemplares do gênero *Peropteryx* sp. (Figura 96), de dieta insetívora, observados ao menos em uma campanha de campo em 50% das cavidades; não formam grandes colônias e são geralmente encontrados próximos as aberturas.



Figura 96. Exemplar de *Peropteryx* sp. registrado na cavidade S11D-45.

Colônias numerosas, com centenas de indivíduos, foram detectadas nas cavidades S11D-01, S11D-40, S11D-54, S11D-83, S11-16 e CAV-41. Merece destaque a cavidade S11D-54, onde foi detectada a colônia mais numerosa e onde foram identificados morcegos insetívoros do gênero *Pteronotus*, com predominância de *P. parnellii*. Esta espécie também foi registrada na cavidade S11D-01, com populações de centenas de indivíduos. Destaque também para a cavidade S11D-83, onde foram registrados em densidade elevada morcegos *Natalus stramineus*, insetívoro com afinidade por cavernas (Reis, 2007), ocorrência rara na região (Figura 97). Dentre os frugívoros, *Carollia perspicillata* foi registrada com centenas de indivíduos na cavidade S11D-40. Além de contribuírem com o aporte de recurso trófico abundante (guano) que sustentam populações densas, colônias numerosas também conferem às cavidades temperaturas e umidades mais elevadas ao local onde se abrigam.



Figura 97. Foto da colônia de *Natalus stramineus* encontrada na caverna S11D-83.

Muitos dos táxons citados de invertebrados e vertebrados pertencem a grupos taxonômicos (família, gênero) com registro anterior em grutas de diversas regiões do país (Pinto-da-Rocha, 1995), incluindo a Serra dos Carajás (Andrade, 2007; GOLDER ASSOCIATES, 2009). Sua frequência de ocorrência nas cavidades indica a classificação como cavernícolas. Sua condição ecológica, se troglóxico ou troglófilo (principalmente considerando macro-invertebrados com maior mobilidade, como os grilos e ambliópigos), pode variar de acordo com a disponibilidade de alimento no interior das cavidades, lembrando que essa disponibilidade pode ser ocasional, ou mesmo imprevisível, como a deposição de fezes de morcegos e outros mamíferos.

Alguns exemplares coletados apresentam troglomorfismos, tais como redução de olhos e pigmento. Para relacionar reduções morfológicas a especializações subterrâneas é necessário conhecer a posição taxonômica das espécies cavernícolas, que não é disponível em muitos casos (Gnaspini & Trajano, 1994). Alguns organismos possuem reduções morfológicas comuns ou mesmo inerentes ao grupo taxonômico que os inclui, ocorrendo em parentes filogenéticos epígeos que geralmente ocupam locais com características similares no meio superficial, muito deles edafobiontes. Ou seja, nesse caso, olhos e pigmentação reduzidos não são características adquiridas após isolamento no meio hipógeo, e não foram detectadas outras características morfológicas que indiquem restrição ao meio endêmico (como alongamento relativo de apêndices ou estruturas sensoriais). Dentre esses podem ser mencionados: Palpigradi e Symphyla. Muitos desses organismos foram encontrados também em zona de entrada, onde as variações climáticas são mais acentuadas.

As morfoespécies com morfologia indicativa de restrição ao meio subterrâneo (potenciais troglóbios) estão listadas na Tabela 5.

Tabela 5. Táxons troglomórficos em S11D, respectivas cavidades de registro e áreas de ocorrência na Serra dos Carajás.

Táxon		Cavidades	Ocorrência
Amblypygi	<i>Charinus</i> sp.2	CAV-01	S11A, S11B, S11C
		S11D-13, 22, 31, 37, 39, 64, 78, 80	
Araneae	<i>Matta</i> sp.1	CAV-01, 12, 34	S11A
		S11D-02, 03, 06, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 22, 32, 33, 35, 36, 38, 39, 42, 43, 53, 55, 57, 60, 64, 65, 69, 71, 74, 76, 78, 79, 80, 81, 88, 89, 93	
	gr. <i>Xycarphius</i> sp.5	CAV-07, 36, 38	S11A, S11B
		S11D-01, 17, 38, 39, 74, 77, 79, 80, 81, 89	
	Ochyroceratidae sp.1	S11D-64, 81, 96	-
<i>Lygromma</i> sp.2	CAV-38	S11A	
	S11D-17		
Opiliones	Escadabiidae sp.7	S11D-80	-
Pseudoscorpiones	Olpidae sp.2	CAV-34	-
	Chthoniidae sp.1	S11D-39, 64	-
	<i>Pseudochthonius</i> sp.4	CAV-21, 38	S11A
		S11-07, 25	
		S11D-01, 10, 12, 13, 14, 17, 39, 40, 43, 57, 78	

Collembola	Cyphoderidae sp.2	CAV-41	Serra Norte
		S11-07, 13, 21, 27	
		S11D-01, 40, 55, 96	
	Cyphoderidae sp.3	S11D-40	-
	Entomobryidae sp.4	CAV-13, 19, 34	Serra Norte
		S11-12, 29	
		S11D-10, 26, 72, 78, 79, 80, 87	
	Paronellidae sp.4	CAV-01, 03, 10, 12, 15, 18, 19, 21, 27, 34, 38, 41	Serra Norte
		S11-07, 11, 14, 20, 25, 27	
		S11D-01, 10, 12, 13, 14, 15, 17, 22, 27, 31, 33, 35, 37, 39, 40, 41, 43, 53, 57, 60, 64, 71, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 88, 92, 93, 94, 96	
Sminthuroidea sp.1	CAV-34	Serra Norte	
	S11-07		
	S11D-01, 12, 13, 39, 43, 59, 64, 78, 79, 81		
Coleoptera	Carabidae sp.2	S11D-01, 17, 39, 60	Serra Norte
	Carabidae sp.10	S11D-79, 80	-
	Coarazuphium sp.1	S11-27	Serra Norte
		S11D-43	

	Dytiscidae sp.4	S11-20	Serra Norte
	Dytiscidae sp.5	S11D-53	Serra Norte
	Dytiscidae sp.6	S11D-78	Serra Norte
	Dytiscidae sp.7	S11D-102	Serra Norte
	Staphylinidae sp.4	S11D-13, 36	Serra Norte
	Staphylinidae sp.17	S11D-78	-
	Staphylinidae sp.51	S11D-35, 39	-
	Pselaphinae sp.6	CAV-19	Serra Norte
		S11D-37, 39	
	Pselaphinae sp.8	S11D-96	Serra Norte
Isopoda	<i>Circoniscus</i> sp.1	S11-07	-
Turbellaria	Tricladida sp.1	S11-07	-

Considerando os aracnídeos, amblipígios do gênero *Charinus* sp.2 (Figura 98), com pigmentação e olhos reduzidos, até o momento são conhecidos apenas para cavidades da região de S11. Aranhas troglomórficas com possibilidades de endemismo compreendem: *Matta* sp.1 e gr. *Xycarphius* sp.5, *Lygromma* sp.2, com exemplares registrados em outras cavidades do corpo S11, e Ochyroceratidae, atualmente registrada apenas em cavidades de S11D. Pseudo-escorpiões com troglomorfismos foram registrados na família Chthoniidae (gênero indet. sp.1 – Figura 99 - e *Pseudochthonius* sp.4) e Olpiidae (sp.2). Destes, até o momento, apenas *Pseudochthonius* sp.4 foi registrado em outras regiões fora de S11D.

Dentre os Opiliones, ocorreu o primeiro registro de espécie com troglomorfo para a Serra dos Carajás (Escadabiidae sp.7).



Figura 98. Amblipígio *Charinus* sp.2 no piso da cavidade S11D-31.



Figura 99. Pseudo-escorpião Chthoniidae sp.5 em estereomicroscópio.

Considerando os insetos foram registrados organismos troglomórficos entre os colêmbolos e besouros. Em estudo de similaridade (GOLDER ASSOCIATES, 2009), com resultados taxonômicos mais refinados para Collembola, todas as espécies de colêmbolos registrados em S11D foram encontradas também em outras regiões que não esta área. Fazendo a correspondência com os colêmbolos coletados recentemente em Serra Norte, apenas Cyphoderidae sp.3 foi registrado

unicamente em S11D. Paronellidae sp.4, com distribuição ampla nas cavidades, pode ser visualizado na Figura 100.



Figura 100. Collembola Paronellidae sp.4 em estereomicroscópio.

Já para os coleópteros, besouros da família Dytiscidae registrados em locais úmidos incluindo corpos d'água, também foram encontrados em outras áreas fora de S11D. Dentro da família Carabidae, foram registradas duas morfo-espécies, uma delas pertencente ao gênero *Coarazuphium* (Figura 101), também registrada na cavidade S11D-64 em estudo anterior. Ainda considerando os besouros, podem ser citadas cinco morfo-espécies de Staphyllinidae, sendo duas representantes da subfamília Pselaphinae, ambas com espécimes também registrados em cavidades de Serra Norte.



Figura 101. Besouro *Coarazuphium* sp.1 em estereomicroscópio.

Foram considerados troglomórficos os isópodos *Circoniscus* sp.1 (Figura 102), com exemplares registrados e população estabelecida apenas na cavidade S11-07. Adicionalmente, Tricladida aquática com pigmentação reduzida foi registrada na cavidade S11-07.



Figura 102. Isópodo *Circoniscus* sp. registrado na cavidade S11-07.

Pode-se destacar as cavidades S11D-39, com registro de nove espécies troglomórficas, S11-64 e S11D-78, com oito, S11D-64 e S11D-80, com seis e S11-07 e S11D-96, com quatro.

Muitos dos táxons relacionados apresentam parentes filogenéticos registrados para o meio subterrâneo de outras regiões do país, como é o caso de *Coarazuphium* (e.g. Alvares & Ferreira, 2002). Futuras revisões por especialistas e ampliação do conhecimento sobre sua distribuição geográfica podem elucidar algumas questões sobre seu endemismo ao meio subterrâneo.

5.3.2. Análises

5.3.2.1. Riqueza

Foram inventariadas 830 espécies no presente estudo. A riqueza total obtida para cada cavidade, bem como a quantidade de organismos amostrados em ambas as campanhas considerando cada cavidade, pode ser observada no Anexo VII e visualizada na Figura 103, que exhibe o número total de táxons coletados para cada cavidade e a quantidade de táxons comuns às duas campanhas de coleta.

A riqueza média encontrada considerando ambas as campanhas foi de 50 ± 26 espécies. A média para a campanha seca foi de 26 ± 17 espécies e para a campanha úmida de 39 ± 23 espécies. Há uma tendência a uma maior diversidade na época úmida, relacionado ao micro-habitat úmido mais propício ao estabelecimento de fauna. Já a proporção de táxons recorrentes (coletados em ambas as campanhas de campo em uma mesma cavidade) foi baixa (média de 21%). Tal resultado indica uma variação na composição faunística de cada cavidade, que pode estar relacionada com a ocorrência de organismos epígeos em regiões de ecótono, além de possível variação sazonal.

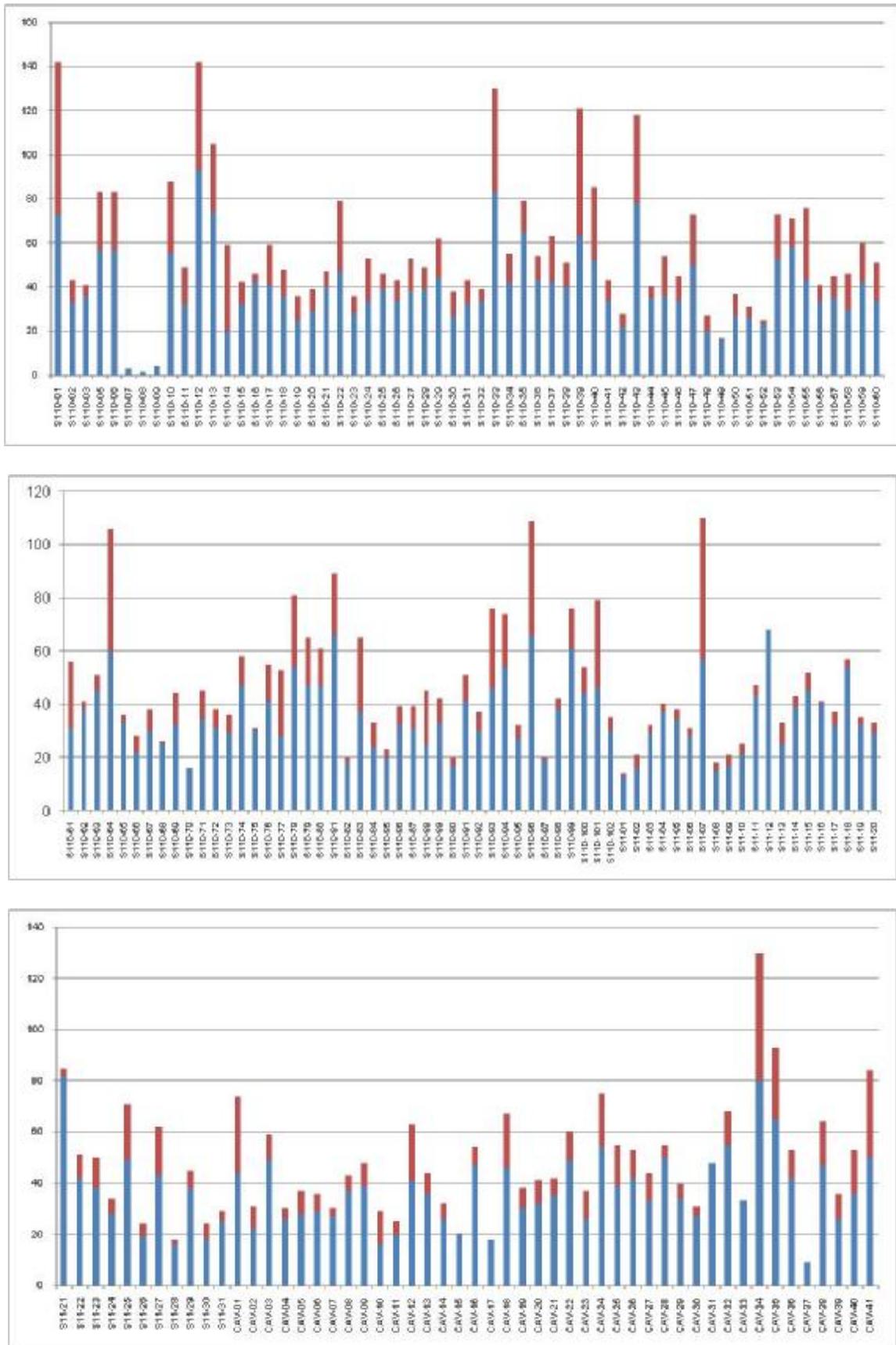


Figura 103. Número de morfoespécies registrado para cavidade (total da barra) com a quantidade de táxons recorrentes em ambos os inventários (vermelho).

As cavidades com maiores riquezas foram S11D-01 e 12, ambas com 142 morfoespécies registradas. As duas cavidades apresentam grande extensão, sendo encontrada uma gradação de diferentes intensidades luminosas e ausência de luz, e também grande variedade de microhabitats no seu interior, com diferentes tipos de recursos tróficos, incluindo guano de morcego, raízes e detrito no seu interior, além de poças, habitat adicional para a fauna. Quanto à riqueza, destacam-se também as cavidades S11D-13, S11D-33, S11D-39, S11D-43, S11D-64, S11D-96 e CAV-34, com mais de 100 espécies inventariadas. A maioria dessas cavidades também apresenta uma proporção maior que a média, de táxons recorrentes em ambas as campanhas de campo.

5.3.2.2. Curva de acumulação de espécies coletadas

A curva de acumulação de espécies coletadas considerando a totalidade de amostras (cavidades) pode ser observada na Figura 104. Não foi observada uma tendência à estabilização da curva gerada. A curva indica que cada cavidade contribui com uma composição de espécies pouco semelhante fazendo com que a curva seja ascendente, sem estabilização no final de 173 amostras.

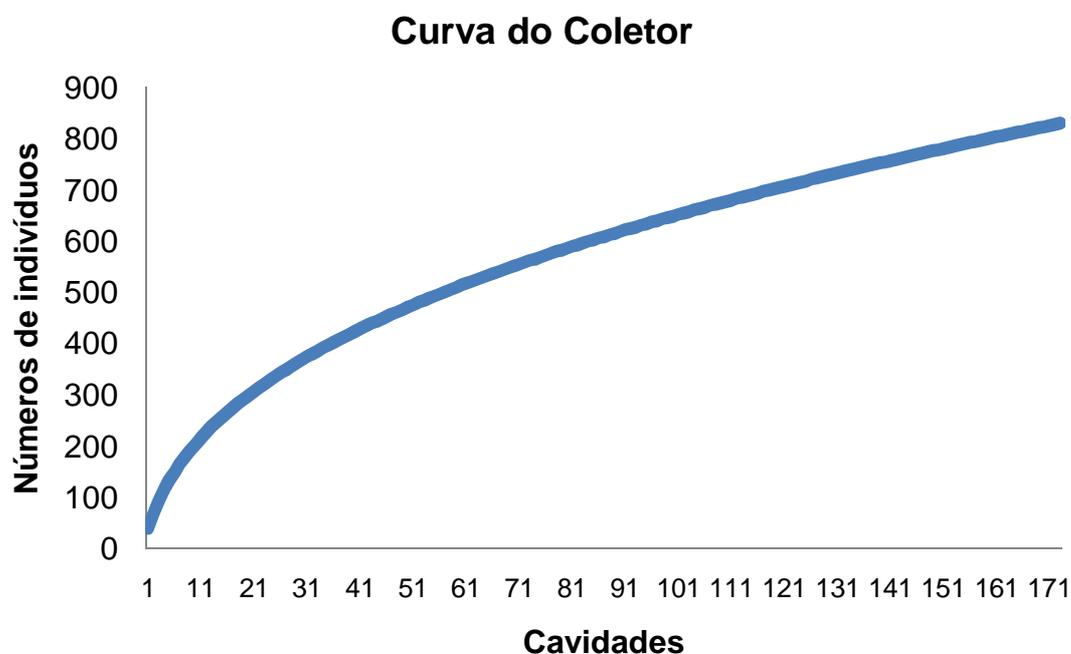


Figura 104. Curva de acumulação de espécies considerando a totalidade das cavidades estudadas em S11D (n=173).

Um dos principais fatores a serem levados em consideração para a não estabilização da curva é a ocorrência de uma grande variação na composição faunística de cada cavidade, que inclui também organismos acidentais encontrados principalmente em regiões próximas às aberturas maiores e organismos subterrâneos encontrados principalmente nas micro e meso cavidades, que ocasionalmente são encontrados nas macro-cavidades. A diversidade de acidentais potenciais é igual à diversidade total de organismos epígeos da região (Trajano & Bichuette, 2006), e isso deve ser levado em conta, especialmente nas cavidades estudadas. Dessa forma, é provável que mesmo metodologias distintas e coletas mais intensivas (inviáveis em meios hipógeos devido à peculiaridade desse tipo de ambiente, muitas vezes com populações endêmicas e suscetíveis) não levem à estabilização da curva de espécies registradas na área.

Contribuindo ainda para a variabilidade na composição faunística está o fato de que cada cavidade possui características que podem variar sazonalmente ou não, como umidade e recursos tróficos. Por exemplo, o aporte de determinado recurso trófico, como guano, muitas vezes é imprevisível, e após sua deposição também ocorre uma variação temporal relacionada com sua exaustão, que pode acarretar colonização por diferentes organismos com o passar do tempo.

5.3.2.3. Abundância

A abundância relativa para organismos maiores de 1 cm e de identificação mais precisa em campo estão indicados nas tabelas de táxons para cada cavidade (Anexo V). Os resultados (Anexo VII) indicaram as seguintes cavidades com mais de 30% de espécies com abundância relativa alta: S11D-09, S11D-15, S11D-21, S11D-25 S11D-26, S11D-27, S11D-31, S11D-32, S11D-41, S11D-44, S11D-48, S11D-49, S11D-51, S11D-52, S11D-62, S11D-65, S11D-66, S11D-68, S11D-70, S11D-71, S11D-82, S11D-85, S11D-86, S11D-87, S11D-89, S11D-90, S11D-92, S11D-95, S11D-97, S11D-98, S11D-102, S11-01, S11-04 S11-05, S11-08, S11-09, S11-10, S11-11, S11-13, S11-14, S11-17, S11-19, S11-20, S11-22, S11-24, S11-26, S11-28, S11-29, S11-30, S11-31 ,CAV-02, CAV-03, CAV-07, CAV-08, CAV-11, CAV-15, CAV-16, CAV-17, CAV-19, CAV-23, CAV-29, CAV-30 e CAV-37. Entretanto

deve ser levado em conta problemas intrínsecos ao método, quando poucos indivíduos de poucas morfoespécies são amostrados; em muitos casos a abundância relativa torna-se alta quando, por exemplo, são inventariados quatro exemplares, cada um pertencente a uma espécie distinta (100% de espécies com abundância relativa maior que 0,20). Dessa forma, com quantidades pequenas são gerados resultados sem significado biológico.

Tendo em vista que as cavidades inventariadas apresentam pequeno número de espécies com tamanho corporal maior ou igual a 1 cm, torna-se impreciso o método para indicar cavidades com populações abundantes. Pode ser observado que cavidades com maior número de espécies apresentam proporções melhor distribuídas de abundância relativa. Considerando que o número de espécies é pequeno, a diminuição do valor de corte abaixo do valor adotado (20%) aumenta o intervalo de valores afetados pelo artefato do cálculo. Por outro lado, se a nota de corte for alta, as cavidades com maior diversidade não terão a relevância reconhecida.

6. ANÁLISE DE RELEVÂNCIA DAS CAVERNAS DE S11D

6.1. Introdução

A análise de relevância foi efetuada através dos procedimentos definidos no Decreto N. 6.640 de 07 de novembro de 2008. Este decreto alterou significativamente o status jurídico referente à proteção das cavernas brasileiras e prevê a classificação das cavernas segundo quatro graus de relevância: máximo, alto, médio e baixo. A determinação das cavernas de relevância máxima é realizada através de parâmetros definidos pelo próprio decreto. Os parâmetros dos demais graus de relevância foram apenas esboçados, estando remetidos à Instrução Normativa N. 2 – IN 2, publicada no dia 20 de agosto de 2009 pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA.

A análise de relevância foi realizada em 173 cavidades. A grande concentração de gases resultantes da decomposição de guano impediu o mapeamento, pelo GEM, de uma das cavernas (S11D-54). Diante disso, não foi possível obter valores espeleométricos para essa cavidade, tendo sido a mesma excluída da análise da

relevância dos parâmetros físicos, que considerou uma amostra com 172 cavernas.

6.2. Metodologia

Com base no Decreto Federal N. 6.640, as cavidades naturais subterrâneas deverão ser classificadas segundo quatro graus de relevância: máximo, alto, médio e baixo, determinados pela análise de atributos geológicos, hidrológicos, ecológicos, biológicos, paleontológicos, cênicos, histórico-culturais e socioeconômicos. Os parâmetros que definem o grau máximo de relevância encontram-se esboçado no referido decreto, que prevê conservação integral da cavidade inserida neste contexto. Os critérios para definição dos graus de relevância alto, médio e baixo, por sua vez, estão definidos na Instrução Normativa N. 2. As cavidades classificadas como de relevância média e alta poderão ser impactadas parcial ou integralmente mediante compensação ambiental a ser definida pelo órgão ambiental. Cavidades de baixa relevância poderão ser impactadas sem compensação. Qualquer impacto em cavernas somente poderá ocorrer mediante o processo de licenciamento ambiental (Art. 4 do Decreto 6.640).

6.2.1. Discriminação litológica

Após os estudos de campo, as cavidades foram agrupadas segundo seu litotipo, em concordância com o disposto pelo Artigo 1o, §o, "*A análise dos atributos geológicos, para a determinação do grau de relevância, deverá ser realizada comparando cavernas da mesma litologia*".

6.2.2. Escala de análise

A determinação da escala de análise foi feita com base a IN. 2, que define que os atributos deverão ser avaliados sob o enfoque **regional** e **local**. O enfoque local, segundo a instrução normativa, será limitado à unidade geomorfológica que

apresenta continuidade espacial, podendo abranger feições como serras, morrotes ou sistema cárstico, o que for mais restritivo em termos de área, desde que contemplada a área de influência da cavidade.

O enfoque regional deverá compreender uma unidade espeleológica, definida por uma área que apresente homogeneidade fisiográfica. Tal homogeneidade está comumente associada à ocorrência de rochas carbonáticas e suas formas de relevo tipicamente cárstico e pseudocárstico como dolinas, sumidouros, ressurgências, vales cegos, lapiás e cavernas, delimitada por um conjunto de fatores ambientais específicos para sua formação.

6.2.3. Grau de Relevância

O grau de **relevância máximo** é aplicado às cavidades que apresentem ao menos um dos seguintes atributos: gênese única ou rara; morfologia rara; dimensões notáveis em extensão, área ou volume; espeleotemas únicos; isolamento geográfico; cavidade testemunho; ou destacada relevância histórico-cultural ou religiosa. Tais cavidades deverão ser conservadas integralmente, não podendo ser objeto de impactos adversos. A utilização dessas cavidades somente poderá ocorrer de modo que fique assegurada a manutenção de seu equilíbrio físico e biológico.

As cavidades com grau de **relevância alto** deverão apresentar atributos de importância acentuada sob enfoque local e regional; ou acentuada sob enfoque local e significativa sob enfoque regional. Essas cavidades poderão ter impactos irreversíveis, desde que compensados através da preservação de duas outras cavidades na mesma litologia, com atributos similares e com mesmo grau de relevância da caverna a ser impactada.

As cavidades com grau de **relevância médio** deverão englobar atributos de importância acentuada sob enfoque local e baixa sob enfoque regional, ou significativa sob enfoque local e regional. Impactos irreversíveis nessas cavidades deverão ser compensados com ações que contribuam para a conservação e uso

adequado do patrimônio espeleológico nacional, a serem definidas pelo órgão ambiental competente.

As cavernas classificadas com grau de **relevância baixo** deverão conter atributos considerados de importância significativa sob enfoque local e baixa sob enfoque regional, ou baixa sob enfoque local e regional. Tais cavidades poderão sofrer impactos irreversíveis não sendo necessária a compensação ambiental.

O fluxograma para a classificação do grau de relevância das cavidades é apresentado na Figura 105.

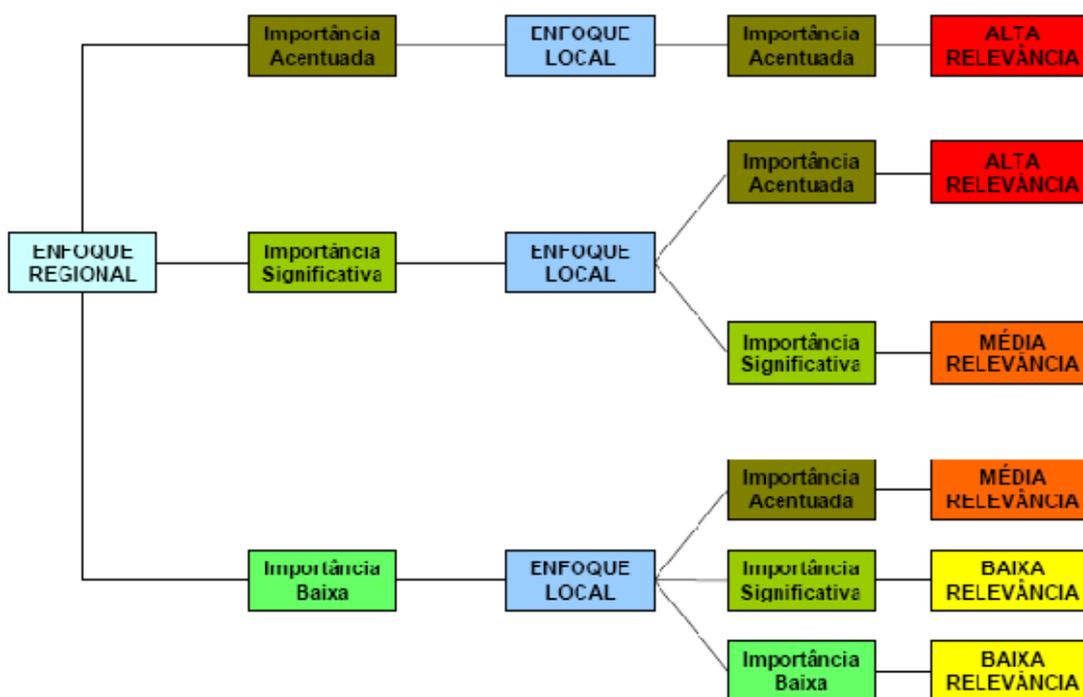


Figura 105. Fluxograma de classificação do grau de relevância de cavidades naturais subterrâneas, segundo a Instrução Normativa N. 2, do MMA.

6.3. Resultados da análise de relevância das cavernas do Projeto S11D

6.3.1. Discriminação litológica

As cavidades do Projeto S11D foram agrupadas segundo quatro grupos litológicos distintos, apresentados aqui em ordem de maior ocorrência.

- Ø Formação ferrífera – grupo composto por 148 cavernas inseridas em minério de ferro, canga e jaspilito, incluindo as possíveis variações oriundas do grau de alteração desses litotipos. Cavernas inseridas no contato entre a

formação ferrífera e metabasaltos foram incluídas neste grupo.

- Ø Máficas – quatro cavernas em rochas máficas (metabasaltos) com diferentes graus de alteração intempérica.
- Ø Ferricretes – grupo composto por 20 cavidades inseridas em depósitos coluvionares com variado grau de ferruginização.

6.3.2. Definição das escalas local e regional

A escala regional para a formação ferrífera e metabasaltos abrange toda a Região de Carajás, PA. Esta unidade espeleológica inclui 451 cavernas na formação ferrífera e 13 em metabasaltos distribuídas em quatro unidades geomorfológicas (U.G.): U. G. Serra Sul com 152 cavernas, U. G. Serra Norte com 244 cavernas, U. G. Serra Leste com 54 cavernas e U. G. Serra do Rabo-Estrela com 14 cavernas (Figura 106).

A escala local de análise para a formação ferrífera e metabasaltos é limitada à Unidade Geomorfológica Serra Sul (Figura 106), que inclui quatro cavidades em metabasaltos e 148 em rochas do grupo denominado formação ferrífera.

Para as cavernas inseridas em ferricrete a escala regional de análise é composta por 15 cavidades inseridas na região do Níquel do Vermelho, 24 cavernas na U. G. Serra do Rabo-Estrela e 20 cavernas da Serra Sul, totalizando 59 cavernas. Essas últimas irão também compor a escala de análise local para esta litologia.

A listagem das cavernas que compõem as amostras local e regional encontra-se no Anexo III.

6.3.3. Escalas de relevância das cavidades do Projeto S11D

6.3.3.1. Relevância Máxima

- Análise dos atributos físicos e histórico-cultural de relevância máxima

Foram incluídas neste estudo, 172 cavernas distribuídas no platô (corpo D), vertentes inclinadas e depressão periférica. Os atributos de ordem física - histórico cultural estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6. Classificação de relevância máxima na área do Projeto S11D – atributos físicos e culturais.

Relevância Máxima	Presente	Ausente
I. gênese única ou rara;	S11-07	
II. morfologia única;		
III. dimensões notáveis em extensão, área ou volume;	S11-07 S11D-01 S11D-12 S11D-61 S11D-64 S11D-78	
IV. espeleotemas únicos;	S11D-83	
V. isolamento geográfico;		
X. cavidade testemunho; ou		
XI. destacada relevância histórico cultural ou religiosa.		

Para a classificação de relevância máxima das cavernas na formação ferrífera, com base nos valores espeleométricos, o termo “dimensões notáveis” foi aqui definido pelo valor médio da amostra regional multiplicado por cinco.

Desse modo, o valor de corte para a projeção horizontal é de 155,28 m, o que atribui às cavernas S11D-12 e S11D-64 o grau de relevância máximo. O valor de corte para a área da projeção horizontal é 595,90 m². Em S11D Quatro cavidades atingiram valor de relevância máximo com base nesse atributo: S11D-01, S11D-

61, S11D-64 e S11D-78. Essas mesmas cavidades atingiram relevância máxima também com base nos respectivos volumes, que superaram o valor de corte de 1.206 m³.

Apenas a caverna S11D-83 se destacou na amostra por apresentar espeleotemas únicos. Trata-se de depósitos químicos abundantes e com morfologia bastante variada. Ocorrem nessa cavidade diversas estalactites com dimensões que podem atingir cerca de 80 cm. Também foram registradas colunas e cortinas que, juntamente com as estalactites, constituem espeleotemas raros na formação ferrífera. A estrutura concêntrica de deposição de alguns desses espeleotemas pode ser observada nas pontas quebradas de algumas dessas estalactites. Formas menores e não menos raras também estão presentes. Alguns pingentes com cerca de dois metros de comprimento possuem morfologia anelar e localmente possuem furos irregulares nas pontas. Depósitos químicos na forma botrioidal também ocorrem com abundância. A composição química e mineralógica desses espeleotemas ainda é desconhecida.

Cavernas inseridas em ferricrete têm valor de corte (dimensões notáveis) de 268,19 m para a projeção horizontal. O valor de corte para a área é de 786,50 m² e para o volume de 907,85 m³. Entre as cavidades estudadas e que se inserem nessa litologia, se destacou apenas a caverna S11-07 como de máxima relevância. Trata-se da maior cavidade até o momento registrada em ferricrete, com 1.546 m de projeção horizontal, 4.224 m² de área e 4.340 m³ de volume. Essa mesma cavidade também se destaca por apresentar gênese rara e ainda não totalmente compreendida. Há indícios de que esteja relacionada ao regime freático, o que pode ser inferido com base na própria morfologia da cavidade. Os condutos têm seção circular e são bastante regulares. Longitudinalmente, os condutos se mostram curvilíneos se interconectando em diversos pontos, sem evidências diretas de controle por estruturas. A altura dos condutos tende a se manter uniforme, com 1 m em média. Cúpulas de teto constituem feições morfológicas raras no conjunto amostrado, sendo, no entanto, bastante recorrentes na caverna S11-07. Caracterizam-se pela forma cônica, com base semicircular e diâmetro de até 2 m. A profundidade atinge em média 1,5 m, podendo chegar localmente a 3 m. Algumas dessas cúpulas preservam um patamar residual bastante erodido em

sua base. Essas formas reliquiárias indicam que o desenvolvimento da cúpula ocorreu de forma isolada em relação ao conduto logo abaixo. Esse tipo de feição também foi registrado, porém de modo incipiente, nas cavernas CAV-23, CAV-25, S11-22, S11-24, S11D-31 e S11D-54. A morfologia da caverna S11-07 apesar de rara não é única, tendo sido observada na cavidade NV-11 do Projeto Níquel do Vermelho, em Canaã do Carajás, cerca de 40 km a leste.

Entre as cavidades estudadas em metabasaltos nenhuma foi classificada como de relevância máxima com base em seus valores espeleométricos. Os valores de corte para esta litologia são: 131,69 m para a projeção horizontal; 987,08 m² para a área da projeção horizontal e 2.461,42 m³ para o volume.

As cavidades do Projeto S11D não se enquadram na definição de isolamento geográfico, tendo em vista a grande ocorrência desses tipos de cavidade na região de Carajás.

Nas cavidades analisadas não foram registrados vestígios de uso religioso. Vestígios arqueológicos (históricos e pré-históricos) estão sendo avaliados por especialistas e merecerão trabalhos específicos de acordo com a Portaria 230 do IPHAN, de 17/12/2002. Esses estudos, por sua vez, serão analisados pelo órgão competente, conforme o Art. 17 da IN. 2.

- **Análise dos atributos biológicos de relevância máxima**

Abaixo seguem comentários sobre os atributos listados no Decreto 6.640 para fim de classificação do grau de relevância máximo das cavidades naturais subterrâneas estudadas em S11D, levando em conta os resultados obtidos com os estudos bioespeleológicos.

- **Abrigo essencial para preservação de populações geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais**

Não foram encontradas populações de espécies constantes de lista oficial de espécies brasileiras ameaçadas de extinção (MMA, 2008) nas cavidades inventariadas.

- **Habitat de troglóbio raro**

Foram considerados os organismos citados na Tabela 5, potenciais endêmicos, registrados até o momento apenas em cavidades da área de S11D: Ochyroceratidae sp.1 (S11D-64, S11D-81, S11D-96), Escadabiidae sp.7 (S11D-80), Olpiidae sp.2 (CAV-34), Chthoniidae sp.1 (S11D-39, S11D-64), Cyphoderidae sp.3 (S11D-40), Carabidae sp.10 (S11D-79, S11D-80), Staphylinidae sp.51 (S11D-35, S11D-39), Staphylinidae sp.17 (S11D-78), *Circoniscus* sp.1 (S11-07) e Tricladida sp.1 (S11-07).

- **Habitat para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de troglóbios endêmicos ou relictos**

Recebem esse atributo as mesmas cavidades citadas acima, por fazerem parte da área de distribuição dos troglóbios raros.

- **Interações ecológicas únicas**

Para esse atributo foram consideradas as larvas bioluminescentes de Elateridae (Pyrophorini), registro único para a cavidade S11-07, predando diferentes espécies estabelecidas na cavidade.

A Tabela 7 apresenta uma síntese dos atributos biológicos detalhados anteriormente. Conforme se observa, onze cavidades apresentaram atributos para a atribuição do grau de relevância máximo.

Tabela 7. Classificação de relevância máxima na área de S11D, Carajás. Atributos biológicos.

Relevância máxima	Presente	Ausente
VI – Abrigo essencial para preservação de populações geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais		
VII – Hábitat para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de troglóbios endêmicos ou relictos	S11D-35 S11D-39 S11D-40 S11D-64 S11D-78 S11D-79 S11D-80 S11D-81 S11D-96 S11-07 CAV-34	
VIII – Hábitat de troglóbio raro	S11D-35 S11D-39 S11D-40 S11D-64 S11D-78 S11D-79 S11D-80 S11D-81 S11D-96 S11-07 CAV-34	
IX – Interações ecológicas únicas	S11-07	

6.3.3.2. Os graus de importância das cavidades para classificação das relevâncias alta, média e baixa - Atributos Físicos e Histórico-Culturais.

- **Importância acentuada sob enfoque local e regional**

A síntese dos atributos físicos de importância acentuada sob enfoque local e regional é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8. Síntese da classificação em termos de importância acentuada sob enfoque local e regional. Atributos físicos.

Importância acentuada sob enfoque local e regional	Presente	Ausente
XII - Alta projeção horizontal da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica, conforme definido no § 3o do art. 14, desta Instrução Normativa;	S11D-01 S11D-10 S11D-13 S11D-33 S11D-39 S11D-40 S11D-55 S11D-57 S11D-61 S11D-78 S11D-81 S11D-83	
XIII - Alta área da projeção horizontal da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica, conforme definido no § 3o do art. 14, desta Instrução Normativa;	S11D-10 S11D-12 S11D-13 S11D-33 S11D-39 S11D-55 S11D-77 S11D-83 S11D-96	
XIV - Alto volume da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica, conforme definido no § 3o do art. 14, desta Instrução Normativa;	S11D-12 S11D-13 S11D-33 S11D-39 S11D-77 S11D-83 S11D-96	
XV - Presença significativa de estruturas espeleogenéticas raras;	S11-07	
XVI - Lago ou drenagem subterrânea perene com influência acentuada sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos deste artigo;	CAV-30 S11-28	
XVII - Diversidade da sedimentação química com muitos tipos de espeleotemas e processos de deposição;	S11D-83	
XVIII - Configuração notável dos espeleotemas;	CAV-41	

	S11D-01 S11D-83 S11D-101	
XIX – Alta influência da cavidade sobre o sistema cárstico;		
XX - Presença de inter-relação da cavidade com alguma de relevância máxima;		
XXI - Reconhecimento nacional ou mundial do valor estético/cênico da cavidade;		
XXII - Visitação pública sistemática na cavidade, com abrangência regional ou nacional.		

- **Alta projeção horizontal**

Foram identificadas doze cavidades com alta projeção horizontal sob o enfoque regional na área do Projeto S11D, no que se refere à formação ferrífera: S11D-01 (117 m); S11D-10 (96 m); S11D-13 (130 m); S11D-33 (111 m); S11D-39 (138,5 m); S11D-40 (79 m); (S11D-55 (109 m); S11D-57 (81 m); S11D-61 (91,5 m); S11D-78 (133,5 m); S11D-81 (81 m) e S11D-83 (94,40 m). O valor alta projeção horizontal atinge 69,41 m e resulta da soma da média da projeção horizontal e o desvio padrão das 451 cavidades que compõem a amostra regional (Tabela 9).

Apenas uma caverna em metabasalto, S11D-47, com 72 m, apresentou alta relevância com base na projeção horizontal sob enfoque regional. Para essa litologia a soma do desvio padrão e a média foi de 69,97 m (Tabela 10). A amostra regional é composta por 13 cavernas.

Entre as cavernas em ferricrete não houve ocorrência de alta projeção horizontal nos enfoques local e regional.

Tabela 9. Parâmetros espeleométricos da projeção horizontal do enfoque regional para cavernas na formação ferrífera.

Parâmetros	Projeção Horizontal
Média	31,06
Desvio Padrão	38,35
Alto ($> \mu + \sigma$)	69,41
Médio - Intervalo entre $(\mu - \sigma)$ e $(\mu + \sigma)$	-7,29* e 69,41
Baixo ($< \mu - \sigma$)	-7,29*

* O valor negativo é resultante de um problema estatístico da metodologia.

Tabela 10. Parâmetros espeleométricos da projeção horizontal do enfoque regional para cavernas em metabasaltos.

Parâmetros	Projeção Horizontal
Média	26,34
Desvio Padrão	43,63
Alto ($> \mu + \sigma$)	69,97
Médio - Intervalo entre $(\mu - \sigma)$ e $(\mu + \sigma)$	-17,30* e 69,97
Baixo ($< \mu - \sigma$)	-17,30*

* O valor negativo é resultante de um problema estatístico da metodologia.

- **Alta área**

Na amostra formação ferrífera nove cavidades apresentaram alta relevância com base na área da projeção horizontal sob enfoque regional: S11D-10 (359 m²); S11D-12 (565 m²); S11D-13 (515,5 m²); S11D-33 (489 m²); S11D-39 (540 m²); S11D-55 (387 m²); S11D-77 (291 m²); S11D-83 (418 m²) e S11D-96 (358,2 m²). Para essa litologia a soma do desvio padrão e a média regional foi de 288,60 m² (Tabela 11).

Tabela 11. Parâmetros espeleométricos da área projeção horizontal do enfoque regional para cavernas na formação ferrífera.

Parâmetros	Área da Projeção Horizontal
Média	119,18
Desvio Padrão	169,42
Alto ($> \mu + \sigma$)	288,60
Médio - Intervalo entre $(\mu - \sigma)$ e $(\mu + \sigma)$	-50,23* e 288,60
Baixo ($< \mu - \sigma$)	-50,23*

* O valor negativo é resultante de um problema estatístico da metodologia.

Nenhuma caverna em metabasalto e ferricrete de S11D atingiu alta relevância sob enfoque regional com base na área da projeção horizontal.

- **Alto volume**

Sete cavernas - S11D-12 (1000 m³), S11D-13 (927 m³), S11D-33 (995,5 m³), S11D-39 (1080 m³), S11D-77 (794,5 m³), S11D-83 (765 m³) e S11D-96 (716,9 m³) - apresentaram alta relevância sob enfoque regional, com base nos valores de volume. Para essa litologia a soma do desvio padrão e a média foi de 649,26 m³ (Tabela 12). Nenhuma cavidade em metabasalto e ferricrete apresentou alta relevância sob enfoque regional com base nesse atributo.

Tabela 12. Parâmetros espeleométricos do volume sob enfoque regional para cavernas na formação ferrífera.

Parâmetros	Volume
Média	241,20
Desvio Padrão	408,06
Alto ($> \mu + \sigma$)	649,26
Médio - Intervalo entre $(\mu - \sigma)$ e $(\mu + \sigma)$	-166,86* e 649,26
Baixo ($< \mu - \sigma$)	-166,86*

* O valor negativo é resultante de um problema estatístico da metodologia.

- **Estruturas espeleogenéticas raras**

Presença significativa de estrutura espeleogenética rara foi observada na caverna S11-07. Trata-se de cúpulas ou *bell holes*. Ocorrem em abundância no teto da caverna. Esse tipo de estrutura também foi registrado, de modo discreto, em outras cavidades do Projeto S11D.

- **Lago ou drenagem subterrânea perene**

Drenagens subterrâneas com escoamento perene foram identificadas nas

cavernas CAV-30 e S11-28. Ambas se inserem em calhas de drenagem, onde parte do fluxo é capturado, ressurgindo no interior dessas cavidades, com influência em sua gênese e evolução.

A caverna S11-08, apesar de localizada no interior da calha de drenagem, tem sua gênese associada a um depósito de tálus.

- **Diversidade da sedimentação química**

Entre as cavernas estudadas, apenas S11D-83 apresentou uma grande diversidade de espeleotemas. Essa cavidade já foi classificada como de máxima relevância por possuir espeleotemas únicos. As demais cavernas da área de estudo apresentaram espeleotemas típicos de rochas ferríferas e máficas, com baixa diversidade dos depósitos químicos, que se restringem a crostas, coralóides e escorrimentos.

- **Configuração notável de espeleotemas**

A configuração notável está relacionada ao aspecto, maturidade ou abundância dos espeleotemas. Na formação ferrífera destacaram-se as cavernas S11D-01 e S11D-83. Na primeira foram observadas as maiores dimensões de escorrimentos da área de estudo, com comprimento de 2 m, além de pingentes em plena formação. Na segunda há abundância de espeleotemas, dentre os quais espeleotemas raros. Entre as cavernas inseridas em rochas máficas, a caverna S11D-101 se destaca por apresentar depósitos ferruginosos do tipo travertino cuja dimensão, forma e abundância se diferenciam bastante do que é comumente observado nessa litologia. Esses depósitos estão localizados abaixo de uma fratura no teto, onde a percolação é intensa. A maturidade desses depósitos é aparentemente variada, ocorrendo depósitos mais recentes caracterizados pela pouca rigidez ao toque, juntamente com depósitos bem cristalinos.

Entre as cavidades em ferricrete, a CAV-41 se destaca por apresentar abundância de crostas sustentando formas botrioidais pouco comuns com até 10 cm de diâmetro.

- **Alta influência da cavidade sobre o sistema cárstico**

Não foram observados casos de alta influência da cavidade sobre o sistema cárstico. Este tipo de ocorrência é mais comum em rochas carbonáticas, onde normalmente há um sistema integrado envolvendo formas superficiais, epicársticas e subterrâneas. As cavidades estudadas no Projeto S11D são formas isoladas na paisagem, não sendo observado nenhum sistema de drenagem subterrânea associado.

- **Inter-relação da cavidade com caverna de relevância máxima**

Não há inter-relação das cavernas classificadas como de relevância máxima, com as demais cavidades da área.

- **Reconhecimento mundial ou nacional do valor estético ou cênico**

As cavernas estudadas não apresentam ainda esse tipo de reconhecimento.

- **Visitação pública sistemática**

Nenhuma das cavernas estudadas apresentou visitação pública regular.

6.3.3.3. Importância acentuada sob enfoque local

A Tabela 13 sintetiza os atributos físicos considerados acentuados sob enfoque local.

Tabela 13. Síntese da classificação dos atributos que conferem importância acentuada sob enfoque local.

Importância acentuada sob enfoque local	Presente	Ausente
VIII - Presença de estrutura geológica de interesse científico;	CAV-14 S11-27 S11D-91 S11D-93 S11D-94	
IX - Presença de registros paleontológicos;		
X - Reconhecimento local do valor estético/cênico da cavidade;		
XI - Visitação pública sistemática na cavidade, com abrangência local;		
XII - Presença de água de percolação ou condensação com influência acentuada sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos deste artigo;	S11D-01 S11D-101	
XIII - Lago ou drenagem subterrânea intermitente com influência acentuada sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos deste artigo.	CAV-09 CAV-37 CAV-40 CAV-41 S11-07 S11-20 S11-24 S11D-01 S11D-33 S11D-70 S11D-77 S11D-83 S11D-96	

- **Estrutura geológica de interesse científico**

A presença de espessos veios de quartzo, concordantes e discordantes com os planos de bandamento do jaspilito, na caverna S11-27, constitui algo ainda pouco observado nas cavernas da região de Carajás. A morfologia indica que o preenchimento de quartzo ocorreu ao longo de fraturas associadas a uma zona de cisalhamento rúptil-dúctil. Outros veios de quartzo foram observados em cavidades do entorno, mas nenhum apresentou a morfologia e a dimensão observada na caverna S11-27.

Nas cavidades CAV-14, S11D-91, S11D-93 e S11D-94 foram observadas fraturas na canga, com direção recorrente nas últimas três cavidades. Essas fraturas estão direcionadas predominantemente para N50E/SV e preenchidas por material ferruginoso. O fato de estarem inseridas na canga detrítica pode indicar a ocorrência de eventos neotectônicos locais.

- **Registros paleontológicos**

Em nenhuma das cavernas estudadas foram encontrados vestígios paleontológicos em superfície.

- **Reconhecimento local do valor estético/cênico**

Não há reconhecimento local do valor estético/cênico das cavidades.

- **Visitação pública sistemática na cavidade, com abrangência local**

Não foram observados vestígios de visitação pública sistemática nas cavidades do Projeto S11D.

- **Água de percolação ou condensação**

Águas de percolação com influência na formação de espeleotemas foram registradas nas cavernas S11D-01 e S11D-101. Essas cavidades estão inseridas na formação ferrífera e na rocha máfica, respectivamente. Em ambas as cavidades o fluido percolante tem origem em drenagens sazonais que fluem por sobre os tetos dessas cavernas. Na caverna S11D-01, a percolação está associada a escorrimentos que formam pingentes (20 cm de comprimento em média) e uma cortina (1 m de comprimento). Na caverna S11D-101, escorrimentos geram também cortinas com até 25 cm, além de pingentes com até 10 cm de comprimento. Algumas dessas cortinas têm a crista serrilhada e localmente

textura de microtravertino na superfície. Abaixo dos espeleotemas, hidrologicamente ativos, forma-se um depósito de travertinos. O estado de cristalização é variado entre esses espeleotemas, sendo possível observar a deposição de material argilo-ferruginoso inconsolidado sobre a superfície de alguns desses depósitos.

- **Lago ou drenagem intermitente**

Drenagens temporárias, na formação ferrífera, foram registradas nas cavernas S11-20, S11D-33, S11D-70, S11D-77 e S11D-83 e, no ferricrete, nas cavernas CAV-09, CAV-37, CAV-40, CAV-41, S11-07 e S11-24. Em doze cavidades (CAV-37, CAV-40, CAV-41, S11-07, S11-20, S11-24, S11D-33, S11D-70, S11D-77 e S11D-83) essas drenagens constituem surgências. Nas demais estão associadas a drenagens externas parcialmente capturadas.

A influência que essas drenagens exercem nas cavidades está em geral relacionada a processos erosivos como ravinamento de piso e abertura e alargamento de canaliculos. Algumas poças atingiram dimensões representativas nas cavernas de S11D, podendo ser considerados pequenos lagos. Alguns desses abrigam espécimes troglomórficos da ordem Tricladida (S11-07, S11D-01 e S11D-33). Nas cavernas S11D-33 e S11D-96 foram observadas populações estabelecidas de anuros *Pipas* nos corpos d'água. Na drenagem temporária da caverna S11-20 foram registrados besouros da família Dytiscidae. Besouros similares também foram encontrados em áreas úmidas - sem corpos hídricos - das cavernas S11D-53, S11D-78 e S11D-102.

6.3.3.4. Importância significativa sob enfoque local e regional

Os atributos que definem importância significativa sob enfoque local e regional encontram-se listados na Tabela 14.

Tabela 14. Atributos físicos que conferem importância significativa sob enfoque local e regional das cavernas de S11D.

Importância significativa sob enfoque local e regional	Presente	Ausente
II - Média projeção horizontal da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica, conforme definido no § 3º do art. 14, desta Instrução Normativa;	CAV-01	
	CAV-02	
	CAV-03	
	CAV-04	
	CAV-05	
	CAV-06	
	CAV-07	
	CAV-08	
	CAV-09	
	CAV-10	
	CAV-11	
	CAV-12	
	CAV-13	
	CAV-14	
	CAV-15	
	CAV-16	
	CAV-17	
	CAV-18	
	CAV-19	
	CAV-20	
	CAV-21	
	CAV-22	
	CAV-23	
	CAV-24	
	CAV-25	
	CAV-26	
	CAV-27	
	CAV-28	
	CAV-29	
	CAV-30	
	CAV-31	
	CAV-32	
	CAV-33	
	CAV-34	
	CAV-35	
	CAV-36	
	CAV-37	
	CAV-38	
	CAV-39	
	CAV-40	
S11-01		
S11-02		
S11-03		
S11-04		

	S11-05	
	S11-06	
	S11-08	
	S11-09	
	S11-10	
	S11-11	
	S11-12	
	S11-13	
	S11-14	
	S11-15	
	S11-16	
	S11-17	
	S11-18	
	S11-19	
	S11-20	
	S11-21	
	S11-22	
	S11-23	
	S11-24	
	S11-25	
	S11-26	
	S11-27	
	S11-28	
	S11-29	
	S11-30	
	S11-31	
	S11D-02	
	S11D-03	
	S11D-05	
	S11D-06	
	S11D-07	
	S11D-08	
	S11D-09	
	S11D-11	
	S11D-14	
	S11D-15	
	S11D-16	
	S11D-17	
	S11D-18	
	S11D-19	
	S11D-20	
	S11D-21	
	S11D-22	
	S11D-23	
	S11D-24	
	S11D-25	
	S11D-26	
	S11D-27	
	S11D-28	
	S11D-29	

	S11D-30	
	S11D-31	
	S11D-32	
	S11D-34	
	S11D-35	
	S11D-36	
	S11D-37	
	S11D-38	
	S11D-41	
	S11D-42	
	S11D-43	
	S11D-44	
	S11D-45	
	S11D-46	
	S11D-48	
	S11D-49	
	S11D-50	
	S11D-51	
	S11D-52	
	S11D-53	
	S11D-56	
	S11D-58	
	S11D-59	
	S11D-60	
	S11D-62	
	S11D-63	
	S11D-65	
	S11D-66	
	S11D-67	
	S11D-68	
	S11D-69	
	S11D-70	
	S11D-71	
	S11D-72	
	S11D-73	
	S11D-74	
	S11D-75	
	S11D-76	
	S11D-77	
	S11D-79	
	S11D-80	
	S11D-82	
	S11D-84	
	S11D-85	
	S11D-86	
	S11D-87	
	S11D-88	
	S11D-89	
	S11D-90	
	S11D-91	
	S11D-92	

	S11D-93 S11D-94 S11D-95 S11D-96 S11D-97 S11D-98 S11D-99 S11D-100 S11D-101 S11D-102	
<p>III - Média área da projeção horizontal da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica, conforme definido no § 3º do art. 14, desta Instrução Normativa;</p>	CAV-01 CAV-02 CAV-03 CAV-04 CAV-05 CAV-06 CAV-07 CAV-08 CAV-09 CAV-10 CAV-11 CAV-12 CAV-13 CAV-14 CAV-15 CAV-16 CAV-17 CAV-18 CAV-19 CAV-20 CAV-21 CAV-22 CAV-23 CAV-24 CAV-25 CAV-26 CAV-27 CAV-28 CAV-29 CAV-30 CAV-31 CAV-32 CAV-33 CAV-34 CAV-35 CAV-36 CAV-37 CAV-38 CAV-39	

	CAV-40	
	CAV-41	
	S11-01	
	S11-02	
	S11-03	
	S11-04	
	S11-05	
	S11-06	
	S11-08	
	S11-09	
	S11-10	
	S11-11	
	S11-12	
	S11-13	
	S11-14	
	S11-15	
	S11-16	
	S11-17	
	S11-18	
	S11-19	
	S11-20	
	S11-21	
	S11-22	
	S11-23	
	S11-24	
	S11-25	
	S11-26	
	S11-27	
	S11-28	
	S11-29	
	S11-30	
	S11-31	
	S11D-02	
	S11D-03	
	S11D-05	
	S11D-06	
	S11D-07	
	S11D-08	
	S11D-09	
	S11D-11	
	S11D-14	
	S11D-15	
	S11D-16	
	S11D-17	
	S11D-18	
	S11D-19	
	S11D-20	
	S11D-21	
	S11D-22	
	S11D-23	
	S11D-24	
	S11D-25	

	S11D-26	
	S11D-27	
	S11D-28	
	S11D-29	
	S11D-30	
	S11D-31	
	S11D-32	
	S11D-34	
	S11D-35	
	S11D-36	
	S11D-37	
	S11D-38	
	S11D-41	
	S11D-42	
	S11D-43	
	S11D-44	
	S11D-45	
	S11D-46	
	S11D-47	
	S11D-48	
	S11D-49	
	S11D-50	
	S11D-51	
	S11D-52	
	S11D-53	
	S11D-56	
	S11D-57	
	S11D-58	
	S11D-59	
	S11D-60	
	S11D-62	
	S11D-63	
	S11D-65	
	S11D-66	
	S11D-67	
	S11D-68	
	S11D-69	
	S11D-70	
	S11D-71	
	S11D-72	
	S11D-73	
	S11D-74	
	S11D-75	
	S11D-76	
	S11D-79	
	S11D-80	
	S11D-81	
	S11D-82	
	S11D-84	
	S11D-85	

	S11D-86 S11D-87 S11D-88 S11D-89 S11D-90 S11D-91 S11D-92 S11D-93 S11D-94 S11D-95 S11D-97 S11D-98 S11D-99 S11D-100 S11D-101 S11D-102	
<p>IV - Alto desnível da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica, conforme definido no § 3º do art. 14, desta Instrução Normativa;</p>	CAV-12 CAV-14 CAV-15 CAV-18 CAV-19 CAV-22 CAV-34 CAV-35 CAV-41 S11-02 S11-07 S11-08 S11-12 S11-14 S11-15 S11-16 S11-19 S11-20 S11-21 S11-25 S11-26 S11-31 S11D-01 S11D-10 S11D-12 S11D-13 S11D-14 S11D-21 S11D-22 S11D-29 S11D-33 S11D-34 S11D-35 S11D-38	

	S11D-39 S11D-40 S11D-43 S11D-45 S11D-46 S11D-55 S11D-58 S11D-61 S11D-63 S11D-64 S11D-69 S11D-70 S11D-72 S11D-77 S11D-78 S11D-79 S11D-81 S11D-83 S11D-89 S11D-91 S11D-96 S11D-98	
<p>V - Médio volume da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica, conforme definido no § 3º do art. 14, desta Instrução Normativa;</p>	CAV-01 CAV-02 CAV-03 CAV-04 CAV-05 CAV-06 CAV-07 CAV-08 CAV-09 CAV-10 CAV-11 CAV-12 CAV-13 CAV-14 CAV-15 CAV-16 CAV-17 CAV-18 CAV-19 CAV-20 CAV-21 CAV-22 CAV-23 CAV-24 CAV-25 CAV-26 CAV-27	

	CAV-28	
	CAV-29	
	CAV-30	
	CAV-31	
	CAV-32	
	CAV-33	
	CAV-34	
	CAV-35	
	CAV-36	
	CAV-37	
	CAV-38	
	CAV-39	
	CAV-40	
	CAV-41	
	S11-01	
	S11-02	
	S11-03	
	S11-04	
	S11-05	
	S11-06	
	S11-08	
	S11-09	
	S11-10	
	S11-11	
	S11-12	
	S11-13	
	S11-14	
	S11-15	
	S11-16	
	S11-17	
	S11-18	
	S11-19	
	S11-20	
	S11-21	
	S11-22	
	S11-23	
	S11-24	
	S11-25	
	S11-26	
	S11-27	
	S11-28	
	S11-29	
	S11-30	
	S11-31	
	S11D-02	
	S11D-03	
	S11D-05	
	S11D-06	
	S11D-07	
	S11D-08	

	S11D-09	
	S11D-10	
	S11D-11	
	S11D-14	
	S11D-15	
	S11D-16	
	S11D-17	
	S11D-18	
	S11D-19	
	S11D-20	
	S11D-21	
	S11D-22	
	S11D-23	
	S11D-24	
	S11D-25	
	S11D-26	
	S11D-27	
	S11D-28	
	S11D-29	
	S11D-30	
	S11D-31	
	S11D-32	
	S11D-34	
	S11D-35	
	S11D-36	
	S11D-37	
	S11D-38	
	S11D-40	
	S11D-41	
	S11D-42	
	S11D-43	
	S11D-44	
	S11D-45	
	S11D-46	
	S11D-47	
	S11D-48	
	S11D-49	
	S11D-50	
	S11D-51	
	S11D-52	
	S11D-53	
	S11D-55	
	S11D-56	
	S11D-57	
	S11D-58	
	S11D-59	
	S11D-60	
	S11D-62	
	S11D-63	
	S11D-65	
	S11D-66	
	S11D-67	

	S11D-68 S11D-69 S11D-70 S11D-71 S11D-72 S11D-73 S11D-74 S11D-75 S11D-76 S11D-79 S11D-80 S11D-81 S11D-82 S11D-84 S11D-85 S11D-86 S11D-87 S11D-88 S11D-89 S11D-90 S11D-91 S11D-92 S11D-93 S11D-94 S11D-95 S11D-97 S11D-98 S11D-99 S11D-100 S11D-101 S11D-102	
VI - Presença de estruturas espeleogenéticas raras;	CAV-23 CAV-25 S11-07 S11-22 S11-24 S11D-31	
VII - Lago ou drenagem subterrânea intermitente com influência significativa sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos deste artigo;	S11D-09 S11D-17 S11D-29 S11D-39 S11D-41	
VIII - Diversidade da sedimentação química com muitos tipos de espeleotemas ou processos de deposição;	S11D-83	
IX - Sedimentação clástica ou química com valor científico;	CAV-41 S11D-01 S11D-57	

	S11D-83 S11D-101	
X - Reconhecimento regional do valor estético/cênico da cavidade;		
XI - Uso constante, periódico ou sistemático para fins educacionais, recreativos ou esportivos.		

- Média projeção horizontal

As cavidades classificadas como de média relevância com base na projeção horizontal possuem valores dimensionais situados entre a média - desvio padrão e a média + desvio padrão. Para a formação ferrífera este intervalo situa-se desde o valor negativo (-7,29 m) a 69,41 m (Tabela 15). O que inclui todas as cavidades nesta litologia, com exceção daquelas classificadas como de alta e máxima relevância (Tabela 16).

Tabela 15. Cavernas com média projeção horizontal classificadas como de Importância significativa sob enfoque local e regional (formação ferrífera).

Parâmetros	Projeção Horizontal
Média	31,06
Desvio Padrão	38,35
Alto ($> \mu + \sigma$)	69,41
Médio - Intervalo entre $(\mu - \sigma)$ e $(\mu + \sigma)$	-7,29* e 69,41
Baixo ($< \mu - \sigma$)	-7,29*

*O valor negativo é resultante de um problema estatístico da metodologia.

Tabela 16. Parâmetros espeleométricos da projeção horizontal do enfoque regional (cavernas na formação ferrífera com média projeção horizontal).

Cavernas da formação ferrífera (S11D)	Projeção horizontal (m)
CAV-01	34
CAV-02	9,5
CAV-03	24,5
CAV-04	22,6
CAV-05	9,3
CAV-06	10,6
CAV-07	8,5
CAV-08	14
CAV-10	9
CAV-11	9
CAV-12	16,2

CAV-13	10,7
CAV-14	6,4
CAV-15	10,2
CAV-16	5,3
CAV-20	18
CAV-21	9,4
CAV-23	9,1
CAV-24	13
CAV-25	6,6
CAV-26	7,2
CAV-27	8,8
CAV-28	5,1
CAV-29	5,9
CAV-31	13,3
CAV-33	6,7
CAV-34	58
CAV-36	12,2
CAV-38	10,6
CAV-39	8
S11-01	6,3
S11-02	9,7
S11-03	5,8
S11-04	10
S11-05	8,4
S11-06	6,7
S11-09	6,3
S11-10	9,5
S11-11	15,8
S11-17	5,6
S11-18	13
S11-19	14,2
S11-20	53,6
S11-21	48,7
S11-22	15,2
S11-23	12,1
S11-26	20,2
S11-27	19,4
S11-28	29,2
S11-29	11,3
S11-30	6,8
S11D-002	45,5
S11D-003	13,5
S11D-005	56,5
S11D-006	60
S11D-007	29,5
S11D-008	16,3
S11D-009	11

S11D-011	27,5
S11D-014	66
S11D-015	19
S11D-016	14
S11D-017	32,5
S11D-018	10
S11D-019	12
S11D-020	17
S11D-021	18
S11D-022	65
S11D-023	13,5
S11D-024	16
S11D-025	9
S11D-026	12,5
S11D-027	12,5
S11D-028	8,5
S11D-029	42,5
S11D-030	11
S11D-031	14
S11D-032	36
S11D-034	26,5
S11D-035	37
S11D-036	20
S11D-037	39
S11D-038	19,5
S11D-041	10,5
S11D-042	16
S11D-043	37
S11D-045	43
S11D-048	10
S11D-049	7,5
S11D-050	19
S11D-051	12
S11D-052	10,5
S11D-053	20
S11D-056	28
S11D-058	38
S11D-059	25
S11D-060	12
S11D-062	12
S11D-063	18
S11D-065	8,5
S11D-066	16
S11D-067	17
S11D-068	10,5
S11D-069	21
S11D-070	25

S11D-071	10,5
S11D-072	16
S11D-073	13
S11D-074	20
S11D-075	12
S11D-076	32
S11D-077	63,5
S11D-079	42
S11D-080	18
S11D-082	7
S11D-084	9,6
S11D-085	7,2
S11D-086	11,2
S11D-087	9
S11D-088	31
S11D-089	23,2
S11D-090	5,1
S11D-091	37
S11D-092	11
S11D-093	39,9
S11D-094	25,5
S11D-095	5,9
S11D-096	56,7
S11D-097	5,5
S11D-098	10
S11D-099	23
S11D-100	32,5
S11D-101	51
S11D-102	10

As cavidades inseridas em metabasaltos apresentaram valores dimensionais situados entre -17,30 e 69,97 m para a classificação de média relevância com base na projeção horizontal (Tabela 17). À exceção da caverna S11D-47, que apresentou alta relevância em escala regional, com base na projeção horizontal, todas as demais cavidades foram classificadas como de média relevância (Tabela 18).

Tabela 17. Parâmetros espeleométricos da projeção horizontal do enfoque regional (cavernas em metabasalto).

Parâmetros	Projeção Horizontal
Média	26,34
Desvio Padrão	43,63
Alto ($> \mu + \sigma$)	69,97
Médio - Intervalo entre ($\mu - \sigma$) e ($\mu + \sigma$)	-17,30* e 69,97
Baixo ($< \mu - \sigma$)	-17,30*

*O valor negativo é resultante de um problema estatístico da metodologia.

Tabela 18. Cavernas com média projeção horizontal classificadas como de Importância significativa sob enfoque local e regional (metabasalto).

Cavernas em metabasalto (S11D)	Projeção horizontal (m)
S11-31	5,2
S11D-44	10,5
S11D-46	23,5

Dentre as cavidades inseridas no ferricrete, a classificação de média relevância com base na projeção horizontal apresentou valores dimensionais situados entre -149,34 e 256,61 m (Tabela 19). O grande intervalo se deve a enorme diferença dimensional entre a caverna S11-07 e as demais cavidades que compõem a amostra regional. Com exceção da caverna S11-07, classificada como de relevância máxima, todas as demais cavidades nessa litologia foram classificadas como de média relevância (Tabela 20).

Tabela 19. Parâmetros espeleométricos da projeção horizontal do enfoque regional (cavernas em ferricrete).

Parâmetros	Projeção Horizontal
Média	53,64
Desvio Padrão	202,98
Alto ($> \mu + \sigma$)	256,61
Médio - Intervalo entre ($\mu - \sigma$) e ($\mu + \sigma$)	-149,34* e 256,61
Baixo ($< \mu - \sigma$)	-149,34*

*O valor negativo é resultante de um problema estatístico da metodologia.

Tabela 20. Cavernas com média projeção horizontal classificadas como de Importância significativa sob enfoque local e regional (ferricrete).

Cavernas em ferricrete (S11D)	Projeção horizontal (m)
CAV-09	10,2
CAV-17	11,3
CAV-18	14
CAV-19	18
CAV-22	8
CAV-30	6
CAV-32	10,8
CAV-35	25
CAV-37	6,8
CAV-40	18
CAV-41	26,4
S11-08	21,8
S11-12	17,5
S11-13	13,4
S11-14	9,1
S11-15	8
S11-16	38,1
S11-24	6,3
S11-25	31,9

- Estruturas espeleogenéticas raras

Estruturas espeleogenéticas raras foram observadas nas cavernas CAV-23, CAV-25, S11-07, S11-22, S11-24 e S11D-31. Tratam-se de cúpulas ou “*bell holes*” e ocorrem de modo discreto no teto dessas cavidades (exceto na S11-07). Cúpulas estão em geral associadas ao processo de formação da cavidade, sendo resultantes de fluxo hídrico em sentido vertical e podem resultar em aumentos significativos no volume da cavidade, como registrado na caverna S11-07, onde são abundantes.

- Lago ou drenagem intermitente

Drenagens temporárias foram registradas nas cavernas S11D-09, S11D-17, S11D-29, S11D-39 e S11D-41, mas esses corpos d’água apresentaram pouca influência nas cavidades.

- **Diversidade da sedimentação química**

A única caverna a apresentar diversidade em espeleotemas é a S11D-83, classificada como de máxima relevância. Nas demais cavernas da área de estudo não há diversidade de espeleotemas, como já relatado.

- **Sedimentação clástica ou química com valor científico**

Espeleotemas cuja deposição apresenta valor científico foram observados nas cavernas CAV-41, S11D-01, S11D-57, S11D-83 e S11D-101. Nas cavernas S11D-01 e S11D-101 foi possível observar espeleotemas ativos próximos a zonas de percolação, bem como espeleotemas em fase madura já completamente litificados. Na cavidade CAV-41, as formas botrioidais observadas são pouco comuns em cavernas na formação ferrífera e ferricrete. Na caverna S11D-57 foram observados importantes depósitos de crosta branco-amarelada, de composição mineralógica ainda desconhecida.

- **Reconhecimento regional do valor estético e cênico**

Nenhuma das cavidades estudadas no Projeto S11D é reconhecida nacional ou mundialmente pelo seu valor estético ou cênico.

- **Uso constante para fins educacionais, recreativos e esportivos**

Não foi constatado o uso constante, periódico ou sistemático para fins educacionais, recreativos ou esportivos nas cavernas da área do Projeto S11D.

6.3.3.5. Importância significativa sob enfoque local

Os atributos adicionais que conferem importância significativa sob a ótica do enfoque local estão listados na Tabela 21.

Tabela 21. Atributos físicos adicionais que conferem importância significativa sob enfoque local.

Importância significativa sob enfoque local	Presente	Ausente
V - Média projeção horizontal da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade geomorfológica, conforme definido no § 1º do art. 14, desta Instrução Normativa;	CAV-01	
	CAV-02	
	CAV-03	
	CAV-04	
	CAV-05	
	CAV-06	
	CAV-07	
	CAV-08	
	CAV-09	
	CAV-10	
	CAV-11	
	CAV-12	
	CAV-13	
	CAV-14	
	CAV-15	
	CAV-16	
	CAV-17	
	CAV-18	
	CAV-19	
	CAV-20	
	CAV-21	
	CAV-22	
	CAV-23	
	CAV-24	
	CAV-25	
	CAV-26	
	CAV-27	
	CAV-28	
	CAV-29	
	CAV-30	
	CAV-31	
	CAV-32	
	CAV-33	
	CAV-34	
	CAV-35	
	CAV-36	
	CAV-37	
	CAV-38	
	CAV-39	
	CAV-40	
	CAV-41	
S11-01		
S11-02		
S11-03		

	S11-04	
	S11-05	
	S11-06	
	S11-08	
	S11-09	
	S11-10	
	S11-11	
	S11-12	
	S11-13	
	S11-14	
	S11-15	
	S11-16	
	S11-17	
	S11-18	
	S11-19	
	S11-20	
	S11-21	
	S11-22	
	S11-23	
	S11-24	
	S11-25	
	S11-26	
	S11-27	
	S11-28	
	S11-29	
	S11-30	
	S11-31	
	S11D-02	
	S11D-03	
	S11D-05	
	S11D-06	
	S11D-07	
	S11D-08	
	S11D-09	
	S11D-11	
	S11D-15	
	S11D-16	
	S11D-17	
	S11D-18	
	S11D-19	
	S11D-20	
	S11D-21	
	S11D-23	
	S11D-24	
	S11D-25	
	S11D-26	
	S11D-27	
	S11D-28	
	S11D-29	
	S11D-30	

	S11D-31	
	S11D-32	
	S11D-34	
	S11D-35	
	S11D-36	
	S11D-37	
	S11D-38	
	S11D-41	
	S11D-42	
	S11D-43	
	S11D-44	
	S11D-45	
	S11D-46	
	S11D-48	
	S11D-49	
	S11D-50	
	S11D-51	
	S11D-52	
	S11D-53	
	S11D-56	
	S11D-58	
	S11D-59	
	S11D-60	
	S11D-62	
	S11D-63	
	S11D-65	
	S11D-66	
	S11D-67	
	S11D-68	
	S11D-69	
	S11D-70	
	S11D-71	
	S11D-72	
	S11D-73	
	S11D-74	
	S11D-75	
	S11D-76	
	S11D-79	
	S11D-80	
	S11D-82	
	S11D-84	
	S11D-85	
	S11D-86	
	S11D-87	
	S11D-88	
	S11D-89	
	S11D-90	
	S11D-91	
	S11D-92	

	S11D-93 S11D-94 S11D-95 S11D-96 S11D-97 S11D-98 S11D-99 S11D-100 S11D-101 S11D-102	
<p>VI - Média área da projeção horizontal da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade geomorfológica, conforme definido no § 1º do art. 14, desta Instrução Normativa;</p>	CAV-01 CAV-02 CAV-03 CAV-04 CAV-05 CAV-06 CAV-07 CAV-08 CAV-09 CAV-10 CAV-11 CAV-12 CAV-13 CAV-14 CAV-15 CAV-16 CAV-17 CAV-18 CAV-19 CAV-20 CAV-21 CAV-22 CAV-23 CAV-24 CAV-25 CAV-26 CAV-27 CAV-28 CAV-29 CAV-30 CAV-31 CAV-32 CAV-33 CAV-34 CAV-35 CAV-36 CAV-37 CAV-38 CAV-39	

	CAV-40	
	CAV-41	
	S11-01	
	S11-02	
	S11-03	
	S11-04	
	S11-05	
	S11-06	
	S11-08	
	S11-09	
	S11-10	
	S11-11	
	S11-12	
	S11-13	
	S11-14	
	S11-15	
	S11-16	
	S11-17	
	S11-18	
	S11-19	
	S11-20	
	S11-21	
	S11-22	
	S11-23	
	S11-24	
	S11-25	
	S11-26	
	S11-27	
	S11-28	
	S11-29	
	S11-30	
	S11-31	
	S11D-02	
	S11D-03	
	S11D-05	
	S11D-06	
	S11D-07	
	S11D-08	
	S11D-09	
	S11D-11	
	S11D-14	
	S11D-15	
	S11D-16	
	S11D-17	
	S11D-18	
	S11D-19	
	S11D-20	
	S11D-21	
	S11D-22	

	S11D-23	
	S11D-24	
	S11D-25	
	S11D-26	
	S11D-27	
	S11D-28	
	S11D-29	
	S11D-30	
	S11D-31	
	S11D-32	
	S11D-34	
	S11D-35	
	S11D-36	
	S11D-37	
	S11D-38	
	S11D-40	
	S11D-41	
	S11D-42	
	S11D-43	
	S11D-44	
	S11D-45	
	S11D-46	
	S11D-47	
	S11D-48	
	S11D-49	
	S11D-50	
	S11D-51	
	S11D-52	
	S11D-53	
	S11D-56	
	S11D-57	
	S11D-58	
	S11D-59	
	S11D-60	
	S11D-62	
	S11D-63	
	S11D-65	
	S11D-66	
	S11D-67	
	S11D-68	
	S11D-69	
	S11D-70	
	S11D-71	
	S11D-72	
	S11D-73	
	S11D-74	
	S11D-75	
	S11D-76	
	S11D-79	

	S11D-80 S11D-81 S11D-82 S11D-84 S11D-85 S11D-86 S11D-87 S11D-88 S11D-89 S11D-90 S11D-91 S11D-92 S11D-93 S11D-94 S11D-95 S11D-97 S11D-98 S11D-99 S11D-100 S11D-101 S11D-102	
<p>VII - Alto desnível da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade geomorfológica, conforme definido no § 1º do art. 14, desta Instrução Normativa;</p>	CAV-12 CAV-14 CAV-15 CAV-18 CAV-22 CAV-34 CAV-35 CAV-41 S11-02 S11-07 S11-08 S11-16 S11-19 S11-20 S11-21 S11-25 S11-26 S11-31 S11D-01 S11D-07 S11D-10 S11D-12 S11D-13 S11D-14 S11D-21 S11D-22 S11D-29 S11D-33	

	S11D-34 S11D-35 S11D-38 S11D-39 S11D-40 S11D-43 S11D-45 S11D-46 S11D-55 S11D-58 S11D-61 S11D-63 S11D-64 S11D-69 S11D-70 S11D-72 S11D-77 S11D-78 S11D-79 S11D-81 S11D-83 S11D-89 S11D-91 S11D-96 S11D-98	
<p>VIII - Médio volume da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade geomorfológica, conforme definido no § 1º do art. 14, desta Instrução Normativa;</p>	CAV-01 CAV-02 CAV-03 CAV-04 CAV-05 CAV-06 CAV-07 CAV-08 CAV-09 CAV-10 CAV-11 CAV-12 CAV-13 CAV-14 CAV-15 CAV-16 CAV-17 CAV-18 CAV-19 CAV-20 CAV-21 CAV-22 CAV-23 CAV-24	

	CAV-25	
	CAV-26	
	CAV-27	
	CAV-28	
	CAV-29	
	CAV-30	
	CAV-31	
	CAV-32	
	CAV-33	
	CAV-34	
	CAV-35	
	CAV-36	
	CAV-37	
	CAV-38	
	CAV-39	
	CAV-40	
	CAV-41	
	S11-01	
	S11-02	
	S11-03	
	S11-04	
	S11-05	
	S11-06	
	S11-08	
	S11-09	
	S11-10	
	S11-11	
	S11-12	
	S11-13	
	S11-14	
	S11-15	
	S11-16	
	S11-17	
	S11-18	
	S11-19	
	S11-20	
	S11-21	
	S11-22	
	S11-23	
	S11-24	
	S11-25	
	S11-26	
	S11-27	
	S11-28	
	S11-29	
	S11-30	
	S11-31	
	S11D-02	
	S11D-03	

	S11D-05	
	S11D-06	
	S11D-07	
	S11D-08	
	S11D-09	
	S11D-10	
	S11D-11	
	S11D-14	
	S11D-15	
	S11D-16	
	S11D-17	
	S11D-18	
	S11D-19	
	S11D-20	
	S11D-21	
	S11D-22	
	S11D-23	
	S11D-24	
	S11D-25	
	S11D-26	
	S11D-27	
	S11D-28	
	S11D-29	
	S11D-30	
	S11D-31	
	S11D-32	
	S11D-34	
	S11D-35	
	S11D-36	
	S11D-37	
	S11D-38	
	S11D-40	
	S11D-41	
	S11D-42	
	S11D-43	
	S11D-44	
	S11D-45	
	S11D-46	
	S11D-47	
	S11D-48	
	S11D-49	
	S11D-50	
	S11D-51	
	S11D-52	
	S11D-53	
	S11D-55	
	S11D-56	
	S11D-57	
	S11D-58	
	S11D-59	

	S11D-60 S11D-62 S11D-63 S11D-65 S11D-66 S11D-67 S11D-68 S11D-69 S11D-70 S11D-71 S11D-72 S11D-73 S11D-74 S11D-75 S11D-76 S11D-79 S11D-80 S11D-81 S11D-82 S11D-84 S11D-85 S11D-86 S11D-87 S11D-88 S11D-89 S11D-90 S11D-91 S11D-92 S11D-93 S11D-94 S11D-95 S11D-97 S11D-98 S11D-99 S11D-100 S11D-101 S11D-102	
IX - Poucos tipos de espeleotemas e processos de deposição em termos de diversidade de sedimentação química;	CAV-01 CAV-02 CAV-03 CAV-04 CAV-05 CAV-06 CAV-07 CAV-08 CAV-09 CAV-10 CAV-11 CAV-12	

	CAV-13	
	CAV-14	
	CAV-15	
	CAV-16	
	CAV-17	
	CAV-18	
	CAV-19	
	CAV-20	
	CAV-21	
	CAV-22	
	CAV-23	
	CAV-24	
	CAV-25	
	CAV-26	
	CAV-27	
	CAV-28	
	CAV-29	
	CAV-30	
	CAV-31	
	CAV-32	
	CAV-33	
	CAV-34	
	CAV-35	
	CAV-36	
	CAV-37	
	CAV-38	
	CAV-39	
	CAV-40	
	CAV-41	
	S11-01	
	S11-02	
	S11-03	
	S11-04	
	S11-05	
	S11-06	
	S11-07	
	S11-08	
	S11-09	
	S11-10	
	S11-11	
	S11-12	
	S11-13	
	S11-14	
	S11-15	
	S11-16	
	S11-17	
	S11-18	
	S11-19	
	S11-20	

	S11-21	
	S11-22	
	S11-23	
	S11-24	
	S11-25	
	S11-26	
	S11-27	
	S11-28	
	S11-29	
	S11-30	
	S11-31	
	S11D-01	
	S11D-02	
	S11D-03	
	S11D-05	
	S11D-06	
	S11D-07	
	S11D-08	
	S11D-09	
	S11D-10	
	S11D-11	
	S11D-12	
	S11D-13	
	S11D-14	
	S11D-15	
	S11D-16	
	S11D-17	
	S11D-18	
	S11D-19	
	S11D-20	
	S11D-21	
	S11D-22	
	S11D-23	
	S11D-24	
	S11D-25	
	S11D-26	
	S11D-27	
	S11D-28	
	S11D-29	
	S11D-30	
	S11D-31	
	S11D-32	
	S11D-33	
	S11D-34	
	S11D-35	
	S11D-36	
	S11D-37	
	S11D-38	
	S11D-39	
	S11D-40	
	S11D-41	

	S11D-42	
	S11D-43	
	S11D-44	
	S11D-45	
	S11D-46	
	S11D-47	
	S11D-48	
	S11D-49	
	S11D-50	
	S11D-51	
	S11D-52	
	S11D-53	
	S11D-55	
	S11D-56	
	S11D-57	
	S11D-58	
	S11D-59	
	S11D-60	
	S11D-61	
	S11D-62	
	S11D-63	
	S11D-64	
	S11D-65	
	S11D-66	
	S11D-67	
	S11D-68	
	S11D-69	
	S11D-70	
	S11D-71	
	S11D-72	
	S11D-73	
	S11D-74	
	S11D-75	
	S11D-76	
	S11D-77	
	S11D-78	
	S11D-79	
	S11D-80	
	S11D-81	
	S11D-82	
	S11D-84	
	S11D-85	
	S11D-86	
	S11D-87	
	S11D-88	
	S11D-89	
	S11D-90	
	S11D-91	
	S11D-92	

	S11D-93 S11D-94 S11D-95 S11D-96 S11D-97 S11D-98 S11D-99 S11D-100 S11D-101 S11D-102	
X - Uso esporádico ou casual para fins educacionais, recreativos ou esportivos;		
XI - Visitação pública esporádica ou casual na cavidade;		
XII - Presença de água de percolação ou condensação com influência sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos deste artigo; e	S11D-01 S11D-101	
XIII - Lago ou drenagem subterrânea intermitente com influência sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos deste artigo.	CAV-09 CAV-37 CAV-40 CAV-41 S11-07 S11-20 S11-24 S11D-01 S11D-09 S11D-17 S11D-29 S11D-33 S11D-39 S11D-41 S11D-70 S11D-77 S11D-83 S11D-96	

- **Média projeção horizontal**

Em escala local, o intervalo para a classificação das cavidades (da formação ferrífera) com média projeção horizontal está entre -4,70 e 61,89 m (Tabela 22). Desse modo, com exceção das cavernas S11D-01, S11D-10, S11D-12, S11D-13, S11D-14, S11D-22, S11D-33, S11D-39, S11D-40, S11D-55, S11D-57, S11D-61, S11D-64, S11D-77, S11D-78, S11D-81 e S11D-83 todas as demais cavidades inseridas na formação ferrífera apresentaram média projeção horizontal.

Tabela 22. Parâmetros espeleométricos na escala local das cavernas da formação ferrífera.

Parâmetros	Projeção Horizontal
Média	28,59
Desvio Padrão	33,29
Alto ($> \mu + \sigma$)	61,89
Médio - Intervalo entre ($\mu - \sigma$) e ($\mu + \sigma$)	-4,70* e 61,89
Baixo ($< \mu - \sigma$)	-4,70*

* 0 valor negativo é resultante de um problema estatístico da metodologia.

Entre as cavidades inseridas em metabasaltos, o intervalo para a classificação de média projeção horizontal local está situado entre -2,65 e 58,25 m. Com exceção da caverna S11D-47, todas as demais cavidades nessa litologia se incluem nesta categoria. (Tabela 23).

Tabela 23. Parâmetros espeleométricos da projeção horizontal na escala local das cavernas em metabasalto.

Parâmetros	Projeção Horizontal
Média	27,80
Desvio Padrão	30,45
Alto ($> \mu + \sigma$)	58,25
Médio - Intervalo entre ($\mu - \sigma$) e ($\mu + \sigma$)	-2,65 e 58,25
Baixo ($< \mu - \sigma$)	-2,65

* 0 valor negativo é resultante de um problema estatístico da metodologia.

Para os ferricretes, o intervalo está entre -249,95 e 434,61 m, o que incluiu todas as cavidades, com exceção da S11-07, classificada como de relevância máxima (Tabela 24).

Tabela 24. Parâmetros espeleométricos da projeção horizontal na escala local das cavernas em ferricrete.

Parâmetros	Projeção Horizontal
Média	92,33
Desvio Padrão	342,28
Alto ($> \mu + \sigma$)	434,61
Médio - Intervalo entre ($\mu - \sigma$) e ($\mu + \sigma$)	-249,95* e 434,61
Baixo ($< \mu - \sigma$)	-249,95*

* 0 valor negativo é resultante de um problema estatístico da metodologia.

- **Poucos tipos de espeleotemas**

Com exceção da caverna S11D-83, todas as demais cavernas do Projeto S11D apresentaram poucos tipos de espeleotemas.

- **Uso ou visitação esporádica ou casual**

Não foi constatado o uso ou visitação esporádica ou casual nas cavernas da área do Projeto S11D.

- **Presença de água de percolação ou condensação**

Águas de percolação foram observadas na grande maioria das cavidades estudadas. A intensidade é variável, ocorrendo desde gotejamentos pontuais até o escoamento intenso durante eventos pluviométricos. Entretanto, somente em duas cavidades (S11D-01 e S11D-101) se observou, de forma direta, a influência da atividade hidrológica na formação de espeleotemas.

- **Lago ou drenagem subterrânea intermitente**

Drenagens subterrâneas intermitentes, na formação ferrífera, foram registradas nas cavernas S11-20, S11D-33, S11D-70, S11D-77 e S11D-83. No ferricrete foram registradas nas cavernas CAV-09, CAV-37, CAV-40, CAV-41, S11-07 e S11-24.

A influência dessas drenagens nas cavidades está relacionada a processos erosivos como ravinamento de piso e abertura e alargamento de canalículos. Algumas poças atingiram dimensões representativas nas cavernas de S11D, podendo ser considerados pequenos lagos. Alguns dessa poças abrigam espécimes troglomórficos da ordem Tricladida (S11-07, S11D-01 e S11D-33).

Nas cavernas S11D-33 e S11D-96 foram observadas populações estabelecidas de anuros *Pipas* nos corpos d'água. Na drenagem temporária da caverna S11-20 foram registrados besouros da família Dytiscidae. Besouros similares também foram encontrados em áreas úmidas - sem corpos hídricos - das cavernas S11D-53, S11D-78 e S11D-102.

Drenagens temporárias com pouca influência nas cavidades foram registradas em S11D-09, S11D-17, S11D-29, S11D-39, S11D-41.

6.3.4. Os graus de importância das cavidades para classificação das relevâncias alta, média e baixa - Atributos biológicos.

Os próximos itens contêm comentários a respeito dos atributos biológicos para fins de classificação dos graus de relevância alto, médio e baixo.

6.3.4.1. Importância acentuada sob enfoque local e regional

Os resultados estão sintetizados na Tabela 25.

Tabela 25. Síntese da classificação em termos de importância acentuada sob enfoque local e regional. Atributos biológicos.

Importância acentuada sob enfoque local e regional	Presente	Ausente
I – Localidade-tipo	S11D-40	
II – Presença de populações estabelecidas de espécies com função ecológica importante	S11D-01 S11D-39 S11D-40 S11D-54 S11D-61 S11D-83 S11-07 S11-15 S11-16 S11-21 CAV-34 CAV-41	
III – Presença de táxons novos	S11D-05 S11D-12 S11D-13 S11D-17 S11D-21	

	S11D-22 S11D-24 S11D-26 S11D-31 S11D-33 S11D-35 S11D-37 S11D-39 S11D-40 S11D-41 S11D-43 S11D-45 S11D-79 S11D-80 S11D-88 S11D-89 S11D-100 S11-07 S11-11 S11-18 S11-21 S11-23 S11-25 S11-30 CAV-03 CAV-19 CAV-24 CAV-35 CAV-36	
IV – Alta riqueza de espécies	S11D-01 S11D-05 S11D-06 S11D-10 S11D-12 S11D-13 S11D-22 S11D-33 S11D-35 S11D-39 S11D-40 S11D-43 S11D-64 S11D-78 S11D-81 S11D-96 S11D-101 S11-07 S11-21 CAV-34 CAV-35 CAV-41	
V – Alta abundância relativa de espécies	S11D-09 S11D-15 S11D-21 S11D-25 S11D-26 S11D-27	

	S11D-31 S11D-32 S11D-41 S11D-44 S11D-48 S11D-49 S11D-51 S11D-52 S11D-62 S11D-65 S11D-66 S11D-68 S11D-70 S11D-71 S11D-82 S11D-85 S11D-86 S11D-87 S11D-89 S11D-90 S11D-92 S11D-95 S11D-97 S11D-98 S11D-102 S11-01 S11-04 S11-05 S11-08 S11-09 S11-10 S11-11 S11-13 S11-14 S11-17 S11-19 S11-20 S11-22 S11-24 S11-26 S11-28 S11-29 S11-30 S11-31 CAV-02 CAV-03 CAV-07 CAV-08 CAV-11 CAV-15 CAV-16 CAV-17 CAV-19 CAV-23 CAV-29 CAV-30 CAV-37	
--	--	--

VI – Presença de composição singular da fauna	S11D-33 S11D-96 S11-07	
VII – Presença de troglóbios que não sejam considerados raros, endêmicos ou relictos.	S11D-01 S11D-02 S11D-03 S11D-06 S11D-10 S11D-11 S11D-12 S11D-13 S11D-14 S11D-15 S11D-17 S11D-22 S11D-26 S11D-27 S11D-31 S11D-32 S11D-33 S11D-36 S11D-37 S11D-38 S11D-41 S11D-42 S11D-43 S11D-53 S11D-55 S11D-57 S11D-59 S11D-60 S11D-65 S11D-69 S11D-71 S11D-72 S11D-74 S11D-76 S11D-77 S11D-78 S11D-82 S11D-87 S11D-88 S11D-89 S11D-92 S11D-93 S11D-94 S11D-102 S11-11 S11-12 S11-13 S11-14 S11-20 S11-21 S11-25 S11-27 S11-29 CAV-01	

	CAV-03 CAV-07 CAV-10 CAV-12 CAV-13 CAV-15 CAV-18 CAV-19 CAV-21 CAV-27 CAV-36 CAV-38 CAV-41	
VIII – Presença de espécies troglomórficas	S11D-01 S11D-02 S11D-03 S11D-06 S11D-10 S11D-11 S11D-12 S11D-13 S11D-14 S11D-15 S11D-17 S11D-22 S11D-26 S11D-27 S11D-31 S11D-32 S11D-33 S11D-35 S11D-36 S11D-37 S11D-38 S11D-39 S11D-40 S11D-41 S11D-42 S11D-43 S11D-53 S11D-55 S11D-57 S11D-59 S11D-60 S11D-64 S11D-65 S11D-69 S11D-71 S11D-72 S11D-74 S11D-76 S11D-77 S11D-78 S11D-79 S11D-80 S11D-81 S11D-82	

	S11D-87 S11D-88 S11D-89 S11D-92 S11D-93 S11D-94 S11D-96 S11D-102 S11-07 S11-11 S11-12 S11-13 S11-14 S11-20 S11-21 S11-25 S11-27 S11-29 CAV-01 CAV-03 CAV-07 CAV-10 CAV-12 CAV-13 CAV-15 CAV-18 CAV-19 CAV-21 CAV-27 CAV-34 CAV-36 CAV-38 CAV-41	
IX – Presença de troglóxeno obrigatório	S11-07	
X - Presença de população excepcional em tamanho		
XI – Presença de espécie rara		

- **Localidade-tipo**

A cavidade S11D-40 é localidade-tipo de *Canga renatae* (Opiliones) (DaSilva *et al*, 2010).

- **Espécie com função ecológica importante**

Para este atributo foram considerados os morcegos, troglóxenos importantes e frequentes nas cavidades, incluindo espécies polinizadoras, dispersoras de sementes e insetívoras. Cavidades com presença de populações com indicativo de

serem estabelecidas devido ao tamanho da colônia (aqui consideradas cavidades com estimativa de mais de 100 morcegos) e recorrência de morcegos em ambas as campanhas, correspondem à S11D-01, S11D-40, S11D-54, S11D-83, S11-07, S11-15, S11-16, S11-21 e CAV-41. Adicionalmente, foram consideradas cavidades em que foram registradas populações maiores de 100 indivíduos em uma campanha, considerando que pode haver variação sazonal relacionada com o uso de recursos e habitats do entorno, sendo indicadas as cavidades S11D-39, S11D-61, S11D-78 e CAV-34.

- **Táxons novos**

Até o momento táxons novos confirmados por especialistas a partir de estudos comparativos e em andamento, incluindo sua descrição, incluem *Rowlandius* sp (Schizomida; cavidades S11D-05, S11D-12, S11D-17, S11D-21, S11D-22, S11D-24, S11D-26, S11D-31, S11D-33, S11D-35, S11D-39, S11D-43, S11D-45, S11D-79, S11D-80, S11D-88, S11D-89, S11D-100, S11-07, S11-11, S11-18, S11-21, S11-23, S11-25, S11-30, CAV-03, CAV-24, CAV-35 e CAV-36), *Cryptocellus* sp. (Ricinulei; S11D-12, S11D-13, S11D-24, S11D-37, S11D-40, S11D-41, S11D-79, S11D-80, CAV-19 e CAV35) e *Circoniscus* sp.1 (Isopoda; S11-07), *Coarazuphium* sp1 (Coleoptera; S11D-43, S11-27).

- **Alta riqueza de espécies**

Os valores de riqueza absoluta de espécies para as cavidades foram obtidos considerando o número de morfoespécies registrado. A média da riqueza absoluta e respectivo desvio padrão (50 ± 26 espécies) foram utilizados como base para fim de classificação das riquezas das cavidades em alta, média e baixa. Foi considerada riqueza alta aquelas acima da [média + desvio padrão] (acima de 76 espécies), observada para as cavidades: S11D-01, S11D-05, S11D-06, S11D-10, S11D-12, S11D-13, S11D-22, S11D-33, S11D-35, S11D-39, S11D-40, S11D-43, S11D-64, S11D-78, S11D-81, S11D-96, S11D-101, S11-07, S11-21, CAV-34, CAV-35 e CAV-41.

- **Alta abundância relativa de espécies**

Para esse atributo, os resultados indicaram relevância alta (30% ou mais de espécies abundantes) para as cavidades: S11D-09, S11D-15, S11D-21, S11D-25, S11D-26, S11D-27, S11D-31, S11D-32, S11D-41, S11D-44, S11D-48, S11D-49, S11D-51, S11D-52, S11D-62, S11D-65, S11D-66, S11D-68, S11D-70, S11D-71, S11D-82, S11D-85, S11D-86, S11D-87, S11D-89, S11D-90, S11D-92, S11D-95, S11D-97, S11D-98, S11D-102, S11-01, S11-04, S11-05, S11-08, S11-09, S11-10, S11-11, S11-13, S11-14, S11-17, S11-19, S11-20, S11-22, S11-24, S11-26, S11-28, S11-29, S11-30, S11-31, CAV-02, CAV-03, CAV-07, CAV-08, CAV-11, CAV-15, CAV-16, CAV-17, CAV-19, CAV-23, CAV-29, CAV-30 e CAV-37.

Como ressaltado anteriormente, os resultados obtidos para esse atributo não refletem algum significado biológico para algumas cavidades, devido à baixa abundância e diversidade registradas para organismos maiores que 1 cm.

- **Presença de composição singular da fauna**

Para o atributo, definido pela ocorrência de populações estabelecidas de espécies de grupos pouco comuns ao ambiente cavernícola, pode ser citada populações de anuros do gênero *Pipa* nas cavidades S11D-33 e S11D-96, o que pode ser considerado um elemento singular da fauna cavernícola, considerando o que é conhecido para a região de Carajás. Cita-se também as larvas bioluminescentes de Elateridae Pyrophorini abundantes na cavidade S11-07.

- **Presença de troglóbios que não sejam considerados raros, endêmicos ou relictos**

Neste atributo foram enquadradas as cavidades com presença dos organismos troglomórficos listados na Tabela 5 e que não foram considerados no item relevância máxima.

- **Presença de espécies troglomórficas**

Neste atributo foram enquadradas as cavidades com presença de todos os organismos troglomórficos listados na Tabela 5.

- **Presença de troglóxeno obrigatório**

Para esse atributo, foram consideradas as larvas de Pyrophorini registradas na cavidade S11-07 por precaução, pela ausência de conhecimento sobre a distribuição da espécie e pelo conhecimento ainda incipiente de sua biologia.

- **Presença de população excepcional em tamanho**

Não foram registradas populações com densidade elevada de forma excepcional nas cavidades. Algumas populações apresentaram abundância absoluta alta em algumas cavidades, como grilos *Phalangopsis*. Entretanto, tal fato é esperado quando cavidades com grandes extensões e/ou ocorrência de quantidade elevada de recursos tróficos, como guano, são consideradas.

- **Espécie rara**

Até o momento, o atributo não foi constatado.

6.3.4.2. Importância acentuada sob enfoque local

Os resultados estão sintetizados na Tabela 26.

Tabela 26. Síntese da classificação em termos de importância acentuada sob enfoque local. Atributos biológicos.

Importância acentuada sob enfoque local	Presente	Ausente
I – População residente de quirópteros	S11D-01 S11D-39 S11D-40 S11D-54 S11D-61 S11D-83 S11-07 S11-15 S11-16 S11-21 CAV-34 CAV-41	
II – Constatação de uso da cavidade por aves silvestres como local de nidificação	S11D-02 S11D-76 S11D-83 S11D-91 S11D-96 S11-10 S11-21 S11-23 CAV-03 CAV-34	
III – Alta diversidade de substratos orgânicos	S11D-01 S11D-02 S11D-06 S11D-10 S11D-12 S11D-13 S11D-22 S11D-24 S11D-26 S11D-27 S11D-28 S11D-29 S11D-33 S11D-34 S11D-35 S11D-37 S11D-38 S11D-39 S11D-40 S11D-42 S11D-43 S11D-45 S11D-47 S11D-53 S11D-54 S11D-55 S11D-57 S11D-58 S11D-59 S11D-61 S11D-63 S11D-64	

	S11D-71 S11D-77 S11D-78 S11D-79 S11D-80 S11D-81 S11D-83 S11D-91 S11D-93 S11D-94 S11D-96 S11D-99 S11D-100 S11D-101 S11-04 S11-06 S11-07 S11-08 S11-12 S11-13 S11-14 S11-15 S11-16 S11-18 S11-21 S11-22 S11-23 S11-24 S11-27 S11-29 CAV-01 CAV-03 CAV-09 CAV-16 CAV-18 CAV-22 CAV-23 CAV-25 CAV-26 CAV-29 CAV-32 CAV-34 CAV-35 CAV-36 CAV-38 CAV-40	
IV – Média riqueza de espécies	S11D-02 S11D-03 S11D-11 S11D-14 S11D-15 S11D-16 S11D-17 S11D-18 S11D-19 S11D-20 S11D-21	

	S11D-23	
	S11D-24	
	S11D-25	
	S11D-26	
	S11D-27	
	S11D-28	
	S11D-29	
	S11D-30	
	S11D-31	
	S11D-32	
	S11D-34	
	S11D-36	
	S11D-37	
	S11D-38	
	S11D-41	
	S11D-42	
	S11D-44	
	S11D-45	
	S11D-46	
	S11D-47	
	S11D-48	
	S11D-50,	
	S11D-51	
	S11D-52,	
	S11D-53	
	S11D-54	
	S11D-55	
	S11D-56	
	S11D-57	
	S11D-58	
	S11D-59	
	S11D-60	
	S11D-61	
	S11D-62	
	S11D-63	
	S11D-65	
	S11D-66	
	S11D-67	
	S11D-68	
	S11D-69	
	S11D-71	
	S11D-72	
	S11D-73	
	S11D-74	
	S11D-75	
	S11D-76	
	S11D-77	
	S11D-79	
	S11D-80	
	S11D-83	
	S11D-84	
	S11D-86	
	S11D-87	
	S11D-88	
	S11D-89	
	S11D-91	
	S11D-92	

	S11D-93	
	S11D-94	
	S11D-95	
	S11D-98	
	S11D-99	
	S11D-100	
	S11D-102	
	S11-03	
	S11-04	
	S11-05	
	S11-06	
	S11-10	
	S11-11	
	S11-12	
	S11-13	
	S11-14	
	S11-15	
	S11-16	
	S11-17	
	S11-18	
	S11-19	
	S11-20	
	S11-22	
	S11-23	
	S11-24	
	S11-25	
	S11-27	
	S11-29	
	S11-31	
	CAV-01	
	CAV-02	
	CAV-03	
	CAV-04	
	CAV-05	
	CAV-06	
	CAV-07	
	CAV-08	
	CAV-09	
	CAV-10	
	CAV-11	
	CAV-12	
	CAV-13	
	CAV-14	
	CAV-16	
	CAV-18	
	CAV-19	
	CAV-20	
	CAV-21	
	CAV-22	
	CAV-23	
	CAV-24	
	CAV-25	
	CAV-26	
	CAV-27	
	CAV-28	
	CAV-29	
	CAV-30	

	CAV-31 CAV-32 CAV-33 CAV-36 CAV-38 CAV-39 CAV-40	
V – Média abundância relativa de espécies	S11D-02 S11D-03 S11D-05 S11D-10 S11D-11 S11D-14 S11D-16 S11D-17 S11D-18 S11D-19 S11D-20 S11D-22 S11D-23 S11D-24 S11D-28 S11D-29 S11D-30 S11D-34 S11D-36 S11D-40 S11D-42 S11D-46 S11D-50 S11D-53 S11D-54 S11D-56 S11D-57 S11D-58 S11D-59 S11D-60 S11D-61 S11D-63 S11D-67 S11D-69 S11D-72 S11D-73 S11D-74 S11D-75 S11D-79 S11D-80 S11D-83 S11D-84 S11D-88 S11D-91 S11D-93 S11D-94 S11D-99 S11D-100 S11-02 S11-03	

	S11-06 S11-12 S11-15 S11-16 S11-18 S11-21 S11-23 S11-25 CAV-04 CAV-05 CAV-06 CAV-09 CAV-10 CAV-13 CAV-14 CAV-18 CAV-20 CAV-21 CAV-22 CAV-24 CAV-28 CAV-36 CAV-39 CAV-41	
VI – Constatação de uso da cavidade por espécies migratórias		
VII – Presença de singularidade dos elementos faunísticos da cavidade sob enfoque local	S11D-01 S11D-10 S11D-33 S11D-83 S11D-96 S11-07	

- **População residente de quirópteros**

Cavidades com presença de populações de morcegos com indicativo de serem estabelecidas foram citadas no item Espécie com função ecológica importante.

- **Constatação de uso da cavidade por aves silvestres como local de nidificação**

Ninhos vazios de aves foram encontrados nas cavidades S11D-02, S11D-76, S11D-83, S11D-91, S11D-96, S11-21, CAV-03 e CAV-34. A presença de ninhos de aves foi considerada como indicativo de uso para nidificação de aves silvestres. Embora não tenham sido observados grandes números de ninhos, não é conhecido de que forma a nidificação em cavidades influencia a conservação das

populações de aves que apresentam caracteristicamente baixa densidade populacional. Adicionalmente, ninhos com filhotes de urubu foram registrados nas cavidades S11-10 e S11-23.

- **Alta diversidade de substratos orgânicos**

As cavidades mais diversificadas quanto aos substratos orgânicos (quatro ou mais recursos citados na IN) correspondem a: S11D-01, S11D-02, S11D-06, S11D-10, S11D-12, S11D-13, S11D-22, S11D-24, S11D-26, S11D-27, S11D-28, S11D-29, S11D-33, S11D-34, S11D-35, S11D-37, S11D-38, S11D-39, S11D-40, S11D-42, S11D-43, S11D-45, S11D-47, S11D-53, S11D-54, S11D-55, S11D-57, S11D-58, S11D-59, S11D-61, S11D-63, S11D-64, S11D-71, S11D-77, S11D-78, S11D-79, S11D-80, S11D-81, S11D-83, S11D-91, S11D-93, S11D-94, S11D-96, S11D-99, S11D-100, S11D-101, S11-04, S11-06, S11-07, S11-08, S11-12, S11-13, S11-14, S11-15, S11-16, S11-18, S11-21, S11-22, S11-23, S11-24, S11-27, S11-29, CAV-01, CAV-03, CAV-09, CAV-16, CAV-18, CAV-22, CAV-23, CAV-25, CAV-26, CAV-29, CAV-32, CAV-34, CAV-35, CAV-36, CAV-38 e CAV-40.

- **Média riqueza de espécies**

Os valores de riqueza absoluta de espécies para as cavidades foram obtidos considerando o número de morfoespécies de invertebrados e vertebrados registrados. A média da riqueza absoluta e respectivo desvio padrão (50 ± 26 espécies) foram utilizados como base para fim de classificação das riquezas das cavidades em alta, média e baixa. Foram consideradas riquezas médias aquelas dentro do intervalo da [média \pm desvio padrão] (entre 24 e 76 espécies), observada para as cavidades: S11D-02, S11D-03, S11D-11, S11D-14, S11D-15, S11D-16, S11D-17, S11D-18, S11D-19, S11D-20, S11D-21, S11D-23, S11D-24, S11D-25, S11D-26, S11D-27, S11D-28, S11D-29, S11D-30, S11D-31, S11D-32, S11D-34, S11D-36, S11D-37, S11D-38, S11D-41, S11D-42, S11D-44, S11D-45, S11D-46, S11D-47, S11D-48, S11D-50, S11D-51, S11D-52, S11D-53, S11D-54, S11D-55, S11D-56, S11D-57, S11D-58, S11D-59, S11D-60, S11D-61, S11D-62,

S11D-63, S11D-65, S11D-66, S11D-67, S11D-68, S11D-69, S11D-71, S11D-72, S11D-73, S11D-74, S11D-75, S11D-76, S11D-77, S11D-79, S11D-80, S11D-83, S11D-84, S11D-86, S11D-87, S11D-88, S11D-89, S11D-91, S11D-92, S11D-93, S11D-94, S11D-95, S11D-98, S11D-99, S11D-100, S11D-102, S11-03, S11-04, S11-05, S11-06, S11-10, S11-11, S11-12, S11-13, S11-14, S11-15, S11-16, S11-17, S11-18, S11-19, S11-20, S11-22, S11-23, S11-24, S11-25, S11-27, S11-29, S11-31, CAV-01, CAV-02, CAV-03, CAV-04, CAV-05, CAV-06, CAV-07, CAV-08, CAV-09, CAV-10, CAV-11, CAV-12, CAV-13, CAV-14, CAV-16, CAV-18, CAV-19, CAV-20, CAV-21, CAV-22, CAV-23, CAV-24, CAV-25, CAV-26, CAV-27, CAV-28, CAV-29, CAV-30, CAV-31, CAV-32, CAV-33, CAV-36, CAV-38, CAV-39 e CAV-40.

- **Média abundância relativa de espécies**

As cavidades que apresentaram grau de relevância médio para este atributo (de 10 a 20% de espécies com abundância alta) são: S11D-02, S11D-03, S11D-05, S11D-10, S11D-11, S11D-14, S11D-16, S11D-17, S11D-18, S11D-19, S11D-20, S11D-22, S11D-23, S11D-24, S11D-28, S11D-29, S11D-30, S11D-34, S11D-36, S11D-40, S11D-42, S11D-46, S11D-50, S11D-53, S11D-54, S11D-56, S11D-57, S11D-58, S11D-59, S11D-60, S11D-61, S11D-63, S11D-67, S11D-69, S11D-72, S11D-73, S11D-74, S11D-75, S11D-79, S11D-80, S11D-83, S11D-84, S11D-88, S11D-91, S11D-93, S11D-94, S11D-99, S11D-100, S11-02, S11-03, S11-06, S11-12, S11-15, S11-16, S11-18, S11-21, S11-23, S11-25, CAV-04, CAV-05, CAV-06, CAV-09, CAV-10, CAV-13, CAV-14, CAV-18, CAV-20, CAV-21, CAV-22, CAV-24, CAV-28, CAV-36, CAV-39 e CAV-41.

- **Constatação de uso da cavidade por espécies migratórias**

A utilização das cavidades por espécies migratórias não foi constatada de acordo com as observações e resultados obtidos.

- **Presença de singularidade dos elementos faunísticos da cavidade sob enfoque local**

Considerando vertebrados pode-se destacar as populações de pipas nas cavidades S11D-33 e S11D-96, e também a população de *Natalus stramineus* registrada na cavidade S11-83 (a única cavidade com população representativa da espécie). Para invertebrados é destacada a presença de larvas de vaga-lume e aranhas *Nesticus* sp.1 na cavidade S11-07 e Scydmaenidae sp.1 nas cavidades S11D-01 e S11D-10.

6.3.4.3. Importância significativa sob enfoque local e regional

Os resultados estão sintetizados na Tabela 27.

Tabela 27. Síntese da classificação em termos de importância significativa sob enfoque local e regional. Atributos biológicos.

Importância significativa sob enfoque local e regional	Presente	Ausente
I – Presença de singularidade dos elementos faunísticos da cavidade sob enfoque regional	S11D-01 S11D-10 S11D-33 S11D-83 S11D-96 S11-07	

- Presença de singularidade dos elementos faunísticos da cavidade sob enfoque regional

Como já relatado acima, pode-se destacar as populações de pipas nas cavidades S11D-33 e S11D-96, assim como a população de *Natalus stramineus* registrada na cavidade S11-83. Para invertebrados é destacada a presença de larvas de vaga-lume e aranhas *Nesticus* sp.1 na cavidade S11-07 e Scydmaenidae sp.1 nas cavidades S11D-01 e S11D-10.

6.3.4.4. Importância significativa sob enfoque local

Os resultados estão sintetizados na Tabela 28.

Tabela 28. Síntese da classificação em termos de importância significativa sob enfoque local. Atributos biológicos.

Importância significativa sob enfoque local	Presente	Ausente
I – Baixa diversidade de substratos orgânicos	S11D-03	
	S11D-05	
	S11D-07	
	S11D-08	
	S11D-09	
	S11D-11	
	S11D-14	
	S11D-15	
	S11D-16	
	S11D-17	
	S11D-18	
	S11D-19	
	S11D-20	
	S11D-21	
	S11D-23	
	S11D-25	
	S11D-30	
	S11D-31	
	S11D-32	
	S11D-36	
	S11D-41	
	S11D-44	
	S11D-46	
	S11D-48	
	S11D-49	
	S11D-50	
	S11D-51	
	S11D-52	
	S11D-56	
	S11D-60	
	S11D-62	
	S11D-65	
	S11D-66	
	S11D-67	
S11D-68		
S11D-69		
S11D-70		
S11D-72		
S11D-73		
S11D-74		
S11D-75		
S11D-76		
S11D-82		
S11D-84		
S11D-85		
S11D-86		
S11D-87		
S11D-88		
S11D-89		
S11D-90		
S11D-92		
S11D-95		
S11D-97		
S11D-98		

	S11D-102 S11-01 S11-02 S11-03 S11-05 S11-09 S11-10 S11-11 S11-17 S11-19 S11-20 S11-25 S11-26 S11-28 S11-30 S11-31 CAV-02 CAV-04 CAV-05 CAV-06 CAV-07 CAV-08 CAV-10 CAV-11 CAV-12 CAV-13 CAV-14 CAV-15 CAV-17 CAV-19 CAV-20 CAV-21 CAV-24 CAV-27 CAV-28 CAV-30 CAV-31 CAV-33 CAV-37 CAV-39 CAV-41	
II – Baixa riqueza de espécies	S11D-07 S11D-08 S11D-09 S11D-49 S11D-70 S11D-82 S11D-85 S11D-90 S11D-97 S11-01 S11-02 S11-08 S11-09 S11-26 S11-28 S11-30	

	CAV-15 CAV-17 CAV-37	
III – Baixa abundância relativa de espécies	S11D-01 S11D-06 S11D-07 S11D-08 S11D-12 S11D-13 S11D-33 S11D-35 S11D-37 S11D-38 S11D-39 S11D-43 S11D-45 S11D-47 S11D-55 S11D-64 S11D-76 S11D-77 S11D-78 S11D-81 S11D-96 S11D-101 S11-07 S11-27 CAV-01 CAV-12 CAV-25 CAV-26 CAV-27 CAV-31 CAV-32 CAV-33 CAV-34 CAV-35 CAV-38 CAV-40	
IV – Presença de singularidade dos elementos faunísticos sob enfoque local	S11D-33 S11D-83 S11D-96 S11-07	

- **Baixa diversidade de substratos orgânicos**

As cavidades menos diversificadas quanto aos substratos orgânicos (menos de quatro tipos citados na IN) foram: S11D-03, S11D-05, S11D-07, S11D-08, S11D-09, S11D-11, S11D-14, S11D-15, S11D-16, S11D-17, S11D-18, S11D-19, S11D-20, S11D-21, S11D-23, S11D-25, S11D-30, S11D-31, S11D-32, S11D-36, S11D-41, S11D-44, S11D-46, S11D-48, S11D-49, S11D-50, S11D-51, S11D-52, S11D-56,

S11D-60, S11D-62, S11D-65, S11D-66, S11D-67, S11D-68, S11D-69, S11D-70, S11D-72, S11D-73, S11D-74, S11D-75, S11D-76, S11D-82, S11D-84, S11D-85, S11D-86, S11D-87, S11D-88, S11D-89, S11D-90, S11D-92, S11D-95, S11D-97, S11D-98, S11D-102; S11-01, S11-02, S11-03, S11-05, S11-09, S11-10, S11-11, S11-17, S11-19, S11-20, S11-25, S11-26, S11-28, S11-30, S11-31, CAV-02, CAV-04, CAV-05, CAV-06, CAV-07, CAV-08, CAV-10, CAV-11, CAV-12, CAV-13, CAV-14, CAV-15, CAV-17, CAV-19, CAV-20, CAV-21, CAV-24, CAV-27, CAV-28, CAV-30, CAV-31, CAV-33, CAV-37, CAV-39 e CAV-41.

- **Baixa riqueza de espécies**

Os valores de riqueza absoluta de espécies para as cavidades foram obtidos considerando o número de morfoespécies de invertebrados e vertebrados registrados. A média da riqueza absoluta e respectivo desvio padrão (50 ± 26 espécies) foram utilizados como base para fim de classificação das riquezas das cavidades em alta, média e baixa. Foi considerada riqueza baixa aquela menor que a [média - desvio padrão] (menos de 24 espécies), observada para as cavidades: S11D-07, S11D-08, S11D-09, S11D-49, S11D-70, S11D-82, S11D-85, S11D-90, S11D-97, S11-01, S11-02, S11-08, S11-09, S11-26, S11-28, S11-30, CAV-15, CAV-17 e CAV-37.

- **Baixa abundância relativa de espécies**

As cavidades que apresentaram grau de relevância baixo para este atributo (menos de 10% de espécies com abundância alta) são: S11D-01, S11D-06, S11D-07, S11D-08, S11D-12, S11D-13, S11D-33, S11D-35, S11D-37, S11D-38, S11D-39, S11D-43, S11D-45, S11D-47, S11D-55, S11D-64, S11D-76, S11D-77, S11D-78, S11D-81, S11D-96, S11D-101, S11-07, S11-27, CAV-01, CAV-12, CAV-25, CAV-26, CAV-27, CAV-31, CAV-32, CAV-33, CAV-34, CAV-35, CAV-38 e CAV-40.

- **Presença de singularidade dos elementos faunísticos sob enfoque local**

Este atributo foi discutido no item 6.3.4.2.

6.4. Considerações finais sobre a relevância, os impactos potenciais e a conservação de cavernas no Projeto S11D.

Diante dos parâmetros físicos e considerando o total de 172 cavidades estudadas no Projeto S11D, sete cavernas (4%) foram classificadas como de relevância máxima diante dos atributos físicos (Tabela 29). Vinte e seis cavidades foram classificadas como de relevância alta (15%) e 139 cavernas (81%) com o grau de relevância médio. Não foram classificadas cavernas de relevância baixa diante dos atributos físicos.

Quanto aos atributos biológicos, foram avaliadas 173 cavernas, sendo que 11 (6%) foram classificadas como de relevância máxima (Tabela 29) e 122 cavernas foram classificadas com grau de relevância alto, representando 71% do total. Trinta e oito cavernas foram classificadas como de relevância média (22%) e somente duas com grau de relevância baixo (1%).

Integrando os atributos físicos/histórico-culturais e biológicos, 15 cavernas foram classificadas como de relevância máxima, representando 9% do total; 122 duas cavernas (70%) receberam o grau de relevância alto e 36 cavidades (21%) o grau de relevância médio. O resumo da classificação do grau de relevância das cavidades do projeto S11D encontra-se na Figura 107.

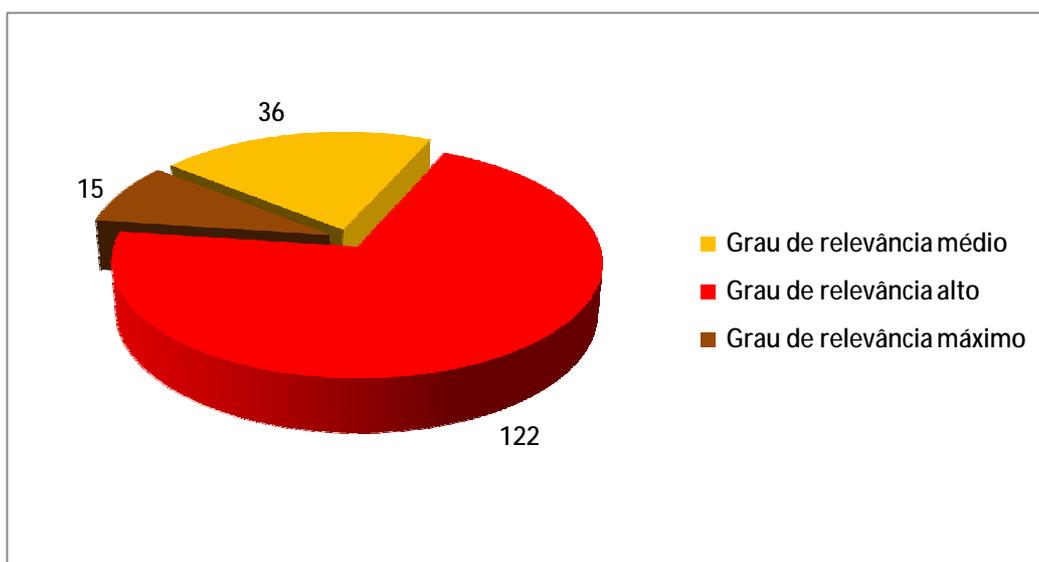


Figura 107. Gráfico dos graus de relevância final das cavernas de S11D.

Tabela 29. Síntese da relevância das cavidades estudadas na área do Projeto S11D, de acordo com a configuração de importância dos atributos físicos e biológicos.

Caverna	Grau de relevância e atributos biológicos classificatórios	Grau de relevância e atributos físicos classificatórios	Grau de relevância final
CAV-01	Troglóbio não raro	Média PH/área/volume	ALTO
CAV-02	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
CAV-03	Táxons novos / abundância alta / Troglóbio não raro	Média PH/área/volume	ALTO
CAV-04	Abundância Média / riqueza Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
CAV-05	Abundância Média / riqueza Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
CAV-06	Abundância Média / riqueza Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
CAV-07	Troglóbio não raro / abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
CAV-08	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
CAV-09	Abundância Média / alto substratos orgânicos / riqueza Média	Drenagem	ALTO
CAV-10	Troglóbio não raro	Média PH/área/volume	ALTO
CAV-11	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
CAV-12	Troglóbio não raro	Média PH/área/volume	ALTO
CAV-13	Troglóbio não raro	Média PH/área/volume	ALTO
CAV-14	Abundância Média / riqueza Média	Estrutura geol. de interesse científico	ALTO
CAV-15	Troglóbio não raro / abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
CAV-16	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
CAV-17	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
CAV-18	Troglóbio não raro	Média PH/área/volume	ALTO
CAV-19	Troglóbio não raro / Táxons novos / abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
CAV-20	Abundância Média / riqueza Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
CAV-21	Troglóbio não raro	Média PH/área/volume	ALTO
CAV-22	Abundância Média / alto substratos orgânicos / riqueza Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
CAV-23	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
CAV-24	Táxons novos	Média PH/área/volume	ALTO
CAV-25	Abundância Média / alto substratos orgânicos / riqueza Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
CAV-26	Alto substratos orgânicos / riqueza Média	Média PH/área/volume	MÉDIO

CAV-27	Troglóbio não raro	Média PH/área/volume	ALTO
CAV-28	Abundância Média / riqueza Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
CAV-29	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
CAV-30	Abundância alta	Drenagem	ALTO
CAV-31	Riqueza Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
CAV-32	Alto substratos orgânicos / riqueza Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
CAV-33	Riqueza Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
CAV-34	Habitat de troglóbio raro	Média PH/área/volume	MÁXIMO
CAV-35	Táxons novos / alta riqueza de espécies	Média PH/área/volume	ALTO
CAV-36	Táxons novos / Troglóbio não raro	Média PH/área/volume	ALTO
CAV-37	Abundância alta	Drenagem	ALTO
CAV-38	Troglóbio não raro	Média PH/área/volume	ALTO
CAV-39	Abundância Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
CAV-40	Alto substratos orgânicos / riqueza Média	Drenagem	ALTO
CAV-41	População com função ecológica / alta riqueza de espécies / Troglóbio não raro	Conf. Notável dos espeleotemas	ALTO
S11-01	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11-02	Abundância Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
S11-03	Abundância Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
S11-04	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11-05	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11-06	Abundância Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
S11-07	Habitat de troglóbio raro	Gênese única/Dimensões notáveis	MÁXIMO
S11-08	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11-09	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11-10	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11-11	Táxons novos / abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11-12	Troglóbio não raro	Média PH/área/volume	ALTO
S11-13	Troglóbio não raro / abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11-14	Troglóbio não raro / abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11-15	População com função ecológica	Média PH/área/volume	ALTO
S11-16	População com função ecológica	Média PH/área/volume	ALTO
S11-17	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11-18	Táxons novos	Média PH/área/volume	ALTO
S11-19	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11-20	Troglóbio não raro / abundância alta	Drenagem	ALTO
S11-21	População com função ecológica/ alta riqueza de espécies	Média PH/área/volume	ALTO

S11-22	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11-23	Táxons novos	Média PH/área/volume	ALTO
S11-24	Abundância alta	Drenagem	ALTO
S11-25	Táxons novos / Troglóbio não raro	Média PH/área/volume	ALTO
S11-26	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11-27	Troglóbio não raro	Estrutura geol. de interesse científico	ALTO
S11-28	Abundância alta	Drenagem	ALTO
S11-29	Troglóbio não raro / abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11-30	Táxons novos / abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11-31	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-001	População com função ecológica/ alta riqueza de espécies / Troglóbio não raro	Dimensões notáveis	MÁXIMO
S11D-002	Troglóbio não raro / troglomórficos	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-003	Troglóbio não raro / troglomórficos	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-005	Táxons novos/ alta riqueza de espécies	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-006	Troglóbio não raro/ alta riqueza de espécies	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-007	Baixa riqueza de espécies / baixo substratos orgânicos / baixa abundância	Média PH/área/volume	MÉDIO
S11D-008	Baixa riqueza de espécies / baixo substratos orgânicos / baixa abundância	Média PH/área/volume	MÉDIO
S11D-009	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-010	Troglóbio não raro/ alta riqueza de espécies	Alta PH/área	ALTO
S11D-011	Troglóbio não raro / troglomórficos	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-012	Táxons novos/ alta riqueza de espécies / Troglóbio não raro	Dimensões notáveis	MÁXIMO
S11D-013	Troglóbio não raro/ táxons novos /alta riqueza de espécies	Alta PH/área/volume	ALTO
S11D-014	Troglóbio não raro / troglomórficos	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-015	Troglóbio não raro / troglomórficos / Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-016	Abundância Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
S11D-017	Táxons novos / Troglóbio não raro	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-018	Abundância Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
S11D-019	Abundância Média	Média PH/área/volume	MÉDIO

S11D-020	Abundância Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
S11D-021	Táxons novos / Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-022	Táxons novos/ alta riqueza de espécies / Troglóbio não raro	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-023	Abundância Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
S11D-024	Táxons novos	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-025	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-026	Táxons novos / Troglóbio não raro / Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-027	Troglóbio não raro / troglomórficos / Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-028	Abundância Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
S11D-029	Abundância Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
S11D-030	Abundância Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
S11D-031	Táxons novos / Troglóbio não raro / Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-032	Troglóbio não raro / troglomórficos / Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-033	Táxons novos/ alta riqueza de espécies /composição singular fauna	Alta PH/área/volume	ALTO
S11D-034	Abundância Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
S11D-035	Habitat de troglóbio raro	Média PH/área/volume	MÁXIMO
S11D-036	Troglóbio não raro / troglomórficos	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-037	Troglóbio não raro / Táxons novos	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-038	Troglóbio não raro / troglomórficos	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-039	Habitat de troglóbio raro	Alta PH/área/volume	MÁXIMO
S11D-040	Habitat de troglóbio raro	Alta PH	MÁXIMO
S11D-041	Troglóbio não raro / Táxons novos / Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-042	Troglóbio não raro / troglomórficos	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-043	Táxons novos/ alta riqueza de espécies	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-044	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-045	Táxons novos	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-046	Abundância Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
S11D-047	Alto substratos orgânicos / riqueza Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
S11D-048	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-049	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-050	Abundância Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
S11D-051	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO

S11D-052	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-053	Troglóbio não raro / troglomórficos	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-054	População com função ecológica	Não avaliada	ALTO
S11D-055	Troglóbio não raro / troglomórficos	Alta PH/área	ALTO
S11D-056	Abundância Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
S11D-057	Troglóbio não raro / troglomórficos	Alta PH	ALTO
S11D-058		Média PH/área/volume	ALTO
S11D-059	Troglóbio não raro	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-060	Troglóbio não raro	Dimensões notáveis	MÁXIMO
S11D-061	População com função ecológica	Alta PH	ALTO
S11D-062	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-063	Abundância Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
S11D-064	Habitat de troglóbio raro	Dimensões notáveis	MÁXIMO
S11D-065	Troglóbio não raro / Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-066	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-067	Abundância Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
S11D-068	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-069	Troglóbio não raro	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-070	Abundância alta	Drenagem	ALTO
S11D-071	Troglóbio não raro / Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-072	Troglóbio não raro	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-073	Abundância Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
S11D-074	Troglóbio não raro	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-075	Abundância Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
S11D-076	Troglóbio não raro	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-077	Troglóbio não raro	Alta área/volume	ALTO
S11D-078	Habitat de troglóbio raro	Dimensões notáveis	MÁXIMO
S11D-079	Habitat de troglóbio raro	Média PH/área/volume	MÁXIMO
S11D-080	Habitat de troglóbio raro	Média PH/área/volume	MÁXIMO
S11D-081	Habitat de troglóbio raro	Alta PH	MÁXIMO
S11D-082	Troglóbio não raro / Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-083	População com função ecológica	Espeleotemas únicos	MÁXIMO
S11D-084	Abundância Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
S11D-085	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-086	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-087	Troglóbio não raro / Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-088	Táxons novos	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-089	Táxons novos / Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-090	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-091	Abundância Média	Estrutura geol. de interesse científico	ALTO

S11D-092	Troglóbio não raro / Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-093	Troglóbio não raro	Estrutura geol. de interesse científico	ALTO
S11D-094	Troglóbio não raro	Estrutura geol. de interesse científico	ALTO
S11D-095	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-096	Habitat de troglóbio raro	Alta área/volume	MÁXIMO
S11D-097	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-098	Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-099	Abundância Média	Média PH/área/volume	MÉDIO
S11D-100	Táxons novos	Média PH/área/volume	ALTO
S11D-101	Alta riqueza de espécies	Conf. Notável dos espeleotemas	ALTO
S11D-102	Troglóbio não raro / Abundância alta	Média PH/área/volume	ALTO

Legenda

	Grau de relevância baixo
	Grau de relevância médio
	Grau de relevância alto
	Grau de relevância máximo
PH	Projeção horizontal

Diante da análise da relevância das cavernas e da configuração do Plano Diretor do empreendimento proposto foi possível realizar um balanço sobre os impactos adversos (potenciais) na área do projeto S11D. A Tabela 30 apresenta os impactos potenciais nas cavernas em decorrência da implantação do Projeto.

Inicialmente foi possível constatar que 15 cavernas (9%) devem ter, nesse momento, conservação plena, pois foram classificadas como de relevância máxima. O perímetro de 250 m dessas 15 cavernas incluiu mais 38 cavernas (21,9%), sendo 30 de alta relevância e oito de média relevância.

Sessenta e nove cavernas (39,9%) terão apenas seu entorno de proteção de 250 m afetado pelo empreendimento. Essas cavernas merecerão estudos específicos para redefinição de seus entornos. Quarenta e quatro (25,4%) cavernas não sofrerão qualquer tipo de impacto. Em síntese, 113 cavernas (65,3%) não serão afetadas por impactos potenciais irreversíveis, ou seja, mais da metade das cavernas serão conservadas.

Por outro lado, 60 cavernas (34,7%) terão impactos irreversíveis. Esse impacto potencial é mais significativo na área da cava, onde 42 cavernas (24,3%)

sofrerão impactos (supressão) em decorrência da abertura da cava. Duas cavernas (1%) serão impactadas com a instalação da pilha de estéril 1 (PDE 1). Duas serão impactadas pela PDE 2 e dez (6%) pela PDE 3. Quatro cavernas (2%) serão impactadas por outras estruturas do Plano Diretor. A Figura 108 apresenta a distribuição das cavernas estudadas no Plano Diretor de S11D.

Tabela 30. Tipos de impactos potenciais nas cavernas em decorrência da implantação do Projeto S11D.

Caverna	Impacto potencial	Estrutura Projetada	Preservada pelo entorno de 250 m de caverna de relevância máxima	Grau de relevância
CAV-01	Interferência no entorno de 250 m	Cava		ALTO
CAV-02	Interferência no entorno de 250 m	Cava		ALTO
CAV-03	Interferência no entorno de 250 m	Cava		ALTO
CAV-04	Interferência no entorno de 250 m	Cava/PDE 2		MÉDIO
CAV-05	Supressão	Cava		MÉDIO
CAV-06	Supressão	Cava		MÉDIO
CAV-07	Supressão	Cava		ALTO
CAV-08	Interferência no entorno de 250 m	Cava/PDE 2		ALTO
CAV-09	Supressão	PDE 2		ALTO
CAV-10	Supressão	Cava		ALTO
CAV-11	Supressão	Cava		ALTO
CAV-12	Interferência no entorno de 250 m	Cava/Outras estruturas	Entorno S11D-40	ALTO
CAV-13	Interferência no entorno de 250 m	Cava/Outras estruturas	Entorno S11D-40	ALTO
CAV-14	Interferência no entorno de 250 m	PDE 2		ALTO
CAV-15	Supressão	Cava		ALTO
CAV-16	Supressão	Cava		ALTO
CAV-17	Interferência no entorno de 250 m	Cava/PDE 3		ALTO
CAV-18	Interferência no entorno de 250 m	Cava/PDE 3		ALTO
CAV-19	Supressão	Cava		ALTO
CAV-20	Supressão	Cava		MÉDIO
CAV-21	Supressão	Cava		ALTO
CAV-22	Interferência no entorno de 250 m	Cava/PDE 3		MÉDIO
CAV-23	Supressão	PDE 3		ALTO
CAV-24	Supressão	Cava		ALTO
CAV-25	Supressão	PDE 3		MÉDIO
CAV-26	Interferência no entorno de 250 m	PDE 3		MÉDIO

CAV-27	Interferência no entorno de 250 m	PDE 3	ALTO
CAV-28	Supressão	PDE 3	MÉDIO
CAV-29	Supressão	PDE 3	ALTO
CAV-30	Interferência no entorno de 250 m	PDE 2	ALTO
CAV-31	Interferência no entorno de 250 m	Cava	MÉDIO
CAV-32	Supressão	PDE 2	MÉDIO
CAV-33	Interferência no entorno de 250 m	Cava	MÉDIO
CAV-34	Interferência no entorno de 250 m	Cava/PDE 3	MÁXIMO
CAV-35	Interferência no entorno de 250 m	PDE 3	ALTO
CAV-36	Supressão	PDE 3	ALTO
CAV-37	Supressão	Outras estruturas	ALTO
CAV-38	Supressão	PDE 3	ALTO
CAV-39	Supressão	PDE 3	MÉDIO
CAV-40	Supressão	PDE 3	ALTO
CAV-41	Supressão	PDE 3	ALTO
S11-01	Nenhum		ALTO
S11-02	Interferência no entorno de 250 m	Outras estruturas	MÉDIO
S11-03	Nenhum		MÉDIO
S11-04	Nenhum		ALTO
S11-05	Nenhum		ALTO
S11-06	Nenhum		MÉDIO
S11-07	Nenhum		MÁXIMO
S11-08	Interferência no entorno de 250 m	Outras estruturas	ALTO
S11-09	Nenhum		ALTO
S11-10	Nenhum		ALTO
S11-11	Nenhum		ALTO
S11-12	Nenhum		ALTO
S11-13	Nenhum		ALTO
S11-14	Nenhum		ALTO
S11-15	Nenhum		ALTO
S11-16	Nenhum		ALTO
S11-17	Nenhum		ALTO
S11-18	Nenhum		ALTO
S11-19	Nenhum		ALTO
S11-20	Nenhum		ALTO
S11-21	Nenhum		ALTO
S11-22	Supressão	PDE 1	ALTO
S11-23	Interferência no entorno de 250 m	PDE 1	ALTO
S11-24	Interferência no entorno de 250 m	PDE 1	ALTO
S11-25	Interferência no entorno de 250 m	Outras estruturas	ALTO
S11-26	Nenhum		ALTO

S11-27	Nenhum			ALTO
S11-28	Nenhum			ALTO
S11-29	Nenhum			ALTO
S11-30	Nenhum			ALTO
S11-31	Supressão	PDE 1		ALTO
S11D-001	Nenhum			MÁXIMO
S11D-002	Supressão	Cava		ALTO
S11D-003	Supressão	Cava		ALTO
S11D-005	Supressão	Cava		ALTO
S11D-006	Supressão	Cava		ALTO
S11D-007	Supressão	Cava		MÉDIO
S11D-008	Supressão	Cava		MÉDIO
S11D-009	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-01	ALTO
S11D-010	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-01	ALTO
S11D-011	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-01/S11D-12	ALTO
S11D-012	Interferência no entorno de 250 m	Cava		MÁXIMO
S11D-013	Supressão	Cava		ALTO
S11D-014	Supressão	Cava		ALTO
S11D-015	Interferência no entorno de 250 m	Cava		ALTO
S11D-016	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-12	MÉDIO
S11D-017	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-01	ALTO
S11D-018	Supressão	Cava		MÉDIO
S11D-019	Supressão	Cava		MÉDIO
S11D-020	Interferência no entorno de 250 m	Cava/PDE 3		MÉDIO
S11D-021	Interferência no entorno de 250 m	Cava/PDE 3		ALTO
S11D-022	Interferência no entorno de 250 m	Cava/PDE 3		ALTO
S11D-023	Interferência no entorno de 250 m	Cava/PDE 3		MÉDIO
S11D-024	Interferência no entorno de 250 m	Cava		ALTO
S11D-025	Supressão	PDE 3		ALTO
S11D-026	Interferência no entorno de 250 m	Cava		ALTO
S11D-027	Supressão	Cava		ALTO
S11D-028	Supressão	Cava		MÉDIO
S11D-029	Supressão	Cava		MÉDIO
S11D-030	Interferência no entorno de 250 m	Cava/Outras estruturas	Entorno S11D-35	MÉDIO
S11D-031	Interferência no entorno de 250 m	Cava/Outras estruturas	Entorno S11D-35	ALTO
S11D-032	Interferência no entorno de 250 m	Cava/Outras estruturas	Entorno S11D-35	ALTO

S11D-033	Interferência no entorno de 250 m	Cava/Outras estruturas	Entorno S11D-35	ALTO
S11D-034	Interferência no entorno de 250 m	Cava/Outras estruturas	Entorno S11D-35	MÉDIO
S11D-035	Nenhum			MÁXIMO
S11D-036	Interferência no entorno de 250 m	Cava/Outras estruturas	Entorno S11D-35	ALTO
S11D-037	Interferência no entorno de 250 m	Cava/PDE 3		ALTO
S11D-038	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-39	ALTO
S11D-039	Interferência no entorno de 250 m	Cava		MÁXIMO
S11D-040	Nenhum			MÁXIMO
S11D-041	Interferência no entorno de 250 m	Cava/Outras estruturas/PDE 2	Entorno S11D-40	ALTO
S11D-042	Interferência no entorno de 250 m	Cava/Outras estruturas/PDE 2	Entorno S11D-40	ALTO
S11D-043	Interferência no entorno de 250 m	Cava/PDE 2		ALTO
S11D-044	Supressão	Outras estruturas		ALTO
S11D-045	Interferência no entorno de 250 m	Outras estruturas		ALTO
S11D-046	Interferência no entorno de 250 m	Outras estruturas		MÉDIO
S11D-047	Supressão	Outras estruturas		MÉDIO
S11D-048	Supressão	Outras estruturas		ALTO
S11D-049	Supressão	Cava		ALTO
S11D-050	Supressão	Cava		MÉDIO
S11D-051	Supressão	Cava		ALTO
S11D-052	Supressão	Cava		ALTO
S11D-053	Supressão	Cava		ALTO
S11D-054	Supressão	Cava		ALTO
S11D-055	Supressão	Cava		ALTO
S11D-056	Supressão	Cava		MÉDIO
S11D-057	Supressão	Cava		ALTO
S11D-058	Supressão	Cava		ALTO
S11D-059	Interferência no entorno de 250 m	Cava		ALTO
S11D-060	Nenhum			MÁXIMO
S11D-061	Nenhum		Entorno S11D-60/64/81	ALTO
S11D-062	Nenhum		Entorno S11D-60/64/81	ALTO
S11D-063	Nenhum		Entorno S11D-64	MÉDIO
S11D-064	Nenhum			MÁXIMO
S11D-065	Nenhum		Entorno S11D-64	ALTO

S11D-066	Nenhum		Entorno S11D-64/78/79/80/81	ALTO
S11D-067	Nenhum		Entorno S11D-64/78/79/80/81	MÉDIO
S11D-068	Supressão	Cava		ALTO
S11D-069	Supressão	Cava		ALTO
S11D-070	Supressão	Cava		ALTO
S11D-071	Supressão	Cava		ALTO
S11D-072	Supressão	Cava		ALTO
S11D-073	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-78	MÉDIO
S11D-074	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-78	ALTO
S11D-075	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-78/79/80	MÉDIO
S11D-076	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-78/79/80/81	ALTO
S11D-077	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-78/79/80/81	ALTO
S11D-078	Nenhum			MÁXIMO
S11D-079	Nenhum			MÁXIMO
S11D-080	Nenhum			MÁXIMO
S11D-081	Nenhum			MÁXIMO
S11D-082	Nenhum		Entorno S11D-64/78/79/80/81	ALTO
S11D-083	Nenhum			MÁXIMO
S11D-084	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-83	MÉDIO
S11D-085	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-83	ALTO
S11D-086	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-83	ALTO
S11D-087	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-83	ALTO
S11D-088	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-83	ALTO
S11D-089	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-83	ALTO
S11D-090	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-83	ALTO
S11D-091	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-83	ALTO
S11D-092	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-83	ALTO
S11D-093	Supressão	Cava		ALTO
S11D-094	Supressão	Cava		ALTO
S11D-095	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-96	ALTO
S11D-096	Nenhum			MÁXIMO
S11D-097	Supressão	Cava		ALTO
S11D-098	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-39	ALTO

S11D-099	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-39	MÉDIO
S11D-100	Interferência no entorno de 250 m	Cava	Entorno S11D-39	ALTO
S11D-101	Nenhum			ALTO
S11D-102	Nenhum			ALTO

A Tabela 31 sumariza o balanço da conservação e dos impactos potenciais nas cavernas do Projeto S11D.

Tabela 31. Síntese da conservação e dos impactos potenciais nas cavernas em decorrência da instalação do Projeto S11D.

Situação das cavidades	Quantidade de cavernas	N. de cavernas e Grau de relevância
Cavernas conservadas – relevância máxima	15 (9%)	15 Máximo
Cavernas no entorno de 250 m das cavernas de máxima	38 (21,9%)	30 Alto
		8 Médio
Cavernas que terão interferências no entorno de 250 m	69 (39,9 %)	3 Máximo
		50 Alto
		16 Médio
Cavernas com previsão de impactos irreversíveis – instalação da cava	42 (24,3%)	31 Alto
		11 Médio
Cavernas com previsão de impactos irreversíveis – instalação das pilhas	14 (8%)	10 Alto
		4 Médio
Cavernas com previsão de impactos irreversíveis – instalação de outras estruturas do Plano Diretor	4 (2,3%)	3 Alto
		1 Médio
Cavernas que não serão afetadas pelo Plano Diretor	44 (25,4%)	12 Máximo
		28 Alto
		4 Médio
Cavernas de alta relevância que não sofrerão impactos irreversíveis	78 (45,1%)	
Cavernas de alta relevância que sofrerão impactos irreversíveis	44 (25,4%)	
Cavernas de média relevância que não sofrerão impactos irreversíveis	20 (11,6%)	
Cavernas de média relevância que sofrerão impactos irreversíveis	16 (9,2%)	

• Medidas compensatórias

Com exceção das 15 cavernas de relevância máxima, todas as demais cavernas podem, de acordo com a legislação atual, ser impactadas de forma irreversível mediante ações de compensação e anuência do órgão ambiental no processo de licenciamento.

No caso de empreendimento que ocasione impacto negativo irreversível em cavidade natural subterrânea com grau de relevância alto, o empreendedor deverá compensar com duas cavidades naturais subterrâneas, com o mesmo

grau de relevância, de mesma litologia e com atributos similares à que sofreu o impacto, que serão consideradas cavidades testemunho (Art. 4º, § 1º do Decreto 6.640).

Conforme previsto no art.4º § 3º, não havendo, na área do empreendimento, outras cavidades representativas que possam ser preservadas sob a forma de cavidades testemunho, o Instituto Chico Mendes poderá definir, de comum acordo com o empreendedor, outras formas de compensação.

No caso de impactos irreversíveis em cavidades de média relevância, o empreendedor deverá adotar medidas e financiar ações que contribuam para a conservação e o uso adequado do patrimônio espeleológico brasileiro, segundo o Art. 4, § 4o do Decreto Federal N.6.640.

As propostas de compensação serão elaboradas pela Vale.

- **O resgate de componentes físicos, biológicos e histórico cultural**

De acordo com o Art. 19 da IN. 2, qualquer impacto negativo irreversível nas cavidades 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 o resgate, transporte adequado e a destinação a coleções científicas institucionais.

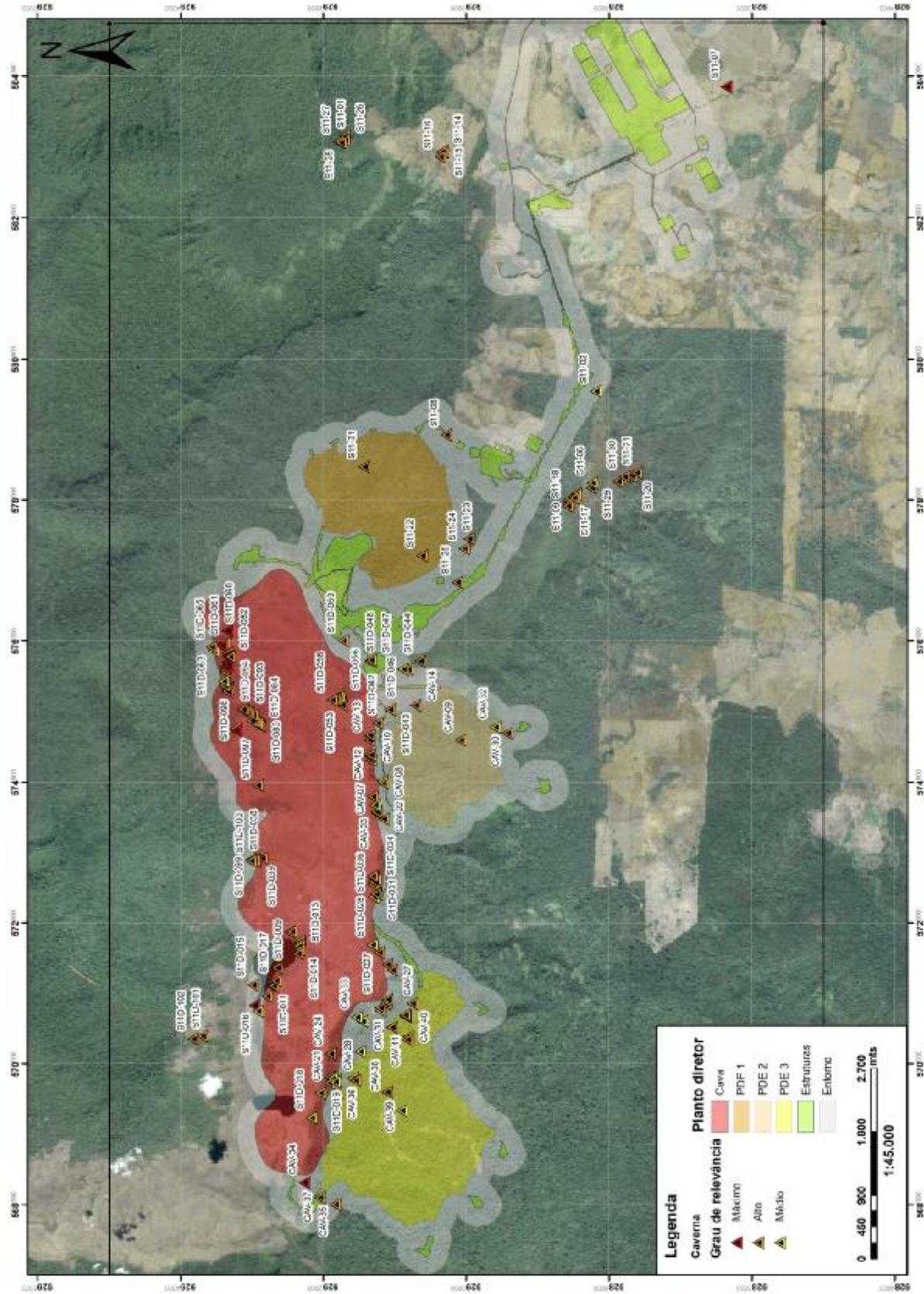


Figura 108. Distribuição das cavernas estudadas no Plano Diretor de S11D.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7.1. Geoespeleologia

ARAÚJO O.J.B., MAIA R.G.N. 1991. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. Projeto especial maps de recursos minerais, de solos e de vegetação para a área do Programa Grande Carajás. *Subprojeto Recursos Minerais. Serra dos Carajás, Folha SB.22-Z-A. Brasília: DNPM/Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais*, 152p.

ARAÚJO O.J.b., MAIA R.G.N., JOÃO X.S.J., COSTA J.B.S. 1988. A megaestruturação arqueana da folha Serra dos Carajás. In: *Congresso Latino-Americano de Geologia, 7*, Belém, Anais, 1: 324-328.

AULER, A.S; PILÓ, L.B. 2005. Introdução às cavernas em minério de ferro e canga. *O Carste* 17(3): 70-72.

ATZINGEN, V. N.; CRESCÊNCIO, G. 1999. Estudos espeleológicos em Serra Pelada, Curionópolis – PA. *Boletim Informativo da Fundação Casa da Cultura de Marabá*, 1: 63-72.

BEISIEGEL V.R., BERNARDELLI A.L., DRUMMOND N.F., RUFF A.W., TREMAINE J.W. 1973. Geologia e recursos minerais da Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, 3(4): 215-242.

BRASIL. INSTRUÇÃO NORMATIVA MMA Nº 2, DE 20 DE AGOSTO DE 2009. Dispõe sobre a metodologia e critérios para classificação de cavidades naturais subterrâneas e dá outras providências.

BRASIL. DECRETO Nº 6.640, DE 7 DE NOVEMBRO DE 2008. Dá nova redação aos arts. 1º, 2º, 3º, 4º e 5º e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto no 99.556, de 1º de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. Publicação DOU: Seção 1 - Nº 218, 10/11/2008.

BRASIL. PORTARIA nº 230, de 17 de dezembro de 2002, do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – IPHAN, dispõe sobre regras de proteção e preservação do patrimônio arqueológico nacional.

DOCEGEO (Rio Doce Mineração S. A.). Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. Anexos XXX. Belém: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 1988. 11- 54p.

DORR, J.N. 1969. Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *United States Geological Survey Professional Paper* 641-A, 110p.

GIBBS A.K., WIRTH K.R., HIRATA W.K., OLSZEWSKI Jr. W.J. 1986. Age and composition of the Grão Pará Group volcanic, Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, 16(2): 201-211.

GRUPO ESPELEOLÓGICO DE MARABÁ/FUNDAÇÃO CASA DE CULTURA DE MARABÁ – GEM/FCCM. 2004. Espeleologia: relatório da 1ª etapa de campo. Carajás – Serra Sul/Corpo D. *Relatório Inédito*. 47p.

GRUPO ESPELEOLÓGICO DE MARABÁ/FUNDAÇÃO CASA DE CULTURA DE MARABÁ – GEM/FCCM. 2005. Espeleologia: relatório da 2ª etapa de campo. Carajás – Serra Sul/Corpo D. *Relatório Inédito*. 51p.

GRUPO ESPELEOLÓGICO DE MARABÁ/FUNDAÇÃO CASA DE CULTURA DE MARABÁ – GEM/FCCM. 2008. Relatório de Caracterização e Documentação Básica das Cavidades Naturais da Área de Instalação das Estruturas de Apoio (Usina, Barragem e Instalações) ao Projeto Serra Sul, Serra dos Carajás, Canaã dos Carajás – PA. *Relatório Inédito*. 210 p.

GUILD, P.W. 1957. Geology and Mineral Resources of the Congonhas District. *United States Geological Survey Professional Paper 290*, 90 p.

HENWOOD, W.J. 1871. On the gold mines of Minas Geraes. – in: Observations on metalliferous deposits. *Transactions of the Royal Geological Society of Cornwall* 8: 168-370.

MACAMBIRA, M.J.B.; RAMOS, J.F.F.; ASSIS, J.F.P.; FIGUEIRAS, A.J.M. 1990. Projeto Serra Norte e Projeto Pojuca. Convênio SEPLAN/DOCEGEO/UFPA/DNPM. *Relatório final*. 150 p.

MAURITY, C.W. & KOTSCHOUBEY, B. 1995. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 – Serra dos Carajás-PA. Degradação, pseudocarstificação, espeleotemas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra* 7: 331-362.

MAURITY, C.W.; KOTSCHOUBEY, B. 2005. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 – Serra dos Carajás-PA. Degradação, pseudocarstificação, espeleotemas. *O Carste* 17(3): 78-91.

PILÓ, L.B; ANDRADE, R. 2006. *Estudos espeleológicos na área da Mina N5S, Serra dos Carajás*. CVRD/PRCZ. 170p. Relatório inédito, 216p.

PILÓ, L. B. & AULER, 2005. Cavernas de minério de ferro e canga de Capão Xavier, Quadrilátero Ferrífero, MG. *O Carste* 17(3): 92-105.

PILÓ, L. B. & AULER, 2006. Estudos geoespeleológicos na mina do Pico do Itabirito, MG. Minerações Brasileiras Reunidas - MBR. *Relatório Inédito*, 380p.

PILÓ, L.B; AULER, A.S. 2007. Mineralogia de espeleotemas das grutas de minério de ferro de Capão Xavier, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. II Encontro Brasileiro de Estudos do Carste – 26 a 28 de julho de 2007 – Instituto de Geociências, IG-USP. *Caderno de Resumos*; pagina 32.

PILÓ, L.B. & AULER, A.S. 2009. Geoespeleologia das cavernas em rochas ferríferas da região de Carajás, PA. *XXX Congresso Brasileiro de Espeleologia. Montes Claros. Anais...Montes Claros*: SBE, 2009. p. 181-186.

PINHEIRO, R.V.L.; HENRIQUES, A.L.; SILVEIRA, L.T.; MAURITY, C.W. 1985. Considerações Preliminares sobre a Espeleologia da Serra dos Carajás (PA). Grupo Espeleológico Paraense. *Relatório inédito*, 38p.

PINHEIRO, R.V.L.; MAURITY, C.W. 1988. As cavernas em rochas intempéricas da Serra dos Carajás (PA) – Brasil. *Anais 1º Congresso de Espeleologia da América Latina e do Caribe*, Belo Horizonte, pp. 179-186.

PINHEIRO R.V.L., HOLDSWORTH R.E. 1997. The structure of the Carajás N-4 ironstone deposit and associated rocks: relationship to the archaean strike-slip tectonics and basement reactivation in the Amazon region, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 10(3-4): 305-319.

PISSIS, N.A. 1842. Mémoire sur la position géologique des terrains de la partie australe du Brésil et sur les soulèvements qui, à diverses époques, ont changé le relief de cette contrée. *Memoire de L' Institute de France* 10: 353-413.

RIBEIRO, D.T. 2003. *Enriquecimento Supergênico de Formações Ferríferas Bandadas: Estruturas de Colapso e Desordem*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 124 p. (Tese de doutorado).

RUBBIOLI, E. & MOURA, V. 2005. *Mapeamento de cavernas: guia prático*. São Paulo. Redespeleo Brasil. 92 p.

SIMMONS, G.C. 1963. Canga caves in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *The National Speleological Society Bulletin* 25: 66-72.

SPIER, C.A. 2005. *Geoquímica e gênese das formações ferríferas bandadas e do minério de ferro da mina de Águas Claras, Quadrilátero Ferrífero, MG*. Instituto de Geociências, USP. (Tese de Doutorado).

TASSINI, R. 1947. *Verdades Históricas e Pré-históricas de Belo Horizonte*. Belo Horizonte, editora do autor.

TOLBERT, G.E.; TREMAINE, J.W.; MELCHER, G.C.; GOMES, C.B. 1971. The recently discovered Serra dos Carajás iron deposits, northern Brazil. *Economic Geology* 66: 985-994.

TRENDALL A. F., BASEI M.A.S., LAETER J. R., Nelson D. R. 1998. SHRIMP zircon U-Pb constraints on the age of the Carajás Formation, Grão Pará Group, Amazon Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, 11(3): 265-277.

7.2. Bioespeleologia

ALVARES, E. S. S. & R. L. FERREIRA. 2002. Coarazuphium pains, a new species of troglobiti beetle from Brazil (Coleoptera: Carabidae: Zuphiini). *Lundiana*, 3: 41-43.

ANDRADE, R. 2007. Fauna cavernícola da FLONA Carajás, Pará. II *Encontro Brasileiro de Estudos do Carste*. Resumos. p.106.

CULVER, D. C. & H. WILKENS. 2000. Critical review of the relevant theories of the evolution of subterranean animals. Pp. 381-398. In: Wilkens, H, D.C. Culver & W.F. Humphreys (Eds.), *Ecosystems of the world - subterranean biota*. Elsevier, Amsterdam. 791 p.

DASILVA, M. B., R. PINTO-DA-ROCHA & G.GIRIBET. 2010. Canga renatae, a new genus and species of Cyphophthalmi from Brazilian Amazon cave (Opiliones: Neogoveidae). *Zootaxa*, 2508: 45-55.

FERREIRA, R.L. 2005. A vida subterrânea nos campos ferruginosos. *O Carste*, 17(3).

GNASPINI, P. & E. TRAJANO. 1994. Brazilian cave invertebrates, with a checklist of troglomorphic taxa. *Revista Brasileira da Entomologia*, 38 (3/4): 549 - 584.

GNASPINI, P. 2004. Guano communities. Pp. 276-283. In: Culver, D.C. & W.B. White (Eds.), *Encyclopedia of caves*. Elsevier, Amsterdam. 680 p.

GOLDER ASSOCIATES BRASIL CONSULTORIA E PROJETOS LTDA. 2009. *Estudo área mínima de canga. Tema: espeleologia*. Documento RT-005_089-515-5023_00-J. Documento Inédito. 114 p.

HAMMER, O.; D. A. T. HARPER & P. D. RYAN, 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp.

HOLSINGER, J. R. & D. C. CULVER. 1988. The invertebrate cave fauna of Virginia and a part of Eastern Tennessee: *Zoogeography and ecology*. *Brimleyana*, 14: 1 - 162.

JUBERTHIE, C. 2000. The diversity of the karstic and pseudokarstic hypogean habitats in the world. Pp. 17-40. In: Wilkens, H, D.C. Culver & W.F. Humphreys (Eds.), *Ecosystems of the world - subterranean biota*. Elsevier, Amsterdam. 791 p.

MAHNERT. 2001. Cave-dwelling pseudoscorpions (Arachnida, Pseudoscorpiones) from Brazil. *Revue Suisse de Zoologie*, 108(1): 95-148.

MMA. 2008. Invertebrados Terrestres. Machado, A. B. M. et. all. (autores). p. 303 - 487. *Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção*. Vol. 1. Ministério do Meio Ambiente. Machado, A. B. M. et al. (editores). Distrito Federal, Brasil. 2008. Página da internet: http://www.mma.gov.br/estruturas/179/_arquivos/vol_i_invertebrados_terrestres.pdf. Acesso em 05 de dezembro de 2010.

MOREIRA, J.R.A. & R.S. PAIVA. 1988. Levantamento bioespeleológico preliminar da Serra dos Carajás – Pará – Brasil. *Anais Congresso de Espeleologia da América do Sul e Caribe*: 142-150.

PAIVA, R.S. & J.R.A. MOREIRA. 1988. Levantamento bioespeleológico preliminar das Grutas do Piriá – Pará – Brasil. *Anais Congresso de Espeleologia da América do Sul e Caribe*: 132-141.

PINHEIRO, R.V.L.; C.W. MAURITY; A.L. HENRIQUES; L.T. SILVEIRA; J.R.A. MOREIRA; P.R.C. LOPES; O.T. SILVEIRA; R.S. PAIVA; A.L.F.A. LINS; C.U.V. VERÍSSIMO; S.H.S. ARCANJO; D.C. KERN; E.A. KRAUSE; M.F. LIMA-FILHO; J.B.ROCHA; W. SANTOS. 2001. As grutas bauxíticas da Serra do Piriá – PA. *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi, série Ciências da Terra*, 13: 65-97.

PINTO-DA-ROCHA, R. 1995. Sinopse da fauna cavernícola do Brasil (1907-1994). *Papéis Avulsos de Zoologia*, 39 (6): 61 - 173.

POULSON, T. L. & K. H. LAVOIE. 2000. The trophic basis of subsurface ecosystems. Pp. 231-250. In: Wilkens, H, D.C. Culver & W.F. Humphreys (Eds.), *Ecosystems of the world - subterranean biota*. Elsevier, Amsterdam. 791 p.

REIS, N. R; A. L. PERACCHI; W. A. PEDRO & I. P. Lima. 2007. *Morcegos do Brasil*. EDUEL, Londrina. 253p.

TRAJANO, E. & M. E. BICHUETTE. 2006. *Biologia subterrânea: introdução. Redespeleo*. São Paulo. 92pp.

ANEXO I – Fichas de geoespeleologia

ANEXO II – Mapas das cavernas

ANEXO III – Amostra de cavernas nas escalas local e regional utilizada na análise de relevância

ANEXO IV – Fichas bioespeleológicas

**ANEXO V – Listas de táxons, abundância relativa para
espécies maiores que 1cm e zonação de registro
(entrada, penumbra e afótica)**

ANEXO VI - Ocorrência e tamanho populacional estimado de morcegos em cavidades de S11D.

ANEXO VII - Riqueza absoluta (1a e 2a campanha; C - comuns às duas campanhas; T - total) e resultado da análise de abundância (% de espécies que apresentam abundância relativa alta para 1a e 2ª campanhas) para as cavidades estudadas em S11D.

ANEXO VIII - Direito de Recusa