

SERRA DA BOCAINA - ESPELEOLOGIA



MAIO 2014

DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DE RELEVÂNCIA



Estudo diagnóstico e análise de relevância de 235 cavernas da Serra da Bocaina, Canaã dos Carajás, PA.

Atendimento de condicionante da Licença Prévia N. 436/2012 do Projeto Ferro Carajás S11D definida pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis - IBAMA

SERRA DA BOCAINA - ESPELEOLOGIA

DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DE RELEVÂNCIA

EMPRESA RESPONSÁVEL POR ESTE RELATÓRIO

Razão social: Carste Consultores Associados Ltda http: www.carste.com.br

CNPJ: 08.000.418/0001-00 Telefone: (31) 2552-9976

Endereço: Rua Brasópolis, 139. Floresta
Belo Horizonte, MG
CEP 30150-170

EQUIPE TÉCNICA DA CARSTE CONSULTORES ASSOCIADOS

ESTA EQUIPE PARTICIPOU DA ELABORAÇÃO DESTE DOCUMENTO E RESPONSABILIZA-SE TECNICAMENTE POR SUAS RESPECTIVAS ÁREAS

TÉCNICO	FORMAÇÃO PROFISSIONAL	RESPONSABILIDADE NO PROJETO
Luis B. Piló	Geógrafo	Coordenação Geral, geoespeleologia e relatório final
Ataliba Coelho	Geógrafo	Geoespeleologia e relatório final
Gustavo de Araújo Soares	Biólogo	Análise biológica e relatório final
Flávia Pellegatti Franco	Bióloga	Análise biológica e relatório final
Cláudio Augusto Souza	Biólogo	Coordenação de campo da Biologia

Conteúdo

INTRODUÇÃO	8	
PROCEDIMENTOS UTILIZADOS	9	
PROSPECÇÃO	9	
TOPOGRAFIA.....	9	
GEOESPELEOLOGIA	11	
Levantamento bibliográfico	11	
Trabalhos de campo.....	11	
Análise litológica e das estruturas	11	
Análise morfológica.....	12	
Análise da hidrologia.....	12	
Análise dos depósitos clásticos, orgânicos e químicos	12	
BIOESPELEOLOGIA	12	
CONTEXTO GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO E ESPELEOLOGIA REGIONAL	16	
GEOLOGIA.....	16	
Formação Parauapebas.....	17	
Formação Carajás	18	
Tectônica.....	19	
GEOMORFOLOGIA	20	
ESPELEOLOGIA REGIONAL	21	
APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	26	
PROSPECÇÃO	26	
GEOESPELEOLOGIA	29	
Inserção na paisagem.....	34	
Litologia e estruturas	40	
Espeleometria.....	54	
Morfologia	61	
Hidrologia	75	
Depósitos SEDIMENTARES clásticos	81	
Depósitos SEDIMENTARES químicos - espeleotemas	85	
Aspectos espeleogenéticos e cronológicos	96	
Aspectos sócio econômicos, culturais e estado de conservação	99	
BIOESPELEOLOGIA.....	104	
Ambiente cavernícola.....	104	
Considerações sobre a fauna inventariada.....	110	
Análises.....	128	
ANÁLISE DE RELEVÂNCIA	130	
MÉTODO	130	
Discriminação litológica	130	
Escala de análise	130	
Graus de relevância	131	
RESULTADOS DA ANÁLISE DE RELEVÂNCIA DAS CAVERNAS DA SERRA DA BOCAINA 132		
A análise contempla 235 cavidades nos três grupos litológicos anteriormente descritos.		132
Relevância máxima.....		132
Importância acentuada sob enfoque local e regional		137

Importância acentuada sob enfoque local.....	144
Importância significativa sob enfoque local e regional	148
Importância significativa sob enfoque local.....	154
CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A RELEVÂNCIA DAS CAVIDADES E A COMPENSAÇÃO DAS CAVERNAS DO PROJETO S11D NA SERRA DA BOCAINA.....	160
Alterações nos valores de relevância das cavidades entre os dois estudos espeleológicos da Serra da Bocaina.....	170
As relações de similaridade entre os atributos da Serra da Bocaina e Serra Sul (Corpo D)	171
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	174
GEOESPELEOLOGIA	174
BIOESPELEOLOGIA.....	177
ANEXOS	179
ANEXO I – Fichas de geoespeleologia.....	179
ANEXO II – Mapas topográficos das cavernas.....	179
ANEXO III – Fichas de bioespeleologia	179
ANEXO IV – Listas de táxons coletados + observados com abundância relativa de cada espécie maior que 1cm (S – campanha seca; U – campanha úmida; Ab. – abundância relativa da espécie; ZON – zonação de ocorrência do táxon; vermelho - táxons troglomórficos)	179
ANEXO V - Riqueza absoluta (U – campanha úmida; S – campanha seca) e resultado da análise de abundância (% de espécies que apresentam abundância relativa alta para campanhas úmida e seca) para as cavidades estudadas em Serra da Bocaina	179
ANEXO VI – Amostras de cavernas nas escalas local e regional utilizadas na análise de relevância espeleométrica	179
ANEXO VII – Mapa geral das cavernas da Serra da Bocaina.....	179

Lista de Figuras

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.	8
FIGURA 2 - MEDIÇÃO DA PROJEÇÃO HORIZONTAL DE ACORDO COM O MÉTODO DA DESCONTINUIDADE.....	10
FIGURA 3 - MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO DA PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS. A ELIPSE EM PRETO DESTACA A LOCALIZAÇÃO DA SERRA DA BOCAINA.....	20
FIGURA 4 - MACROUNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DA PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS: PLANALTO DISSECADO RESIDUAL E DEPRESSÃO PERIFÉRICA INTERPLANÁLTICA. A LINHA TRACEJADA DESTACA O LIMITE APROXIMADO ENTRE OS DOIS COMPARTIMENTOS.	21
FIGURA 5 - QUADRO ESPELEOGENÉTICO ESQUEMÁTICO PARA AS CAVERNAS DA SERRA DOS CARAJÁS (PA): ESTÁGIO 1 – PROCESSO INICIAL DE DISSOLUÇÃO DA ROCHA, PREFERENCIALMENTE NOS PLANOS DE FALHAS E/OU FRATURAS E NOS LOCAIS DE MARCANTES CONTRASTES LITO-FACIOLÓGICOS E TEXTURAS; ESTÁGIO 2 – VARIAÇÕES DO NÍVEL HIDROSTÁTICO. FORMAÇÃO DE PEQUENAS CAVIDADES DE DISSOLUÇÃO, ISOLADAS, NO TOPO DA ZONA FREÁTICA. PEQUENAS CAVIDADES EM ZONA VADOSA; ESTÁGIO 3 – FORMAÇÃO DE PROTO-CAVERNAS NA ZONA VADOSA, RESULTANTES DA INTERAÇÃO DO FLUXO D`ÁGUA SUBTERRÂNEO, INTEMPERISMO QUÍMICO E EROÇÃO FLUVIAL NAS ENCOSTAS, SOBRE A ZONA PREVIAMENTE PREPARADA PELA DISSOLUÇÃO INICIAL; ESTÁGIO 4 – FORMAÇÃO DE CAVERNAS, A PARTIR DE PROCESSOS DE INCASÃO DAS PROTO-CAVERNAS COM AÇÃO CONTÍNUA DO FLUXO SUBTERRÂNEO EM DIREÇÃO ÀS ENCOSTAS E AO NÍVEL HIDROSTÁTICO. MODIFICADO DE PINHEIRO ET AL. (1985) APUD CALUX (2013).	22
FIGURA 6 - ESQUEMA EVOLUTIVO PARA AS CAVERNAS EM ROCHAS INTEMPÉRICAS DA SERRA DOS CARAJÁS. 1) FORMAÇÃO DA CROSTA FERRUGINOSA E DIFERENCIAÇÃO DA CANGA A PARTIR DE PROCESSOS INTEMPÉRICOS SOBRE ROCHAS VARIADAS. 2) IMPLANTAÇÃO DE RELEVO E OSCILAÇÕES DO NÍVEL FREÁTICO. IMPLANTAÇÃO DE CAVIDADES SUBTERRÂNEAS EM ZONAS DE CONCENTRAÇÕES DE COMPOSTOS INSTÁVEIS RESULTANTES DOS PROCESSOS DE FORMAÇÃO DA CANGA. 3) EM REGIME VADOSO, ATUAÇÃO DE AGENTES HIDRÁULICOS. FASE DE EROÇÃO FÍSICA E DESMORONAMENTO DE BLOCOS. MODIFICADO DE PINHEIRO & MAURITY (1988) APUD CALUX (2013).	23
FIGURA 7 - PRINCIPAIS SERRAS DA REGIÃO DE CARAJÁS ONDE OCORREM AS CAVERNAS.	24
FIGURA 8 - MAPA DOS CAMINHAMENTOS DE PROSPECÇÃO E DE LOCALIZAÇÃO DAS CAVERNAS IDENTIFICADAS.....	28
FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAVIDADES POR COMPARTIMENTO DO RELEVO.....	34
FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO DAS SUPERFÍCIES CIMEIRAS (DESTACADOS EM BRANCO) ONDE SE DESTACAM AS FORMAÇÕES FERRÍFERAS E COBERTURAS DE CANGA NA SERRA DA BOCAINA. AS CAVERNAS ESTÃO INDICADAS COM PONTOS VERMELHOS. IMAGEM: DIGITALGLOBE, 2012; GEOEYE, 2012. FONTE: GOOGLE EARTH, 2012.	35
FIGURA 11 - VISTA DO COMPARTIMENTO DE CIMEIRA, COM TRECHO OCUPADO POR SAVANA EM PRIMEIRO PLANO. ESTA SUPERFÍCIE APLAINADA ESTÁ ASSOCIADA À COBERTURA LATERÍTICA. AO FUNDO UM FRAGMENTO DE FLORESTA SE INSTALADA EM UMA RUPTURA DA COBERTURA LATERÍTICA.	35
FIGURA 12 - VISTA DA BORDA DO COMPARTIMENTO DE CIMEIRA, ONDE O ESCARPAMENTO ABRUPTO MARCA A TRANSIÇÃO DA SUPERFÍCIE APLAINADA E AS VERTENTES INCLINADAS DO PLANALTO DISSECADO. ESTE SETOR ABRIGA 25% DAS CAVERNAS DE BOCAINA. NO DETALHE A ENTRADA DE UMA CAVERNA NA BASE DO ESCARPAMENTO; A SETA INDICA SUA POSIÇÃO APROXIMADA.	36
FIGURA 13 - VISTA DA DEPRESSÃO PERIFÉRICA, COM SUPERFÍCIE APLAINADA NO PRIMEIRO PLANO. NO DETALHE, UMA RUPTURA DA SUPERFÍCIE SUSTENTADA PELO FERRICRETE, ONDE ESTÃO INSERIDAS AS CAVERNAS.	37
FIGURA 14 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAVERNAS DE BOCAINA POR CLASSES HIPOMÉTRICAS.....	37
FIGURA 15 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAVERNAS NOS TRÊS SEGMENTOS DA VERTENTE.	38
FIGURA 16 - GRÁFICO BOXPLOT GERADO PARA A ALTITUDE, EM RELAÇÃO À POSIÇÃO NA VERTENTE DAS CAVERNAS DE BOCAINA.	38
FIGURA 17 - A) ESCARPA GERADA PELA RUPTURA DA COBERTURA DE CANGA NA ENTRADA DA CAVERNA SB-0010, LOCALIZADA NA BORDA DO PLANALTO RESIDUAL. B) RUPTURA DA COBERTURA DE FERRICRETE NA ENTRADA DA CAVERNA SB-0146, LOCALIZADA NA BORDA DE UMA DRENAGEM NO SOPÉ DO PLANALTO RESIDUAL.....	39
FIGURA 18 – NÚMERO DE CAVIDADES EM FUNÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE SUAS ENTRADAS.	40
FIGURA 19 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAVERNAS DA SERRA DA BOCAINA EM FUNÇÃO DO LITOTIPO.....	41
FIGURA 20 - JASPILITO NA CAVIDADE SB-0106: AS CAMADAS DE COLORAÇÃO CINZA, CONSTITUÍDAS DE HEMATITA PREDOMINAM SOBRE O JASPE (MANCHAS AVERMELHADAS).....	42
FIGURA 21 - MINÉRIO DE FERRO POUCO ALTERADO NA CAVERNA SB-0162 (A); MINÉRIO COM ALTO GRAU DE ALTERAÇÃO NA CAVIDADE SB-0046 (B).....	43
FIGURA 22 - PORCENTAGEM MÉDIA DOS ÓXIDOS DOS ELEMENTOS MAIORES DE 26 AMOSTRAS DE MINÉRIO DE FERRO DE SERRA NORTE ESTUDADOS POR FIGUEIREDO E SILVA (2009)* E PORCENTAGEM MÉDIA DE 62 AMOSTRAS DO JASPILITO ESTUDADAS POR MACAMBIRA & SCHRANK (2002)**	44
FIGURA 23 - VARIAÇÃO GRANULOMÉTRICA DA CANGA DETRÍTICA: A) CLASTOS COM TAMANHO SEIXO A CALHAU, COM PREDOMÍNIO DE SEIXOS (SB-0029) E B) COM PREDOMÍNIO DE CALHAUS (SB-0069).....	44
FIGURA 24 - CANGA QUÍMICA EM CONTATO COM A CANGA DETRÍTICA NA CAVERNA SB-0012.	45
FIGURA 25 - ÓXIDOS DOS ELEMENTOS MAIORES DE CINCO AMOSTRAS DA MATRIZ DE CANGA DETRÍTICA DE CAVERNAS DE SERRA SUL.	46
FIGURA 26 - A) METABASALTO ALTERADO NA CAVERNA SB-0007; B) DETALHE DE ESTRUTURAS DO TIPO BOXWORK, NA MESMA CAVERNA.	47

FIGURA 27 - ÓXIDOS DOS ELEMENTOS MAIORES DE 14 AMOSTRAS DE ROCHA MÁFICA ESTUDADA POR MEIRELLES & DARDENNE (1991) E TRÊS AMOSTRAS DE ROCHA MÁFICA ALTERADA DE CAVERNAS DE SERRA SUL (PILÓ & AULER, 2011).	47
FIGURA 28 - AFLORAMENTO DE FERRICRETE NA DEPRESSÃO PERIFÉRICA, PRÓXIMO AO SOPÉ DA SERRA DA BOCAINA. ENTRADA DA CAVERNA SB-0142.	48
FIGURA 29 - A) FERRICRETE ALTERADO DE COLORAÇÃO VARIEGADA (VERMELHO E AMARELO) COM POROSIDADE ELEVADA NA CAVERNA SB-0235; B) FERRICRETE DE COR AMARELA COM ALTERAÇÃO APENAS SUPERFICIAL COM PREDOMÍNIO DE GOETHITA NA CAVERNA SB-0169.....	49
FIGURA 30 - A) FERRICRETE COM SEIXOS NA CAVERNA SB-0001; B) FERRICRETE COM PREDOMÍNIO DE MATAÇÕES NA CAVERNA SB-0168.....	49
FIGURA 31 - A) FERRICRETE COM FÁCIE ARGILOSA SOTOPOSTA A NÍVEL CASCALHENTO NA CAVERNA SB-0238; B) NA CAVERNA SB-0229 O NÍVEL CASCALHENTO (SETA) ESTÁ NO MEIO DO PACOTE ARGILOSO.	50
FIGURA 32 - ÓXIDOS DOS ELEMENTOS MAIORES DE OITO AMOSTRAS DE FERRICRETE DE CAVERNAS DA REGIÃO DE CARAJÁS. FONTE: PILÓ & AULER, 2011.	50
FIGURA 33 - GRÁFICO BOXPLOT DAS RELAÇÕES ENTRE ALTITUDE E OS DIFERENTES LITOTIPOS.	51
FIGURA 34 - GRÁFICO DE ROSETA DA ATITUDE DA FORMAÇÃO FERRÍFERA (N=75): (A) DIREÇÃO E (B) MERGULHO DAS CAMADAS.	52
FIGURA 35 - A) GRÁFICO DE ROSETA DA DIREÇÃO DE FRATURAS (N=37); B) GRÁFICO DE ROSETA DOS EIXOS PRINCIPAIS DOS CONDUTOS (N=322).....	52
FIGURA 36 - FRATURA PREENCHIDA POR CROSTA NA CAVERNA SB-0049.	53
FIGURA 37 - ATITUDE DA FORMAÇÃO FERRÍFERA CONTROLANDO AS SEÇÕES E A DIREÇÃO DOS CONDUTOS NA CAVERNA SB-0024 (A), NOTA-SE SEÇÃO MAIS LARGA QUE ALTA CONDICIONADA PELO BAIXO ÂNGULO DO BANDAMENTO; NA SB-0046 (B) HÁ MAIOR DESENVOLVIMENTO VERTICAL EM FUNÇÃO DO ALTO ÂNGULO DO MERGULHO DA FORMAÇÃO FERRÍFERA.....	53
FIGURA 38 - DOBRA NA CAVIDADE SB-0022.....	54
FIGURA 39 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAVERNAS DA FORMAÇÃO FERRÍFERA POR CLASSES DE PROJEÇÃO HORIZONTAL.	55
FIGURA 40 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAVERNAS DE FERRICRETE POR CLASSES DE PROJEÇÃO HORIZONTAL.....	55
FIGURA 41 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAVERNAS NA FFB E CANGA POR CLASSES DE ÁREA.....	56
FIGURA 42 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAVERNAS DE FERRICRETE POR CLASSES DE ÁREA.	56
FIGURA 43 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAVERNAS DA FORMAÇÃO FERRÍFERA POR CLASSES DE VOLUME.	57
FIGURA 44 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAVERNAS EM FERRICRETE POR CLASSES DE VOLUME.	57
FIGURA 45 - GRÁFICO DE VALORES INDIVIDUAIS DA VARIÁVEL PH.	59
FIGURA 46 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAVERNAS DA SERRA DA BOCAINA EM FUNÇÃO DA MORFOLOGIA PLANIMÉTRICA.	62
FIGURA 47 - EXEMPLOS DE FORMAS PLANIMÉTRICAS DAS CAVERNAS DA SERRA DA BOCAINA: A) CÂMARA SIMPLES RETILÍNEA (SB-0005); B) CÂMARA SIMPLES RETANGULAR (SB-0056); C) CÂMARA SIMPLES SEMICIRCULAR (SB-0082); D) CÂMARA SIMPLES AFUNILADA (SB-0014); E) CÂMARA SIMPLES CURVILÍNEA (SB-0045); F) CÂMARA SIMPLES BIFURCADA (SB-0017); G) CÂMARA COMPOSTA ESPONGIFORME (SB-0114) E H) CÂMARA MISTA (SB-0052).	63
FIGURA 48 - PONTÕES ESTRUTURAIS NO TETO E DAS CAVERNAS SB-0210 (A) E SB-0025 (B).	63
FIGURA 49 - PENDENTES NAS CAVIDADES SB-0016 (A) E SB-0026 (B).	64
FIGURA 50 - CANALÍCULOS NAS CAVERNAS SB-0032 (A) E SB-0117 (B).	64
FIGURA 51 - RELAÇÃO ENTRE PERÍMETRO E NÚMERO DE CANALÍCULOS PARA AS CAVERNAS DE CAPÃO XAVIER, NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MG. A NUMERAÇÃO DAS CAVERNAS ESTÁ EM ALGARISMOS ROMANOS (FONTE: PILÓ & AULER, 2005).	65
FIGURA 52 - CÚPULAS DE TETO NAS CAVIDADES SB-0227 (A) E SB-0031 (B).	65
FIGURA 53 - CLARABOIAS NAS CAVIDADES SB-0084 (A) E SB-0030 (B).	66
FIGURA 54 - ALVÉOLOS DE ESPESSURA CENTIMÉTRICA NA CAVERNA SB-0238.....	66
FIGURA 55 - POROS TUBULARES MUITO PROVAVELMENTE DE ATIVIDADE BIOLÓGICA NA CAVIDADE SB-0076 (A) E SB-0229 (B).	67
FIGURA 56 - PILAR NA CAVIDADE SB-0016.....	67
FIGURA 57 - REMANESCENTE DE PALEOPISO NA CAVERNA SB-0026 (A) E MARMITA NO PISO DA CAVERNA SB-0199 (B).	68
FIGURA 58 - A) BOLSÕES SUBCIRCULARES DE DIMENSÃO CENTIMÉTRICA NA PAREDE DA CAVERNA SB-0169; B) BOLSÃO DE DIMENSÃO MÉTRICA COMPORTANDO NO INTERIOR BOLSÕES MENORES.....	68
FIGURA 59 - CAVIDADE SB-0090, UMA POSSÍVEL PALEOTOCA. NOTA-SE O PREDOMÍNIO DA FORMA DE TÚNEL COM ALTURA RARAMENTE SUPERIOR A 1,5 M EM TODA A EXTENSÃO DA GRUTA (A); SÃO FREQUENTES AS RANHURAS NAS PAREDES E TETO (B).	69
FIGURA 60 - FREQUÊNCIA DAS FEIÇÕES MORFOLÓGICAS NAS CAVERNAS DA SERRA DA BOCAINA.	70
FIGURA 61 - ENTRADA DA CAVERNA SB-0046 (SETA), NA MARGEM DA DRENAGEM, AO LADO DE UMA CACHOEIRA. APÓS A QUEDA É FORMADO UM POÇO QUE AVANÇA PARA O INTERIOR DA CAVERNA.....	76
FIGURA 62 - A) SURGÊNCIA PERENE NA CAVERNA SB-0007; B) NA CAVERNA SB-0168 O ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO SE INICIA EM PEQUENOS PONTOS DE INFILTRAÇÃO NA PAREDE DISTAL (SETA); C) POÇA PERENE NA CAVERNA SB-0212, A ÁGUA É RETIDA EM UMA BACIA FORMADA SOBRE O CAPEAMENTO DE CROSTA DO PISO.....	77
FIGURA 63 - A) VISTA DA ENTRADA DA CAVERNA SB-0026 ONDE SE PODE VER A DRENAGEM EXTERNA INVADINDO PARTE DO SALÃO PRINCIPAL. NOS PERÍODOS DE CHEIA A ÁGUA ATINGE TODO O CONDUTO. B) CANAL DE ESCOAMENTO TEMPORÁRIO NA CAVERNA SB-0025. A SURGÊNCIA, INATIVA NO MOMENTO DA VISITA, FICA NA PARTE DISTAL DA GRUTA.	78

FIGURA 64 - MODELO HIPOTÉTICO DA HIDROLOGIA EM VERTENTES FERRÍFERAS.....	81
FIGURA 65 - RELAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE CAVERNAS E A FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA PREDOMINANTE DOS SEDIMENTOS CLÁSTICOS.	82
FIGURA 66 - PREDOMÍNIO DE SEDIMENTOS ARGILOSOS NO PISO DA CAVIDADE SB-0025.....	82
FIGURA 67 - CONE DE SEDIMENTOS ARGILOSOS NA CAVIDADE SB-0016 (A) E LEQUE DE SEDIMENTO ARGILOSO PROVENIENTE DA COBERTURA DE SOLO NA SB-0147 (B).....	83
FIGURA 68 - DEPÓSITOS CASCALHENTOS DE ORIGEM AUTÓCTONE NOS PISOS DAS CAVIDADES SB-0002 (A; SEIXOS E CALHAUS) E SB-0088(B; MATAÇÕES).....	84
FIGURA 69 - DEPÓSITO DE GUANO NA CAVIDADE SB-0229 (A) E CRÂNIO DE JACARÉ NA SB-0064 (B).	84
FIGURA 70 - A) ARTEFATO LÍTICO NA CAVIDADE SB-0084 E B) FRAGMENTOS CERÂMICOS NA CAVIDADE SB-0065.	85
FIGURA 71 - FREQUÊNCIA DE CAVERNAS POR TIPOLOGIA DE ESPELEOTEMAS NOS DIFERENTES LITOTIPOS.	86
FIGURA 72 - A) CROSTA FERRUGINOSA DE COR AMARELADA SOBRE O PISO COM TEXTURA DE MICROTRAVERTINOS NA CAVERNA SB-0007; B) CROSTA RECOBRINDO BLOCOS NA SB-0212; C) CROSTA VERMELHA NA PAREDE DA CAVERNA SB-0047; D) CROSTA FERRUGINOSA RECOBRINDO PARTE DO PISO DA CAVERNA SB-0016.....	87
FIGURA 73 - A) CROSTAS COM FORMA ARREDONDADA NA CAVERNA SB-0007; B) CROSTAS MARROM-AMARELADAS COM FORMA ARREDONDADA NA CAVERNA SB-0088 E; C) RECOBRINDO PAREDES E TETO NA CAVERNA SB-0087.....	88
FIGURA 74 - A) CROSTA CINZA-ESVERDEADA RECOBRINDO BLOCOS NA CAVERNA SB-0212; B) CROSTAS BRANCAS NO TETO DA CAVIDADE SB-0018.....	89
FIGURA 75 - ESCORRIMENTOS NA FORMA DE CORTINAS NA CAVERNA SB-0076 (A) E COM TEXTURA DE MICROTRAVERTINOS NA SB-0007 (B).	90
FIGURA 76 - CORALÓIDES NAS CAVERNAS SB-0168 (A) E SB-0049 (B).	91
FIGURA 77 - ESPELEOTEMAS RAROS NA CAVERNA SB-0070: A) ESTALACTITE COM DEPOSIÇÃO CONCÊNTRICA; B) MICROPINGENTES NA FORMA DE PARAFUSOS.	91
FIGURA 78 - ESPELEOTEMA FIBROSO MUITO PROVAVELMENTE DE SULFATO DE CÁLCIO (GIPSITA) REGISTRADO NO TETO DA CAVERNA SB-0055.....	92
FIGURA 79 - GARRAFAS DE AGUARDENTE NA CAVERNA SB-0087.....	99
FIGURA 80 - A- MICRO-ORGANISMOS FOTOSINTETIZANTES NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0167, DURANTE A CAMPANHA SECA. B- VEGETAÇÃO DE PEQUENO PORTE NA ENTRADA DA CAVIDADE SB-0203, NA CAMPANHA SECA.....	105
FIGURA 81 - QUANTIDADE DE CAVIDADES AMOSTRADAS POR TIPO DE SUBSTRATO ORGÂNICO.	107
FIGURA 82 - A- RAÍZES SUB-SUPERFICIAIS DE CALIBRE FINO NA CAVIDADE SB-0167, NA CAMPANHA SECA. B- RAÍZES VERTICAIS DE CALIBRES FINO E GROSSO NA CAVIDADE SB-0168, NA CAMPANHA SECA. C- RIZOTEMA NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0192, REGISTRADO NA CAMPANHA SECA. D- MOLUSCO DO GÊNERO HAPPPIA, OBSERVADO NA CAVIDADE SB-0114, DURANTE A CAMPANHA SECA.....	108
FIGURA 83 - A- GUANO DE MORCEGO COM DIETA FRUGÍVORA REGISTRADO NA CAVIDADE SB-0183, DURANTE A CAMPANHA SECA. B- PONTO ESPARSO DE GUANO DE MORCEGOS COM DIETA INSETÍVORA NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0169, NA CAMPANHA SECA. C- MANCHA DE GUANO DE MORCEGOS HEMATÓFAGOS NA CAVIDADE SB-0164, NA CAMPANHA SECA. D- LARVAS ASSOCIADAS A ACÚMULO DE GUANO FRUGÍVORO, REGISTRADAS NA CAVIDADE SB-0181, DURANTE A CAMPANHA SECA.....	109
FIGURA 84 - A- FEZES DE VERTEBRADO INSETÍVORO (ANURO) OBSERVADOS NA CAVIDADE SB-0170, DURANTE A CAMPANHA ÚMIDA. B- CARÇAÇA DE AMBLIPÍGIO REGISTRADA NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0229, NA CAMPANHA SECA. C- BOLOTA DE REGURGITAÇÃO DE CORUJA ENCONTRADA NA CAVIDADE SB-0212, DURANTE A CAMPANHA SECA. D- MICROORGANISMO NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0119, NA CAMPANHA ÚMIDA.	110
FIGURA 85 - A- AMBLIPÍGIO DA ESPÉCIE <i>HETEROPHRYNUS LONGICORNIS</i> REGISTRADO NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0169, DURANTE A CAMPANHA SECA. B- FÊMEA DE AMBLIPÍGIO DA ESPÉCIE <i>HETEROPHRYNUS LONGICORNIS</i> COM FILHOTES NO DORSO REGISTRADA NA CAVIDADE SB-0184, DURANTE A CAMPANHA SECA. C- AMBLIPÍGIO DO GÊNERO <i>CHARINUS</i> PRESENTE NA CAVIDADE SB-0241, REGISTRADO NA CAMPANHA ÚMIDA.....	111
FIGURA 86 - ÁCARO DA FAMÍLIA IXODIDAE PRESENTE NA CAVIDADE SB-0235, REGISTRADO DURANTE A CAMPANHA SECA.....	111
FIGURA 87 - A- ARANHA COM OOTECA DA FAMÍLIA PHOLCIDAE, GÊNERO <i>MESABOLIVAR</i> , PRESENTE NA CAVIDADE SB-0170, REGISTRADA NA CAMPANHA ÚMIDA. B- ARANHA DA FAMÍLIA CTENIDAE, ESPÉCIE <i>ANCYLOMETES RUFUS</i> , REGISTRADA NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0173, NA CAMPANHA ÚMIDA. C- ARANHA DA FAMÍLIA CTENIDAE, REGISTRADA NA CAVIDADE SB-0123, DURANTE A CAMPANHA SECA. D-ARANHA MYGALOMORPHA, DA FAMÍLIA THERAPHOSIDAE (<i>GUYRUITA CERRADO</i>) PRESENTE NA CAVIDADE SB-0213, DURANTE A CAMPANHA SECA.	112
FIGURA 88 - EXEMPLARES DA ORDEM OPILIONES. A- OPILIÃO DA FAMÍLIA SCLEROSOMATIDAE REGISTRADO NA CAVIDADE SB-0185, NA CAMPANHA SECA. B- OPILIÃO DA ESPÉCIE <i>ROQUETTEA CARAJAS</i> (COSMETIDAE) ENCONTRADO NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0186, DURANTE A CAMPANHA ÚMIDA. C- OPILIÃO DO GÊNERO <i>PRIONOSTEMMA</i> OBSERVADO NA CAVIDADE SB-0170, DURANTE A CAMPANHA ÚMIDA.	113
FIGURA 89 - PSEUDOESCORPIÕES DA CHERNETIDAE REGISTRADOS NA CAMPANHA SECA. A- INDIVÍDUO PRESENTE NA CAVIDADE SB-0219. B- EXEMPLAR REGISTRADO NA CAVIDADE SB-0176. C- PSEUDOESCORPIÃO PREDANDO HOMOPTERA NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0172.....	114

FIGURA 90 - OUTROS ARACNÍDEOS. A- ESCORPIÃO DA FAMÍLIA BUTHIDAE (GÊNERO ANANTERIS) OBSERVADO NA CAVIDADE SB-0225, NA CAMPANHA SECA B- EXEMPLAR DE RICINULEI DA ESPÉCIE <i>CRIPTOCELLUS TARSILAE</i> OBSERVADO NA CAVIDADE SB-0231, DURANTE A CAMPANHA SECA. C- SCHIZOMIDA DA FAMÍLIA HURBADIIDAE (GÊNERO <i>ROWLANDIUS</i>) REGISTRADO NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0229, NA CAMPANHA SECA.	114
FIGURA 91 - MIRIÁPODOS. A- CHILOPODA DA FAMÍLIA PSELLIODIDAE (<i>SPHENDONONEMA GUILDINGII</i>) OBSERVADO NA CAVIDADE SB-0188, DURANTE A CAMPANHA SECA.. B- CHILOPODA DA FAMÍLIA SCOLOPOCRYPTOPIIDAE REGISTRADO NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0212, NA CAMPANHA SECA. C- DIPLOPODA PERTENCENTE À FAMÍLIA PYRGODESMIDAE OBSERVADO NA CAVIDADE SB-0218, NA CAMPANHA SECA. D- DIPLOPODA DA FAMÍLIA PSEUDONANNOLENIDAE PRESENTE NA CAVIDADE SB-0236, DURANTE A CAMPANHA ÚMIDA.	115
FIGURA 92 - A- BARATA DA FAMÍLIA BLABERIDAE (GÊNERO <i>BLABERUS</i>) PRESENTE NA CAVIDADE SB-0229, DURANTE A CAMPANHA ÚMIDA. B- EXEMPLAR DA FAMÍLIA BLATTELLIDAE REGISTRADO NA CAVIDADE SB-0199, NA CAMPANHA SECA.	116
FIGURA 93 - NINFA DE REDUVIIDAE (GÊNERO: <i>ZELURUS</i>) PRESENTE NA CAVIDADE SB-0225, REGISTRADA NA CAMPANHA ÚMIDA.	116
FIGURA 94 - EXEMPLARES DE ANUROS. A- <i>PRISTIMANTIS CF. FENESTRATUS</i> PRESENTE NA CAVIDADE SB-0169, DURANTE A CAMPANHA SECA. B- <i>PRISTIMANTIS CF. FENESTRATUS</i> NA CAVIDADE SB-0169, NA CAMPANHA ÚMIDA. C- <i>PRISTIMANTIS CF. FENESTRATUS</i> NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0190, NA CAMPANHA SECA. D- ANURO DA FAMÍLIA BUFONIDAE (ESPÉCIE: <i>RHAEBO GUTTATUS</i>) REGISTRADO NA CAVIDADE SB-0221, DURANTE A CAMPANHA ÚMIDA.	118
FIGURA 95 - A- LAGARTO DA ESPÉCIE <i>THECADACTYLUS RAPICAUDA</i> (GEKKONIDAE) REGISTRADO NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0288, DURANTE A CAMPANHA ÚMIDA. B- LAGARTO DO GÊNERO <i>NEUSTICURUS</i> PRESENTE NA CAVIDADE SB-0186, NA CAMPANHA SECA. C- SERPENTE REGISTRADA NA CAVIDADE SB-0177, NA CAMPANHA SECA. D- COBRA DA ESPÉCIE <i>EPICRATES SP.</i> (BOIDAE) NA CAVIDADE SB-0025.	119
FIGURA 96 - ROEDOR DO GÊNERO <i>RHIPIDOMYS</i> PRESENTE NA CAVIDADE SB-0114, REGISTRADO NA CAMPANHA ÚMIDA.	119
FIGURA 97 - CHIROPTERA. A- <i>CAROLLIA PERSPICILLATA</i> (PHYLLOSTOMIDAE) NA CAVIDADE SB-0049. B- <i>PEROPTERYX KAPPLERI</i> (EMBALLONURIDAE) NA CAVIDADE SB-0077. C- <i>GLOSSOPHAGA SORICINA</i> (PHYLLOSTOMIDAE) NA CAVIDADE SB-0011.	120
FIGURA 98 - COLÔNIA DE <i>CAROLLIA PERSPICILLATA</i> ENCONTRADA NA CAVIDADE SB-0076.	120
FIGURA 99 - ARANHA SPEOCERA SP.2 EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) VISTA DORSAL; B) VISTA LATERAL.	123
FIGURA 100 - ARANHAS EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) OONOPIDAE SP.1; B) OONOPIDAE SP.2.	123
FIGURA 101 - ARANHAS EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) TETRABLEMMIDAE SP.1 B) AMAUROBIIDAE JOVEM.	123
FIGURA 102 - CREUGAS SP.1 EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) VITA DORSAL; B) VISTA FRONTAL.	124
FIGURA 103 - ANAPISTULA SP.2 EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) VITA DORSAL; B) VISTA FRONTAL.	124
FIGURA 104 - OPILIÃO ESCADABIIDAE SP.NOV.7 EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) VITA DORSAL; B) VISTA LATERAL.	124
FIGURA 105 - PSEUDO-ESCORPIÃO EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) <i>PSEUDUCHTHONIUS SP.4</i> ; B) <i>CHELIFEROIDEA SP.2</i> . ESCALA EM PAPEL MILIMETRADO.	125
FIGURA 106 - <i>PSEUDUCHTHONIUS SP.3</i> EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) VITA LATERAL; B) VISTA DORSAL.	125
FIGURA 107 - CHILOPODA EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) <i>LAMYCTES SP.2</i> ; B) <i>NEWPORTIA SP.5</i> . ESCALA COMPLETA DE 1 CM (EM B).	125
FIGURA 108 - COLLEMBOLA EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) <i>PSEUDOSINELLA SP.1</i> ; B) <i>PARARRHOPALITES SP.C</i>	126
FIGURA 109 - BESOURO EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) <i>DYTISCIDAE SP.1</i> ; B) <i>DYTISCIDAE SP.2</i>	126
FIGURA 110 - BESOURO <i>PSSELAPHINAE SP.1</i> EM ESTEREOMICROSCÓPIO.	127
FIGURA 111 - ISÓPODOS EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) <i>SCLEROPACTIDAE SP.2</i> ; B) <i>DUBIONISCIDAE SP.3</i>	127
FIGURA 112 - CURVA DE ACUMULAÇÃO DE ESPÉCIES CONSIDERANDO A TOTALIDADE DAS CAVIDADES ESTUDADAS EM SERRA DA BOCAINA, CARAJÁS (N=235).	128
FIGURA 113 - MAPA HIPSOMÉTRICO COM A LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS QUE COMPÕEM A ESCALA REGIONAL.	131
FIGURA 114 - FLUXOGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO DO GRAU DE RELEVÂNCIA DE CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS, SEGUNDO A INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 2, DO MMA.	132
FIGURA 115 - DISTRIBUIÇÃO DA RELEVÂNCIA FINAL DAS CAVERNAS DA SERRA DA BOCAINA.	160

INTRODUÇÃO

O objetivo deste relatório é apresentar os resultados integrados dos estudos espeleológicos realizados na Serra da Bocaina, localizada na região de Carajás, PA. O documento aborda um total de 235 cavernas e complementa os estudos apresentados em abril de 2013. O relatório visa especificamente atender a condicionante 2.21 da Licença Prévia N. 436/2012 do Projeto Ferro Carajás S11D, definida pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis - IBAMA (Item 5.4). Na Figura 1 é apresentada a localização da Serra da Bocaina.

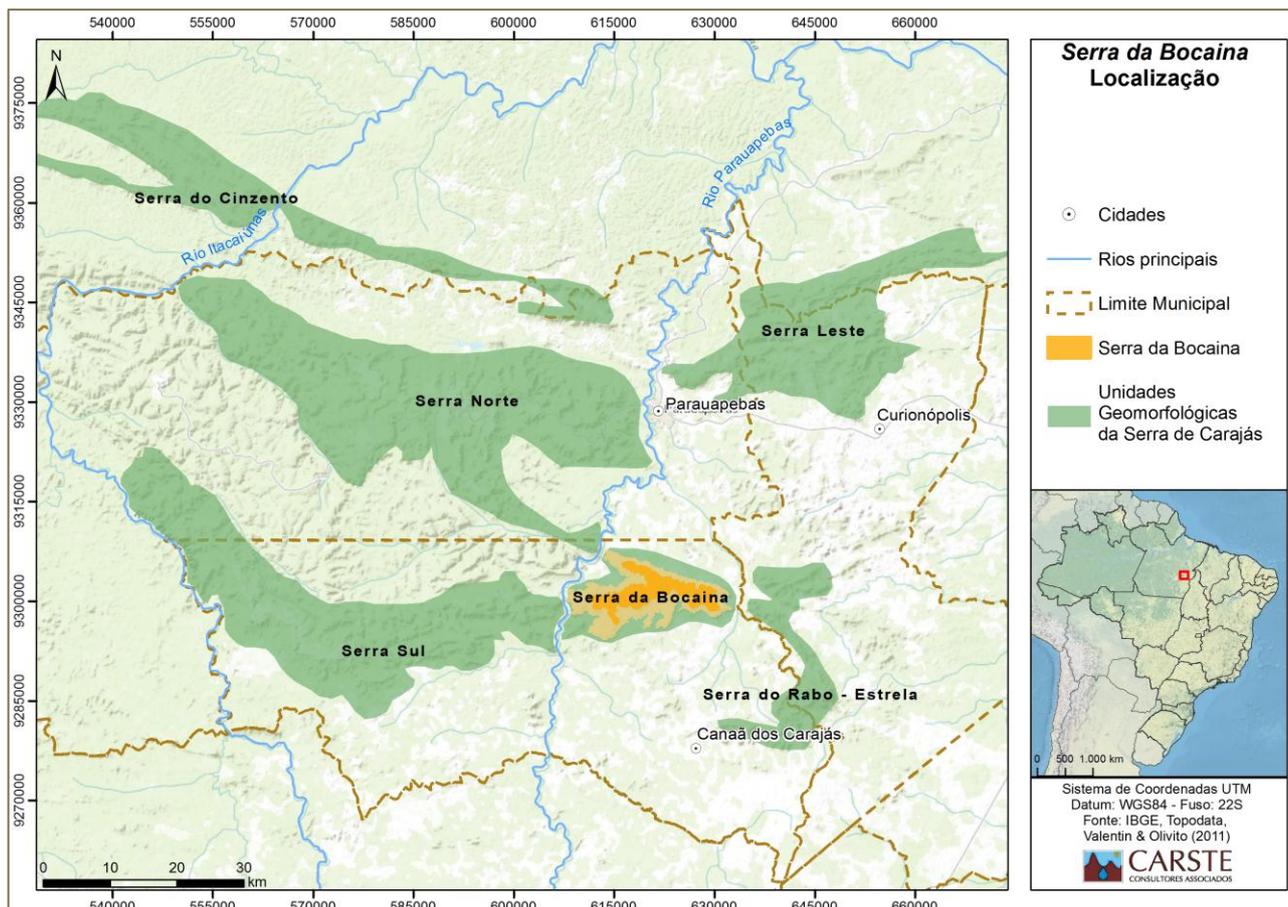


FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- analisar os aspectos físicos das cavernas, incluindo sua morfologia e seus atributos 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;
- avaliar o estado de conservação das cavernas e de seus entornos de 250 m;
- 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 estudo diagnóstico consolidado obedece à mesma estruturação do relatório anterior (de abril de 2013). Inicialmente são apresentados os procedimentos utilizados nos trabalhos de geoespeleologia e bioespeleologia. Em seguida, é apresentado um referencial sobre o tema, que inclui trabalhos anteriores e referências sobre a espeleologia regional, resultante de levantamento bibliográfico. No item seguinte é apresentada a caracterização física e biológica das cavernas. O relatório é finalizado com a análise de relevância das 235 cavidades.

PROCEDIMENTOS UTILIZADOS

PROSPECÇÃO

A prospecção espeleológica consistiu de caminhamentos registrados por meio de GPS de navegação da marca Garmin modelo GPSMap 60CSx, no sistema de coordenadas UTM, fuso 22M, datum *South American Datum 1969*. De forma a atender os objetivos de ampliar o conhecimento do patrimônio espeleológico na Serra da Bocaina, foram priorizadas áreas com maior potencial para ocorrência de cavernas (topo do platô, rupturas de relevo, vertentes inclinadas e sopé dos platôs), em detrimento de áreas menos favoráveis (superfícies rebaixadas e aplainadas onde predominam rochas metabasálticas e do embasamento cristalino).

O levantamento foi realizado por seis profissionais subdivididos em duas equipes. Os grupos foram compostos por um coordenador e dois auxiliares. Ao coordenador coube a orientação acerca dos procedimentos, além do manejo do GPS, descrição e registro geral das atividades. Os auxiliares de campo ficaram responsáveis pela abertura de picadas e por outras ações determinadas e supervisionadas pelo coordenador.

A Tabela 1 apresenta as datas das campanhas de campo na Serra da Bocaina, como também as duas instituições executoras: Fundação Casa de Cultura de Marabá – FCCM (FCCM, 2007) e Carste Consultores Associados (2013).

TABELA 1 - CAMPANHAS DE PROSPECÇÃO ESPELEOLÓGICA NA SERRA DA BOCAINA.

Ano	Período	Executor
2007	14/05 a 01/11	FCCM
2007	03/12 a 15/12	FCCM
2007	19/03 a 04/14	FCCM
2012	19/03 a 04/04	Carste Consultores
2012	16/04 a 03/05	Carste Consultores
2012	10/05 a 13/05	Carste Consultores
2013	03/01 a 22/01	Carste Consultores
2013	04/02 a 23/02	Carste Consultores

TOPOGRAFIA

O levantamento topográfico das cavidades foi realizado com instrumentos da marca suunto: bússola (KB-14/360R) e clinômetro (PM-5/360PC); além de trena laser Leica modelo *Disto D2*. 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 foi realizada em plataforma georeferenciada (*software AutoCAD 2012*). Nesse programa foram elaboradas a planta baixa como contorno de paredes e linha d'água. As seções foram anexadas contendo escalas altimétricas

além de referências à escala humana, de modo a permitir uma melhor noção das dimensões dos condutos. A altitude da entrada da caverna e os *grids* de coordenadas UTM do mapa foram gerados a partir das coordenadas coletadas por aparelhos 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). Este método desconsidera a largura dos condutos no cálculo final (Figura 2: segmento A - C). Desse modo, à soma do comprimento de um conduto, que é feita em seu eixo central não é acrescida sua largura, apenas o comprimento do conduto lateral (segmento C - D). Ao contrário, no método da continuidade (não utilizado no mapeamento de Serra da Bocaina) seria acrescido ao valor final de PH além do comprimento do conduto lateral, a largura do conduto principal (segmento A - B).

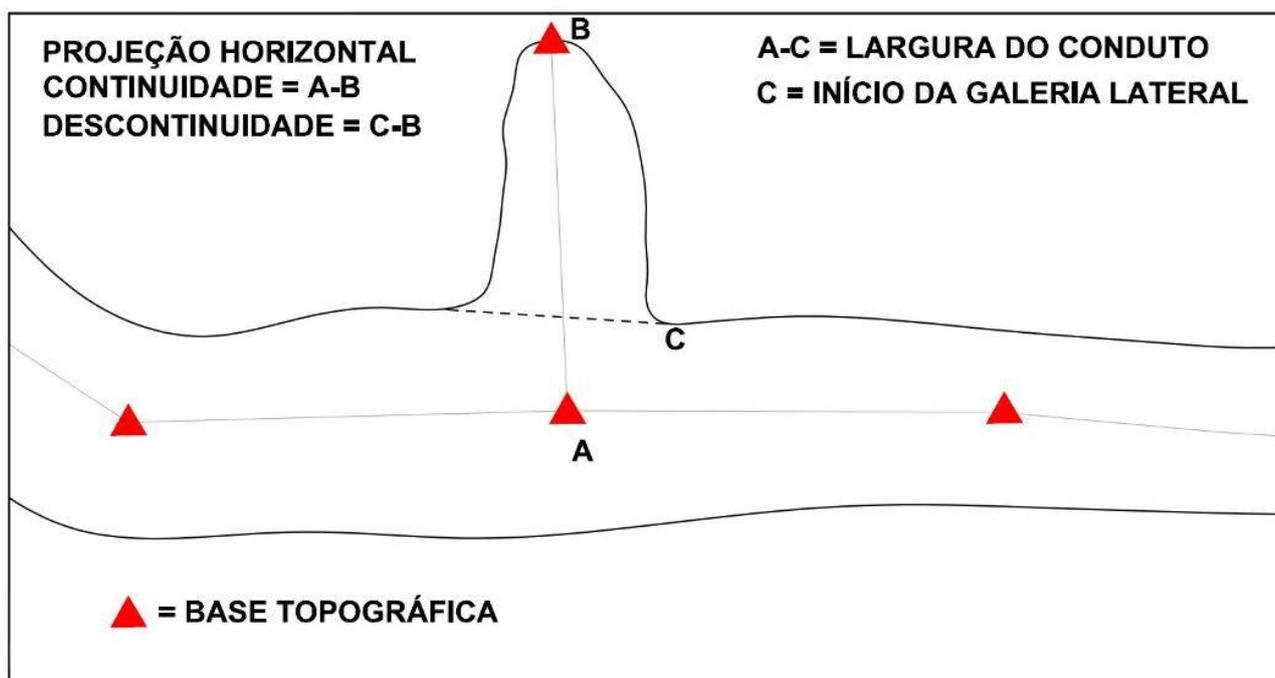


FIGURA 2 - MEDIÇÃO DA PROJEÇÃO HORIZONTAL DE ACORDO COM O MÉTODO DA DESCONTINUIDADE.

O desnível foi calculado pela diferença altimétrica entre as bases topográficas posicionadas no piso. As bases posicionadas acima do nível do piso tiveram sua altura registrada, para que posteriormente esta medida fosse subtraída para o cálculo do desnível. Em casos de patamar, paleopiso ou nível superior sua altura é considerada no cálculo do desnível.

O cálculo da área foi realizado 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 área total da cavidade pela altura média 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, através da 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.

A Tabela 2 sintetiza as campanhas de topografia na Serra da Bocaina. Todas as topografias foram realizadas pela Carste Consultores Associados.

TABELA 2 - CAMPANHAS DE TOPOGRAFIA DAS CAVERNAS DA SERRA DA BOCAINA.

Ano	Período
2011	18/07 a 09/08
2011	18/08 a 09/09
2012	23/07 a 12/08
2012	05/12 a 21/12
2013	03/02 a 23/02

GEOESPELEOLOGIA

O estudo geoespeleológico foi realizado de acordo com as seguintes etapas.

LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

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

TRABALHOS DE CAMPO

O estudo geoespeleológico foi realizado entre os anos de 2012 e 2014. Neste período foram realizadas seis campanhas de campo:

- primeira campanha - 11 a 23 de agosto de 2012;
- segunda campanha - 09 a 29 de outubro de 2012;
- terceira campanha - 02 a 29 de novembro de 2012;
- quarta campanha - 14 a 23 de fevereiro de 2013;
- quinta campanha - 09 a 18 de dezembro de 2013;
- sexta campanha - 21 de janeiro a 07 de fevereiro de 2014.

ANÁLISE LITOLÓGICA E DAS ESTRUTURAS

A análise da litologia buscou caracterizar os litotipos identificados na caverna. Foram utilizados dados químicos (química global) de amostras de rochas da área do Projeto Serra Sul e de outras áreas para efeito comparativo. Os procedimentos para a coleta, tratamento e análise química dessas amostras estão descritos em “*Mineralogia de Espeleotemas de Cavernas Ferríferas da Região de Carajás, Pará*” (Piló & Auler, 2011).

Estruturas como fraturas, juntas de alívio e dobras foram anotadas, quando presentes. Em gabinete, as medidas foram inseridas no software *StereoNet*, para a obtenção dos gráficos de roseta.

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* modelo: *Geo Pocket Transit 5010*.

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. Também foram descritas e analisadas as feições internas das cavidades, tais como pilares, canalículos, entre outras.

ANÁLISE DA HIDROLOGIA

A análise da hidrologia teve por objetivo descrever as feições identificadas nas cavidades, tais como cursos d'água, lagos, poças, pontos de percolação e condensação. Também foi avaliada a sazonalidades dos corpos hídricos, tendo como base as três campanhas de campo.

ANÁLISE DOS DEPÓSITOS CLÁSTICOS, ORGÂNICOS E QUÍMICOS

Depósitos sedimentares clásticos foram classificados conforme sua granulometria e descritos de modo a fornecer pistas sobre sua origem e processo de sedimentação. Os depósitos orgânicos também foram identificados, quando existentes. Os depósitos sedimentares químicos (espeleotemas) foram identificados, descritos e fotografados.

Para fins comparativos foram utilizados dados mineralógicos de 27 amostras de espeleotemas da área do Projeto Serra Sul. Os procedimentos para a coleta, tratamento e análise de difração de raios X estão descritos em “Mineralogia de Espeleotemas de Cavernas Ferríferas da Região de Carajás, Pará” (Piló & Auler, 2011).

BIOESPELEOLOGIA

Os trabalhos bioespeleológicos desenvolvidos na área do Projeto Serra da Bocaina focaram no levantamento de espécies da fauna e das características ambientais das 235 cavidades naturais subterrâneas amostradas na região.

Campanhas de campo

Os estudos bioespeleológicos na área do Projeto Serra da Bocaina foram realizados em 2010, 2011, 2012, 2013 e 2014, como segue:

- cavidades SB-0030 e SB-0031: estudadas em 30/09/10 (campanha seca) e 01 de abril de 2011 (campanha úmida).
- cavidades SB-0049 e SB-0069: estudadas em setembro de 2011 (campanha seca), janeiro de 2012 (campanha úmida para invertebrados) e dezembro de 2012 (campanha úmida para quirópteros).
- cavidades SB-0012 até SB-0015, SB-0032, SB-0034, SB-0035, SB-0039 até SB-0043, SB-0046 até SB-048, SB-0051, SB-0063 até SB-0068, SB-0072, SB-0077, SB-0079, SB-0090, SB-0091 e SB-0107: estudadas em duas campanhas de campo na época úmida, sendo uma em janeiro de 2012 (estudo de invertebrados) e outra em dezembro de 2012 (estudo de quirópteros), e duas campanhas na época seca, a primeira em setembro de 2011 (estudo de quirópteros) e a segunda em setembro de 2012 (estudo de invertebrados).
- cavidades SB-0001, SB-0002, SB-0003, SB-0010, SB-0011, SB-0033, SB-0045, SB-0050, SB-0052 até SB-0061, SB-0070, SB-0071, SB-0073 até SB-0076, SB-0078, SB-0081, SB-0085 até SB-0088 e SB-0092: estudadas em setembro/outubro de 2011 (seca para quirópteros), março de 2012 (úmida para invertebrados), setembro de 2012 (seca para invertebrados) e dezembro de 2012 e janeiro/fevereiro de 2013 (úmida para quirópteros).

- cavidades SB-0006 até SB-0009, SB-0016 até SB-0029, SB-0036 até SB-0038, SB-0080, SB-0083, SB-0084, SB-0094 até SB-0100, SB-0102, SB-0103, SB-0104, SB-0106, SB-0133 até SB-0147, SB-0149 até SB-0157 e SB-0159 até SB-0162 estudadas em setembro/outubro de 2012 (seca) e janeiro/fevereiro de 2013 (úmida).
- cavidades SB-0115, SB-0116 e SB-0117 estudadas em setembro de 2011 (seca) e janeiro de 2013 (úmida).
- cavidades SB-0004, SB-0005, SB-0044, SB-0082, SB-0089 e SB-0101 estudadas em setembro/outubro de 2011 (seca para quirópteros), dezembro de 2012 e janeiro de 2013 (úmida para quirópteros), setembro de 2012 (seca para invertebrados) e janeiro/fevereiro de 2013 (úmida para invertebrados).
- Cavidades SB-0110, SB-0111 e SB-0113 estudadas em setembro de 2011 (seca para invertebrados), janeiro de 2013 (úmida para invertebrados e quirópteros) e junho de 2013 (seca para quirópteros).
- Cavidades SB-0244, SB-0118 até SB-0120, SB-0122 até SB-0132 estudadas em janeiro de 2013 (úmida para invertebrados e quirópteros) e junho de 2013 (seca para invertebrados e quirópteros).
- Cavidades SB-0112 e SB-0114 estudadas em janeiro de 2013 (úmida para invertebrados e quirópteros), junho de 2013 (seca para invertebrados) e setembro de 2013 (seca para quirópteros).
- Cavidades SB-0163 até SB-0183, SB-0192, SB-0193, SB-0202 até SB-0204, SB-0207 até SB-0210, SB-0212, SB-0214 até SB-0216, SB-0219 e SB-0220 estudadas em maio de 2013 (úmida para invertebrados e quirópteros) e setembro de 2013 (seca para invertebrados e quirópteros).
- Cavidades SB-0189 até SB-0191, SB-0200, SB-0201, SB-0211 e SB-0213 estudadas em setembro de 2013 (seca para invertebrados e quirópteros) e fevereiro de 2014 (úmida para invertebrados e quirópteros)
- Cavidades SB-0184 até SB-0187, SB-0217, SB-0218, SB-0221 até SB-0228 estudadas em maio de 2013 (úmida para invertebrados e quirópteros) e outubro de 2013 (seca para invertebrados e quirópteros).
- Caverna SB-0199 estudada em maio de 2013 (úmida para quirópteros), outubro de 2013 (seca para invertebrados e quirópteros) e fevereiro de 2014 (úmida para invertebrados).
- Cavidades SB-0188, SB-0194 até SB-0198, SB-0206, SB-0229 até SB-0243 estudadas em outubro de 2013 (seca para invertebrados e quirópteros) e fevereiro de 2014 (úmida para invertebrados e quirópteros).

Coleta de dados relacionados ao ambiente cavernícola

Para caracterização ecológica das cavidades envolvidas no Projeto Bocaina, durante as atividades de campo, foram registradas, qualitativamente, as seguintes informações ambientais a respeito das cavidades estudadas:

- Condições de luminosidade - a incidência de luz solar no interior das cavidades foi registrada, definindo uma divisão do ambiente subterrâneo em três áreas: I) Zona de Entrada (E), quando percebida incidência de luz direta; II) Zona de Penumbra (P), quando percebida incidência de luz indireta; III) Zona Afótica (A), quando da total ausência de luz;

- Umidade do piso – avaliou-se, por observação visual, se o piso da cavidade encontrava-se úmido (presença de umidade ou encharcado) ou não (presença de pó ou seco);
- Água – observou-se, quando presente, a água no interior das cavidades em diferentes formas (condensação, gotejamento, percolação, empoçamento/poça, lago e rio);
- Organismos fotossintetizantes e fungos – a presença de líquen, musgo, alga, pteridófito, broto, árvore e fungos no interior das cavidades foi registrada, por se constituírem em importantes contribuintes no aporte de matéria orgânica no sistema cavernícola;
- Substratos orgânicos – presença de substratos potenciais ao estabelecimento de fauna cavernícola. Ressalta-se que, na obtenção desse tipo de informação, foram amostrados tanto ambientes terrestres quanto aquáticos. Nesse sentido, os substratos observados foram classificados em sete tipos: I) guano de morcegos, aves e insetos; II) material vegetal (qualquer estrutura morta de origem vegetal, com capacidade de armazenar e disponibilizar biomassa, durante o processo de decomposição, como: folhiço, galhos, gravetos, raízes, flores, frutos, sementes, etc.); III) detritos (material orgânico de origem animal ou vegetal de difícil descrição); IV) raízes; V) carcaças; VI) fezes de vertebrados não voadores; VII) bolotas de regurgitação;
- Interação ecológica única – presença de interação ecológica entre dois ou mais indivíduos pertencentes à mesma morfoespécie, com característica duradora, rara ou incomum;
- População excepcional em tamanho – presença de número excepcionalmente grande de indivíduos da mesma morfoespécie no interior da cavidade;
- Nidificação de aves silvestres – presença de ninhos ativos e inativos de aves silvestres no interior das cavidades, atestando sua utilização como local de nidificação;

Todas as características acima relacionadas foram registradas em fichas de campo e, quando necessário, complementadas por registro fotográfico.

Coleta da fauna associada ao ambiente subterrâneo

A metodologia adotada para o levantamento da fauna presente nas 235 cavidades naturais subterrâneas amostradas na área de estudo baseou-se na busca ativa. Tal método de coleta consiste na busca por espécimes na maior diversidade de ambientes encontrados no interior das cavidades, como: substratos rochosos, bancos de sedimento, acúmulos de guano ou detritos vegetais. Por meio dessa sistematização espacial, buscou-se contemplar toda a área proposta.

Os espécimes encontrados foram capturados manualmente, com o auxílio de pincéis e pinças, e acondicionados em recipientes contendo álcool 70%, para fixação e conservação. 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 (Trajano & Bichuette, 2006). Quando não coletados, registros fotográficos dos organismos foram realizados, assim como dos vestígios encontrados no interior das cavidades, para posterior identificação desses indivíduos em laboratório.

Para garantir uma maior segurança nos resultados obtidos, apenas as espécies de invertebrados cujas presenças pudessem ser comprovadas (ou por meio de registros fotográficos ou por meio das coletas de material biológico) tiveram suas ocorrências catalogadas.

Ainda em campo, o número de indivíduos das espécies cujos adultos possuem tamanho corporal igual ou superior a 1 centímetro foi registrado para a realização de análises estatísticas. Vale destacar, que a identificação desses organismos foi feita de acordo com a experiência dos coletores.

O tempo de coleta levou em consideração o tamanho e a heterogeneidade de substratos da cavidade, sendo de aproximadamente 30 minutos por cada 10m² de área. Ressalta-se, novamente, que toda a área das cavidades foi averiguada.

Para a amostragem dos quirópteros, foi utilizado o método de busca ativa por meio do uso de puçás de hastes extensíveis (tamanho máximo de 3 m de comprimento). O tempo de duração do procedimento variou, sendo ele condicionado à captura das diferentes espécies de morcego visualizadas. Dessa forma, buscou-se contemplar toda a diversidade de quirópteros presente no momento das coletas.

Algumas etapas antes do início das seções de capturas foram seguidas, quais sejam: localização dos morcegos e suas colônias dentro das cavernas; espera para que os indivíduos se acostumassem com a presença da equipe coletora; realização de registro fotográfico; seleção dos espécimes a serem capturados. O tamanho de cada uma das populações foi estimado por meio de senso visual.

Os morcegos capturados foram acondicionados em sacos de algodão e posteriormente identificados com auxílio de bibliografia especializada (Chave de identificação para as famílias de quirópteros – Vizzoto & Taddei, 1973, Simmons & Voss, 1998, Lim & Engstrom, 2001). Esses foram pesados, medidos com paquímetro (comprimento de antebraço), sexados e soltos. Ocasionalmente, alguns animais foram coletados devido à impossibilidade de identificação do exemplar em campo.

Quanto aos outros vertebrados amostrados no interior das cavidades, buscou-se, através de registros fotográficos, compilar informações e/ou vestígios de forma a facilitar posteriores identificações.

Atividades de laboratório

Após a etapa de amostragem, todos os representantes da fauna subterrânea coletados no interior de cavidades foram triados por profissionais capacitados, munidos de estereomicroscópio. Nessa etapa do trabalho, os organismos coletados foram separados por grupos taxonômicos (na maioria, até o nível de ordem) e devidamente contabilizados. As chaves taxonômicas utilizadas como base para o reconhecimento desses grupos foram as elaboradas por Rafael et al. (2012) e CSIRO Division of Entomology (1991).

Em etapa posterior, também em laboratório e ainda com auxílio de estereomicroscópio, todos os indivíduos coletados foram encaminhados para especialistas, para que se procedesse às identificações mais precisas, até o nível taxonômico de maior segurança.

Juntamente com as identificações, todos os organismos relacionados foram morfotipados e indicados quanto à presença de características morfológicas que pudessem revelar especialização decorrente de isolamento no ambiente subterrâneo, como: ausência de pigmentação, alongamento das estruturas sensoriais, ausência de olhos, etc. Da mesma forma se deu a determinação da maturidade dos indivíduos, que é condição fundamental no processo de identificação de alguns grupos (aracnídeos, insetos, etc).

Comparações morfológicas dos exemplares troglomórficos foram feitas com exemplares coletados em cavidades da Serra dos Carajás em estudos anteriores (Carste Consultores Associados, 2010).

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).

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. Por isso, o número de espécies indicado é considerado um número mínimo.

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).

Para o cálculo da abundância relativa de espécies, considerou-se apenas as morfoespécies de vertebrados e de invertebrados, cujos adultos possuam tamanho corporal maior ou igual a 1 cm.

A metodologia adotada para a análise deste atributo consistiu-se de três etapas. Na primeira, foram tabulados os valores de abundância de cada morfoespécie obtidos durante as observações de campo e nas identificações do material coletado. Na segunda, foram calculados os valores mínimos e máximos das abundâncias determinadas na primeira etapa para cada morfoespécie. O intervalo entre ambos os valores foi dividido em três partes iguais, sendo que o intervalo com os menores valores correspondeu a abundância baixa para a espécie em questão, o intervalo com maiores valores correspondeu a abundância alta para a espécie em questão e o intervalo com valores intermediários correspondeu a abundância média para a espécie em questão. Vale ressaltar que as morfoespécies amostradas em apenas uma cavidade já foram consideradas, de princípio, como de abundância alta, uma vez que não permitiam a realização dos cálculos acima propostos. Na terceira etapa, calculou-se a proporção de espécies com abundância alta em cada cavidade.

De acordo com, a Instrução Normativa MMA nº 2, de 20 de agosto de 2009, cavidades com 30% ou mais de espécies com alta abundância foram consideradas de alta abundância relativa, cavidades com valores entre 10% e 20% foram consideradas de média abundância relativa e cavidades com valores menores que 10% foram consideradas de baixa abundância relativa. Ressalta-se que valores entre 20% e 30%, apesar de não contemplados na citada norma, também foram considerados de média abundância relativa.

Os valores de abundância foram calculados separadamente em cada época amostral para evitar que um mesmo indivíduo entrasse duas vezes no mesmo cálculo. Para configurar o atributo, foi utilizado o maior valor entre épocas de coleta.

CONTEXTO GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO E ESPELEOLOGIA REGIONAL

GEOLOGIA

A 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). Na base do Grupo ocorre a Formação

Parauapebas, constituída por 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. O Quadro 1 apresenta a coluna estratigráfica proposta por Macambira *et al.* (1990).

QUADRO 1 - COLUNA CRONOLITOESTRATIGRÁFICA REGIONAL, MODIFICADA DE MACAMBIRA *ET AL.* (1990).

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

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. Quando são possuem coloração esverdeada e aspecto maciço, passando a avermelhada com aspecto saprolítico quando decomposta. Os principais minerais constituintes são clorita, anfibólio, epidoto, quartzo, carbonatos, biotita, magnetita e pirita.

A ocorrência de cavernas nessa formação é mais frequente em rochas com grau elevado de intemperismo, muitas vezes em zonas de contato com litotipos da Formação Carajás e coberturas lateríticas. O contato com os jaspelitos e hematita mole da Formação Carajás pode ocorrer de forma brusca ou gradacional, com interdigitações milimétricas a centimétricas.

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). 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 que varia 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, além do 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.

Minério de Ferro

Na região de Carajás 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) 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 jaspilítico, além de caulim e outros argilominerais provenientes da alteração de rochas máficas. Nos tipos friáveis podem ocorrer estruturas como laminações, microfalamentos 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.

A maioria das cavernas estudadas na Serra da Bocaina está inserida na formação ferrífera bandada (FFB), nas coberturas de canga que a recobrem ou nos dois litotipos.

Cobertura Laterítica associadas à FFB

Na superfície do platô da Serra da Bocaina ocorrem amplas coberturas lateríticas (cangas), que em face de sua resistência à erosão funcionam como elemento de sustentação dos topos do planalto residual, denominado localmente de platôs. 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 alguma participação 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 de rochas máficas e formação ferrífera, cimentados por limonita. Ocorrem geralmente sobre rochas 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. A hematita laminada lateritizada (HLL) apresenta laminação com estruturas parcialmente preservadas, devido à formação de horizontes cimentados por minério de ferro.

Ferricrete

As cavernas em ferricrete adquiriram uma importância maior na Serra da Bocaina, pois a prospecção revelou que ocorrem muitas cavernas no sopé do planalto residual. 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 localizadas 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, inicialmente, em cavernas próximas a Canaã dos Carajás (Projeto Cristalino e Níquel do Vermelho). Uma análise litológica inicial constatou, através de 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 e na borda dos planaltos dissecados.

Na Serra da Bocaina, os ferricretes constituem couraças ferruginosas que recobrem, com extensões variáveis, áreas mais rebaixadas no sopé do planalto dissecado, geralmente associados a calhas de drenagem e sobre rochas do embasamento do Complexo Xingu.

Os ferricretes na Serra da Bocaina são rochas hospedeiras de várias cavidades.

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; incluem-se ainda 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.

GEOMORFOLOGIA

Do ponto de vista geomorfológico, segundo Boaventura (1974), a Serra dos Carajás está inserida em duas Unidades Morfoestruturais e Morfoclimáticas: o *Planalto Dissecado do Sul do Pará*; e a *Depressão Periférica do Sul do Pará*. Valentim & Olivito (2011), em proposta bastante semelhante à Boaventura (*op. cit*), sugerem as terminologias: i) *Planaltos Residuais do Sul da Amazônia*; e *Depressão Interplanáltica da Amazônia Meridional*. No âmbito deste trabalho, serão tratados como sinônimos (Figura 3). A Serra da Bocaina localiza-se na porção centro-leste da PMC, apresentando os dois compartimentos geomorfológicos.

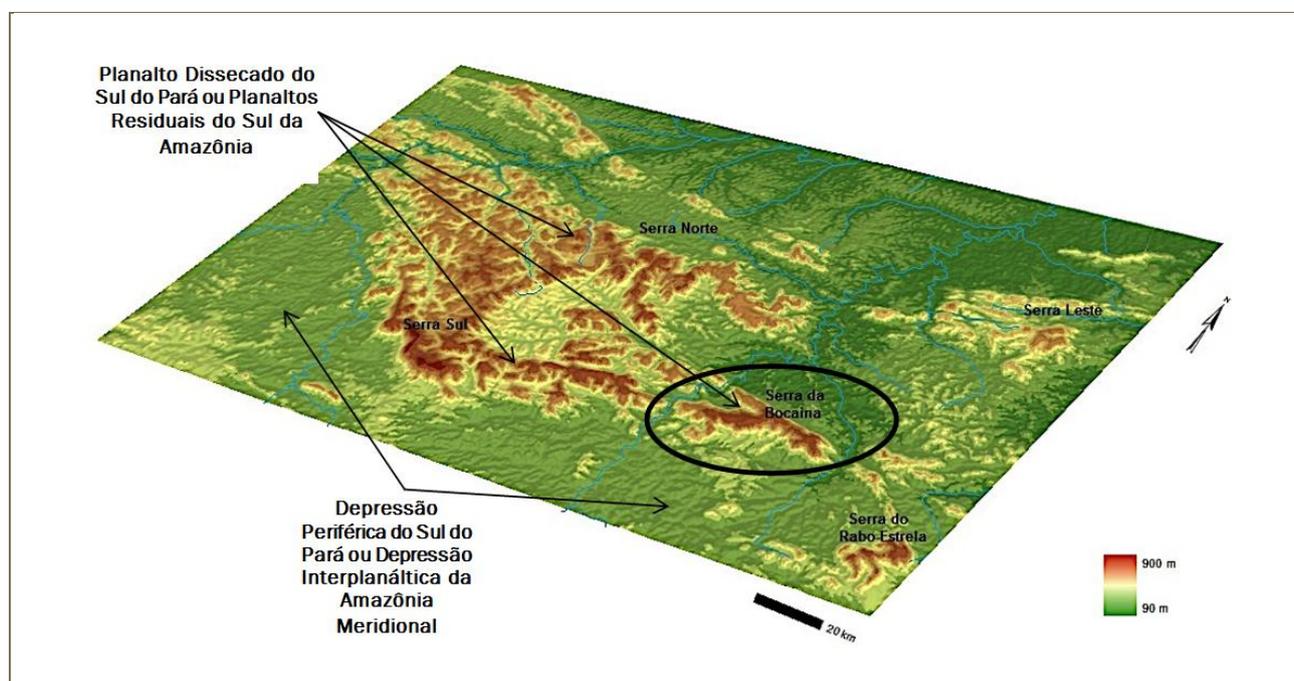


FIGURA 3 - MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO DA PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS. A ELIPSE EM PRETO DESTACA A LOCALIZAÇÃO DA SERRA DA BOCAINA.

Os **planaltos** são caracterizados por maciços residuais de topo aplainado a ondulado e conjunto de cristas e picos interpenetrados por faixas de terrenos rebaixados, com altitudes em torno de 300 a 250 metros. O topo dos maciços residuais varia de 600 a 700 metros, com trechos que chegam a atingir mais de 800 metros de altitude. São comumente sustentados por litotipos mais resistentes tais como jaspilitos e couraças ferruginosas.

Em relação aos padrões de dissecação, os planaltos são ora condicionados por fatores estruturais, ora pela morfologia dominante (Valentim & Olivito, 2011). As formas de dissecação mais comuns são:

- Dissecação em interflúvios tabulares: forma de dissecação determinada pelo aprofundamento de talwegues em relevos tabulares, geralmente formando um padrão de drenagem retangular. Estas áreas são caracterizadas pela presença de encostas muito

abruptas marcando o contorno dos domínios planos. Nestas ocorrem escarpas erosivas, a partir de onde a erosão regressiva desmantela as superfícies tabulares;

- Dissecação em cristas: forma de dissecação de maciços residuais, por vales profundos, geralmente adaptados a uma rede de fraturas que apresenta uma ou duas direções preferenciais. Destacam-se duas formas de relevo desenvolvidas por este tipo de dissecação, as cristas estruturais e os interflúvios tabulares, com predomínio dos primeiros;
- Dissecação em cristas com ravinamentos: formas resultantes da dissecação de relevos bem pronunciados por uma rede de drenagem orientada, cujos afluentes apresentam ramificações.

A **depressão** é caracterizada por extensa unidade de relevo rebaixado, com colinas de topo aplainado e cobertura sedimentar inconsolidada que circunda os compartimentos planálticos (Figura 4). Apresenta um conjunto de morros e colinas arrasadas, modeladas principalmente sobre terrenos granito-gnáissicos arqueanos e subordinadamente em rochas metavulcânicas e metassedimentares pré-cambrianas. A topografia é suave ondulada e a rede de drenagem tem dissecação fraca, com desníveis entre topo e fundo de vale tipicamente entre 20 e 10 metros, mas em alguns casos entre 75 e 25 metros. A declividade varia de 8 a 45% (Valentim & Olivito, 2011).

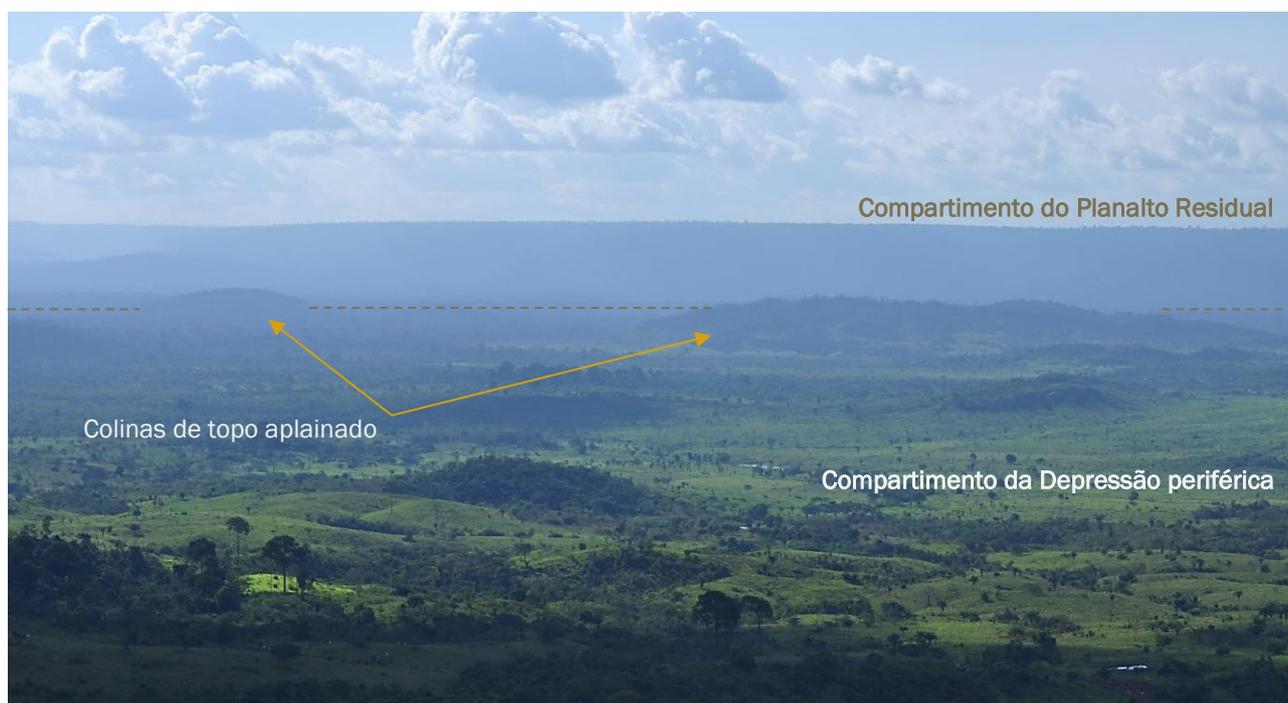


FIGURA 4 - MACROUNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DA PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS: PLANALTO DISSECADO RESIDUAL E DEPRESSÃO PERIFÉRICA INTERPLANÁLTICA. A LINHA TRACEJADA DESTACA O LÍMITE APROXIMADO ENTRE OS DOIS COMPARTIMENTOS.

ESPELEOLOGIA REGIONAL

As cavernas têm merecido alguma atenção na literatura especializada, sendo a maior parte das referências providas 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) detalharam quatro cavernas, além de discorrerem sobre as feições encontradas e sua possível gênese (Figura 5).

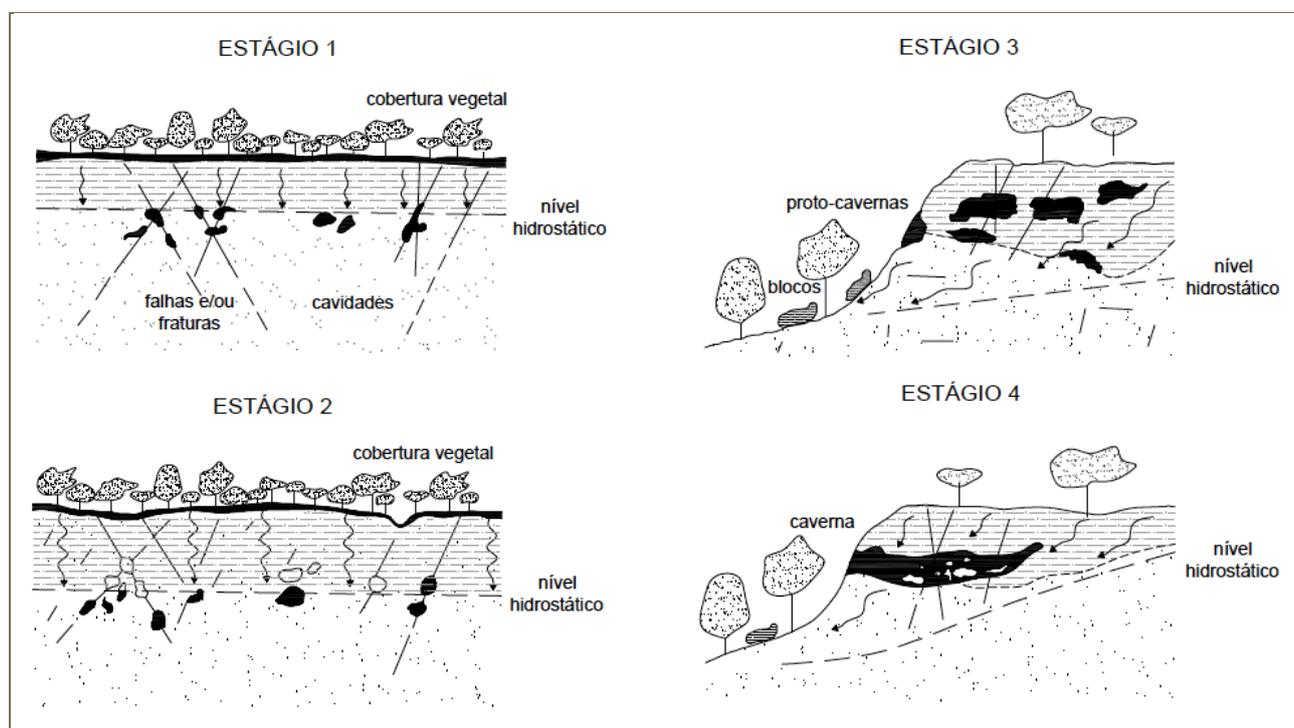


FIGURA 5 - QUADRO ESPELEOGENÉTICO ESQUEMÁTICO PARA AS CAVERNAS DA SERRA DOS CARAJÁS (PA): ESTÁGIO 1 - PROCESSO INICIAL DE DISSOLUÇÃO DA ROCHA, PREFERENCIALMENTE NOS PLANOS DE FALHAS E/OU FRATURAS E NOS LOCAIS DE MARCANTES CONTRASTES LITO-FACIOLÓGICOS E TEXTURAS; ESTÁGIO 2 - VARIAÇÕES DO NÍVEL HIDROSTÁTICO. FORMAÇÃO DE PEQUENAS CAVIDADES DE DISSOLUÇÃO, ISOLADAS, NO TOPO DA ZONA FREÁTICA. PEQUENAS CAVIDADES EM ZONA VADOSA; ESTÁGIO 3 - FORMAÇÃO DE PROTO-CAVERNAS NA ZONA VADOSA, RESULTANTES DA INTERAÇÃO DO FLUXO D'ÁGUA SUBTERRÂNEO, INTEMPERISMO QUÍMICO E EROSIONE FLUVIAL NAS ENCOSTAS, SOBRE A ZONA PREVIAMENTE PREPARADA PELA DISSOLUÇÃO INICIAL; ESTÁGIO 4 - FORMAÇÃO DE CAVERNAS, A PARTIR DE PROCESSOS DE INCISÃO DAS PROTO-CAVERNAS COM AÇÃO CONTÍNUA DO FLUXO SUBTERRÂNEO EM DIREÇÃO ÀS ENCOSTAS E AO NÍVEL HIDROSTÁTICO. MODIFICADO DE PINHEIRO ET AL. (1985) APUD CALUX (2013).

Este trabalho foi detalhado em Pinheiro & Maurity (1988), no qual a interpretação espeleogenética foi aprimorada (Figura 6).

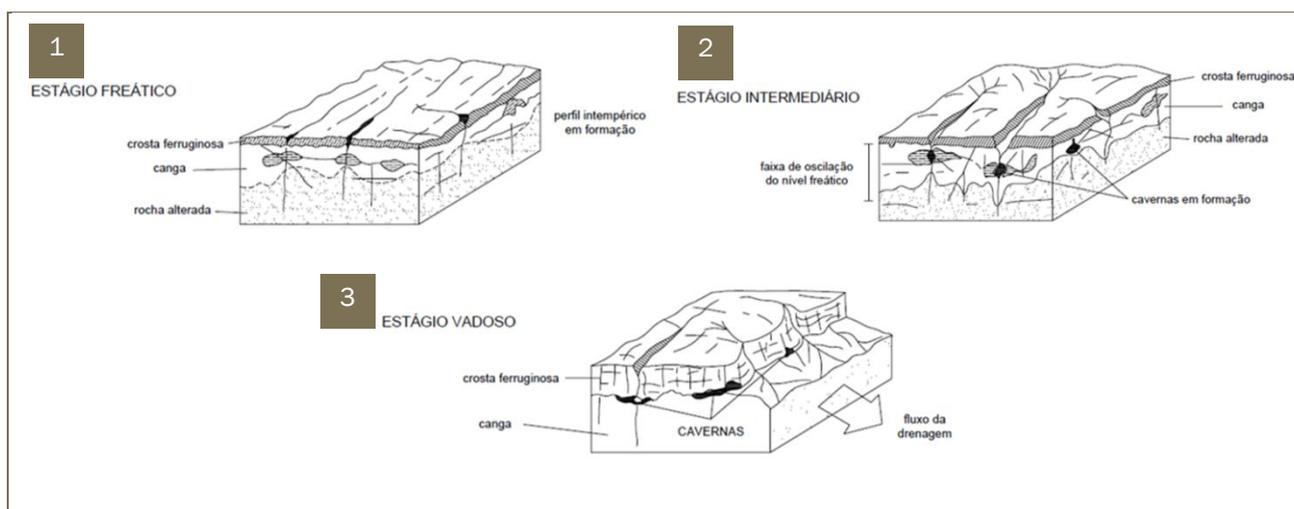


FIGURA 6 - ESQUEMA EVOLUTIVO PARA AS CAVERNAS EM ROCHAS INTEMPÉRICAS DA SERRA DOS CARAJÁS. 1) FORMAÇÃO DA CROSTA FERRUGINOSA E DIFERENCIAÇÃO DA CANGA A PARTIR DE PROCESSOS INTEMPÉRICOS SOBRE ROCHAS VARIADAS. 2) IMPLANTAÇÃO DE RELEVO E OSCILAÇÕES DO NÍVEL FREÁTICO. IMPLANTAÇÃO DE CAVIDADES SUBTERRÂNEAS EM ZONAS DE CONCENTRAÇÕES DE COMPOSTOS INSTÁVEIS RESULTANTES DOS PROCESSOS DE FORMAÇÃO DA CANGA. 3) EM REGIME VADOSO, ATUAÇÃO DE AGENTES HIDRÁULICOS. FASE DE EROSIÃO FÍSICA E DESMORONAMENTO DE BLOCOS. MODIFICADO DE PINHEIRO & MAURITY (1988) APUD CALUX (2013).

Maurity & Kotschoubey (1995) posteriormente produziram um detalhado estudo não só sobre a gênese das cavidades, como também sua mineralogia, trabalho este reproduzido mais recentemente (Maurity & Kotschoubey, 2005). Nos arredores da Serra dos Carajás, Atzingen & Crescêncio (1999) apresentaram uma descrição com mapas de algumas cavernas na região de Serra Pelada (Serra Leste).

Piló & Auler (2009) apresentaram 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 7).

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.

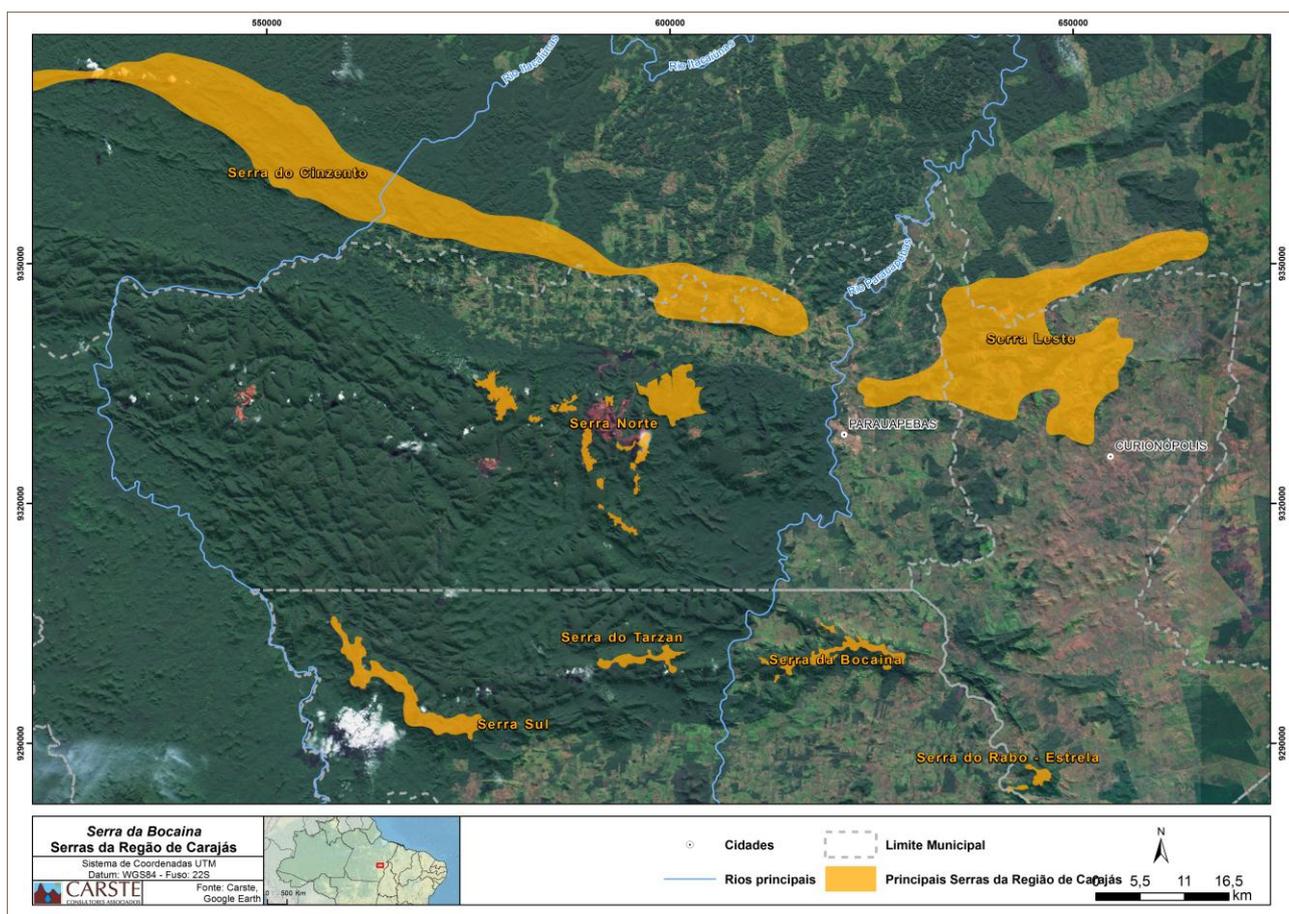


FIGURA 7 - PRINCIPAIS SERRAS DA REGIÃO DE CARAJÁS ONDE OCORREM AS CAVERNAS.

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).

O bandamento da formação ferrífera, muitas vezes, controla 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, possivelmente 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 estruturas.

O padrão planimétrico das cavernas de Carajás pode ser dividido preliminarmente em três grupos: 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 frequentes. A maior caverna em jaspilito constatada na região, localizada na Serra Norte, possui 372 m de projeção horizontal. Em ferricrete há até o momento uma única ocorrência de caverna

de grandes dimensões. Trata-se da gruta S11-07 com projeção horizontal acima de 1500 m, localizada no sopé da Serra Sul.

A grande maioria das cavernas estudadas na região de Carajás é predominantemente 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 frequente 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 frequentes nas cavernas. Os depósitos alogênicos são originados principalmente dos canalículos e juntas alargadas existentes na grande maioria das cavernas, como também de claraboia 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 claraboias. Raízes também pendem do teto de diversas cavernas, como também podem aflorar frequentemente 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 frequentes são os depósitos de cobertura (crostas) de blocos abatidos, pisos e paredes. Os coralóides também são frequentes nas cavernas, constituindo depósitos de exsudação 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 frequentes 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 estrengita ($\text{Fe,AlPO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 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 ($\text{Al}_2\text{SO}_4(\text{OH})_{10}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$).

Paleotocas, estruturas morfológicas biogênicas, têm sido registradas no Rio Grande do Sul. Os registros foram observados em depósitos pleistocênicos, depósitos terciários, basaltos mesozóicos alterados e rochas graníticas alteradas. Morfologia dos condutos, marcas de garras e impressões da carapaça são os principais testemunhos desses processos (Buchmann *et al.*, 2003).

Na região de Carajás, a primeira referência às estruturas morfológicas biogênicas foi registrada na caverna S11-07, localizada no sopé da Serra Sul. Esta cavidade, desenvolvida no ferricrete, possui 1.546 m de projeção horizontal, apresentando um padrão planimétrico labiríntico. Os condutos, que se inter cruzam de forma retilínea ou curva, apresentam bons exemplos de seções circulares, não ultrapassando 1,5m de altura e largura. A surpreendente planimetria dessa cavidade e suas seções circulares formam as principais evidências da ocorrência de paleotoca. Os registros de marcas de garras não são muito claros, carecendo de maiores investigações. Mais recentemente, foram registradas na Serra da Bocaina pelo menos mais sete ocorrências com indícios de ação biológica na gênese ou ampliação de cavernas. Seis cavernas foram formadas no ferricrete e uma na canga com destacada matriz argilosa. Em média, essas cavidades apresentaram 24 m de projeção horizontal, sendo o menor valor de 5 m e o maior de 89 m. Quatro cavernas formam câmaras simples com seções circulares ou semicirculares. Três cavidades, por sua vez, apresentam câmaras compostas, de esboço labiríntico. Em todas essas cavidades se destacam marcas de garras nas paredes e teto. Essas cavidades, muito provavelmente, foram utilizadas por megamamíferos (particularmente tatus) extintos, que habitavam a região de Carajás durante o Terciário e o Quaternário (Piló *et al.*, 2013).

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 produzir dados visando a compreensão da distribuição de comunidades subterrâneas na região.

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

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

PROSPECÇÃO

As prospecções realizadas pelo GEM/FCCM e pela Carste na área da Serra da Bocaina levaram a identificação de **243** cavernas, denominadas de GEM (prospecção realizada pelo GEM/FCCM) e SB (prospecção realizada pela Carste Consultores). Algumas cavidades não puderam ser estudadas em função da presença de abelhas, vespas, animais peçonhentos ou mesmo condições insalubres (excesso de gases produzidos pela decomposição do guano); outras pelo impedimento do acesso por parte dos proprietários. Desse modo, serão apresentados, neste relatório, o estudo de 235 cavernas que já apresentam estudos espeleológicos completos.

A Figura 8 apresenta o mapa da prospecção na Serra da Bocaina.

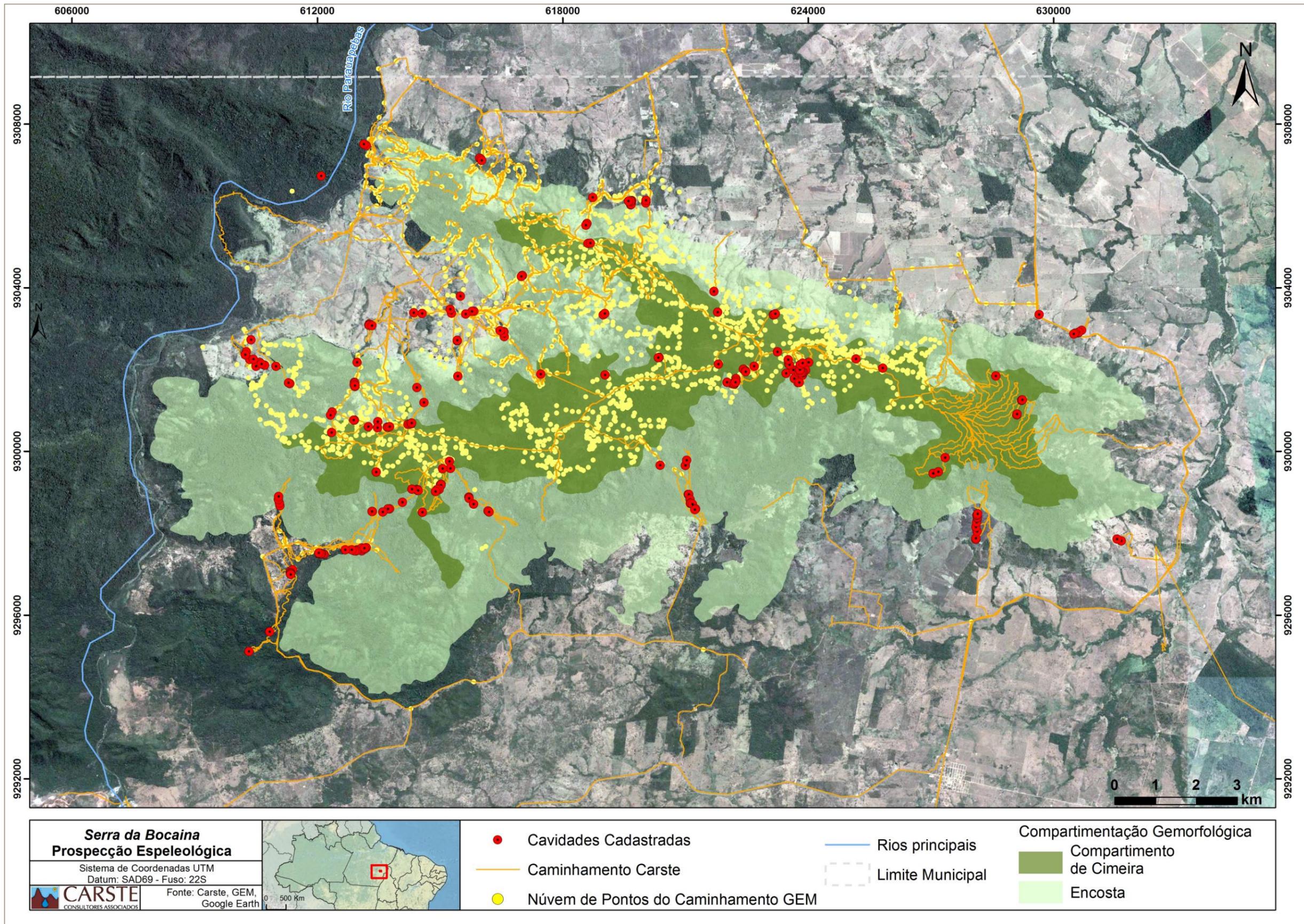


FIGURA 8 - MAPA DOS CAMINHAMENTOS DE PROSPECÇÃO E DE LOCALIZAÇÃO DAS CAVERNAS IDENTIFICADAS.

GEOESPELEOLOGIA

Neste item serão apresentados os resultados dos estudos geoespeleológicos realizados em 235 cavernas da Serra da Bocaina. A Tabela 3 apresenta a sinonímia, as coordenadas UTM, a altitude, os dados espeleométricos e a litologia 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 3 - COORDENADAS, ESPELEOMETRIA E LITOLOGIA DAS CAVIDADES ESTUDADAS NA SERRA DA BOCAINA.

NOME		COORDENADA		ALTITUDE	ESPELEOMETRIA				LITOLOGIA
VALE	SINONÍMIA	DATUM: SAD' 69		PH (m)	Desnível (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)		
SB-0001	GEM-1252	616026	9307204	259	5,1	0,3	14,9	22	Ferricrete
SB-0002	GEM-1342	616055	9307178	259	27,7	1,5	76,5	88	Canga
SB-0003	GEM-1344	616073	9307147	258	15,3	0,7	65,9	56	Ferricrete
SB-0004	GEM-1378	618787	9306244	316	38,5	1,6	182,6	166	Canga
SB-0005	GEM-1410	613253	9307514	201	7,6	1,3	10,8	6	Jaspilito
SB-0006	GEM-1417	611044	9302118	294	5,5	0,86	20,2	13	Ferricrete
SB-0007	GEM-1418	611383	9301690	415	107,3	7,9	452	1112	Máfica
SB-0008	GEM-1419	613301	9300640	680	7,1	1,9	18,6	10	Canga
SB-0009	GEM-1420	612407	9300500	667	8,6	1	40,2	96	Máfica
SB-0010	GEM-1421	618675	9305118	642	49,7	8	209,1	184	Canga
SB-0011	GEM-1422	618735	9305126	658	40,6	3,4	143,1	183	Canga
SB-0012	GEM-1423	622488	9302030	667	59,2	2	442,1	577	Jaspilito/canga
SB-0013	GEM-1424	622485	9302040	670	8,7	0,2	26,3	24	Canga
SB-0014	GEM-1425	622474	9302048	664	11,9	0,7	23,5	17	Canga
SB-0015	GEM-1426	622525	9301998	665	14,6	0,5	72,3	102	Canga
SB-0016	GEM-1427	610644	9302210	249	89	2,3	749,6	666	Canga
SB-0017	GEM-1428	610555	9302132	251	20,2	1,4	63,7	101	Ferricrete
SB-0018	GEM-1429	610554	9302114	243	22,6	1	68	77	Ferricrete
SB-0019	GEM-1430	610402	9302285	233	11,6	0,7	18,9	18	Ferricrete
SB-0020	GEM-1431	611354	9301712	420	18,8	3,2	71,2	214	Jaspilito
SB-0021	GEM-1432	613534	9300764	594	9,8	1,3	44,1	84	Máfica
SB-0022	GEM-1433	613529	9300616	652	6,5	1,5	27,6	39	Jaspilito
SB-0023	GEM-1434	613764	9300624	711	19,8	3,6	73	343	Jaspilito
SB-0024	GEM-1435	613783	9300624	672	11,4	0,8	22,1	29	Jaspilito
SB-0025	GEM-1436	613820	9300642	673	87,3	3,2	406,5	600	Jaspilito
SB-0026	GEM-1437	610771	9302138	254	189,6	6,3	750,8	881	Ferricrete
SB-0027	GEM-1438	610691	9302172	249	11,2	1	24,4	20	Ferricrete
SB-0028	GEM-1439	610491	9302289	241	18,8	0,3	43,1	25	Ferricrete
SB-0029	GEM-1440	613495	9299532	729	14,1	2,1	81,1	108	Canga
SB-0030	GEM-1441	610316	9302466	225	11,3	1	73	190	Ferricrete
SB-0031	GEM-1442	610435	9302764	211	23,7	1,7	132,4	196	Ferricrete
SB-0032	GEM-1443	622534	9301980	665	14,5	1,3	90,7	125	Jaspilito/canga
SB-0033	GEM-1444	621846	9303440	699	9,6	0,9	18,2	24	Canga
SB-0034	GEM-1445	622735	9302113	699	12	1,7	54,5	85	Canga
SB-0035	GEM-1446	621863	9302164	687	10,8	1	42,1	66	Canga
SB-0036	GEM-1447	612415	9301000	590	6,9	0,9	25	25	Ferricrete

SB-0037	GEM-1448	612962	9300802	669	7,3	1,8	30,1	165	Canga
SB-0038	GEM-1449	612943	9300802	661	6,9	0,8	21,1	16	Canga
SB-0039	GEM-1450	622192	9301694	600	16,6	5,6	146,8	375	Jaspilito
SB-0040	GEM-1451	622077	9301726	602	10,2	1,4	70,2	94	Ferricrete
SB-0041	GEM-1452	622258	9301678	596	11,7	1,7	67,3	68	Jaspilito/canga
SB-0042	GEM-1453	622240	9301678	590	6,4	1,9	17,4	12	Jaspilito
SB-0043	GEM-1454	623521	9301940	603	14	3,8	39,6	57	Jaspilito
SB-0044	GEM-1455	623691	9302028	623	10,8	0,8	27,9	66	Jaspilito
SB-0045	GEM-1456	623809	9301718	531	35,5	3,2	192,4	453	Jaspilito
SB-0046	GEM-1457	623717	9301815	600	63,9	2,6	191,3	440	Jaspilito
SB-0047	GEM-1458	622294	9301816	643	12,2	0,8	51,5	60	Jaspilito
SB-0048	GEM-1459	622297	9301762	609	26,9	4,9	138,9	159	Jaspilito/canga
SB-0049	GEM-1460	622253	9301707	624	97,7	1,8	354,4	580	Jaspilito
SB-0050	GEM-1461	623203	9303376	689	14,5	2,8	56,8	36	Canga
SB-0051	GEM-1462	622283	9301726	606	57,8	1,8	421	1035	Jaspilito
SB-0052	GEM-1463	623838	9302072	646	25,5	2,1	60,3	70	Jaspilito
SB-0053	GEM-1464	623852	9301983	605	10,8	0,3	19,6	26	Jaspilito
SB-0054	GEM-1465	623843	9301972	618	14,1	0,9	64	109	Jaspilito
SB-0055	GEM-1466	623827	9301956	612	11,8	0,8	51,9	96	Jaspilito
SB-0056	GEM-1467	623920	9301908	595	9,7	0,8	36,4	105	Jaspilito
SB-0057	GEM-1468	623920	9301896	590	12,8	1,5	24,3	38	Jaspilito
SB-0058	GEM-1469	623838	9301720	550	5,1	0,4	8,6	5	Máfica
SB-0059	GEM-1470	623305	9302466	643	7,5	1	20,8	19	Máfica
SB-0060	GEM-1471	620096	9306129	306	15,5	0,8	62,1	59	Canga
SB-0061	GEM-1472	620086	9306110	323	6,4	0,7	20	34	Canga
SB-0063	GEM-1474	619738	9306127	320	7,5	0,4	32	31	Ferricrete
SB-0064	GEM-1475	619722	9306064	342	29,8	4	93,9	118	Ferricrete
SB-0065	GEM-1476	623586	9302170	644	37,1	2,2	233,4	817	Jaspilito
SB-0066	GEM-1477	623603	9302152	677	8,1	0,6	29,6	61	Jaspilito
SB-0067	GEM-1478	623571	9302279	706	9,9	0,8	38	27	Jaspilito
SB-0068	GEM-1479	619727	9306070	328	5,2	0,9	64,9	51	Ferricrete
SB-0069	GEM-1480	620093	9306174	301	78,2	1,3	405,4	449	Canga
SB-0070	GEM-1481	623226	9303372	710	150,8	10,5	661,1	757	Canga
SB-0071	GEM-1482	623258	9303398	702	50,8	3,7	411,1	812	Canga
SB-0072	GEM-1483	619746	9306162	325	30,5	0,7	161,6	262	Ferricrete
SB-0073	GEM-1484	619722	9306157	312	8	1,7	60,3	106	Ferricrete
SB-0074	GEM-1485	619719	9306140	311	14,6	1,2	56,1	68	Ferricrete
SB-0075	GEM-1486	619708	9306157	314	16	0,6	39	23	Ferricrete
SB-0076	GEM-1487	619665	9306150	320	100	2,1	378,8	375	Ferricrete
SB-0077	GEM-1488	625225	9302294	688	27,4	2,9	97,6	158	Jaspilito
SB-0078	GEM-1489	621753	9303946	529	29,9	5,9	102,1	302	Jaspilito
SB-0079	GEM-1490	625883	9302068	671	13,9	0,3	58,8	82	Jaspilito
SB-0080	GEM-1491	615556	9303830	498	10,4	1,1	37,9	50	Ferricrete
SB-0081	GEM-1492	620439	9299698	472	8,4	0,5	31,9	72	Jaspilito/canga
SB-0082	GEM-1493	617068	9304334	463	6,4	0,6	38,3	34	Canga
SB-0083	GEM-1494	616627	9302841	369	12,3	3,5	58,1	161	Jaspilito

SB-0084	GEM-1495	615881	9303460	253	33,6	1,8	151	167	Ferricrete
SB-0085	GEM-1496	618649	9305607	485	97,7	9,7	655,3	814	Jaspilito/canga
SB-0086	GEM-1497	618620	9305564	480	13,8	0,8	48,1	64	Jaspilito
SB-0087	GEM-1498	619047	9303372	444	15,9	1,1	39,7	46	Máfica
SB-0088	GEM-1499	619087	9303408	452	26	1,4	129,7	84	Máfica
SB-0089	GEM-1500	619089	9301902	692	18,9	3,8	39,2	45	Canga
SB-0090	GEM-1501	620414	9302334	678	89,4	1,5	211	238	Ferricrete
SB-0091	GEM-1502	620392	9302326	679	6,6	0,5	8,1	7	Ferricrete
SB-0092	GEM-1503	617047	9304308	452	8,5	0,6	41,1	45	Jaspilito
SB-0094	GEM-1505	615839	9303454	263	55,3	2,4	207	383	Ferricrete
SB-0095	GEM-1506	615339	9303411	251	50,3	2,5	259,1	293	Ferricrete
SB-0096	GEM-1507	614618	9303404	231	13,4	0,9	77,5	74	Ferricrete
SB-0097	GEM-1508	615494	9301870	335	15	1,3	55,6	131	Jaspilito
SB-0098	GEM-1509	615477	9302741	269	6,4	1,3	25	35	Ferricrete
SB-0099	GEM-1510	615303	9303508	244	12,5	0,7	54,4	73	Jaspilito
SB-0100	GEM-1511	615683	9303395	237	15,6	1	60,9	35	Ferricrete
SB-0101	GEM-1512	612147	9306766	322	9,3	1,6	34,6	34	Ferricrete
SB-0102	GEM-1513	616621	9302964	369	19	2	88,5	215	Jaspilito
SB-0103	GEM-1514	616605	9302940	379	13,2	5,9	103,7	319	Canga
SB-0104	GEM-1515	616522	9302990	329	6,6	2,9	15,6	11	Canga
SB-0106	GEM-1517	613196	9307544	205	16,9	2,8	38,1	88	Jaspilito
SB-0107	GEM-1518	617517	9301924	651	23,7	3	153,7	352	Canga
SB-0110	GEM-1523	613254	9297678	340	29,4	1,5	142	190	Canga
SB-0111	GEM-1524	613206	9297654	322	32,3	2	136,1	166	Canga
SB-0112	GEM-1525	613211	9297646	331	16,1	3,3	51,3	36	Canga
SB-0113	GEM-1526	613151	9297642	335	30,5	2	89	95	Ferricrete
SB-0114	GEM-1527	613141	9297674	326	89	3,7	749,6	708	Ferricrete
SB-0115	GEM-1528	613141	9297604	310	10,5	0,4	22,6	41	Ferricrete
SB-0116	GEM-1529	613025	9297630	321	26,9	1,1	148,1	216	Ferricrete
SB-0117	GEM-1537	613025	9297630	321	21,5	1,9	80,9	71	Ferricrete
SB-0118	GEM-1538	613007	9297604	322	22,4	0,7	70,4	100	Ferricrete
SB-0119	GEM-1539	612960	9297606	338	16,2	0,7	65,2	91	Ferricrete
SB-0120	GEM-1566	612900	9297628	322	11,2	1,2	59,2	79	Ferricrete
SB-0122	GEM-1568	612738	9297631	313	10,2	0,8	43,5	33	Ferricrete
SB-0123	GEM-1569	612227	9297521	305	13,7	0,9	28,6	38	Ferricrete
SB-0124	GEM-1592	612194	9297527	328	50,3	1,4	130,5	117	Ferricrete
SB-0125	GEM-1593	612146	9297542	315	17	1,4	73,8	140	Ferricrete
SB-0126	GEM-1594	612142	9297528	310	11,3	0,8	79	111	Ferricrete
SB-0127	GEM-1595	612131	9297540	300	17,3	2,5	130,9	257	Canga
SB-0128	GEM-1596	612101	9297540	305	15,1	2,5	75,2	129	Canga
SB-0129	GEM-1597	612101	9297537	306	37,9	2,9	245,2	344	Canga
SB-0130	GEM-1598	612098	9297538	269	9,4	2,9	99,6	249	Canga
SB-0131	GEM-1599	612132	9297538	300	7,2	1	26,4	45	Canga
SB-0132	GEM-1600	612091	9297554	327	11,7	1,5	40,1	16,7	Ferricrete
SB-0133	SB-133	628651	9301875	712	7,5	1,8	22,2	19	Jaspilito/canga
SB-0134	SB-134	627411	9299885	721	24,5	4,2	232,7	290	Jaspilito/canga

SB-0135	SB-135	629161	9300926	733	9,5	1,6	21,8	14	Jaspilito/canga
SB-0136	SB-136	629167	9300950	738	8,8	0,74	42,5	38	Canga
SB-0137	SB-137	629274	9301283	727	29,4	5,3	372	354	Jaspilito/canga
SB-0138	SB-138	629288	9301291	722	68,7	4,1	137,6	167	Jaspilito/canga
SB-0139	SB-139	629294	9301295	702	14	3,1	55,9	83	Canga
SB-0140	SB-140	631715	9297846	259	18,5	2	202,7	365	Ferricrete
SB-0141	SB-141	631616	9297893	250	17,6	0,1	28,4	57	Ferricrete
SB-0142	SB-142	630749	9302996	230	16,4	0,7	42,7	34	Ferricrete
SB-0143	SB-143	630661	9302932	241	9,8	1,6	58,8	33	Ferricrete
SB-0144	SB-144	630673	9302949	241	5,6	1,4	25,2	14	Ferricrete
SB-0145	SB-145	630587	9302923	241	11,3	0,8	83,5	112	Ferricrete
SB-0146	SB-146	630557	9302902	243	9,4	1,3	44,8	24	Ferricrete
SB-0147	SB-147	629704	9303379	251	90,5	2,3	453	379	Ferricrete
SB-0149	SB-149	628157	9297886	270	21,5	1,4	101,8	111	Ferricrete
SB-0150	SB-150	628157	9297909	270	11,9	2,8	181,9	326	Ferricrete
SB-0151	SB-151	628189	9298076	272	10	0,6	16,7	64,2	Ferricrete
SB-0152	SB-152	628159	9298189	273	49,1	4,4	440,9	422	Ferricrete
SB-0153	SB-153	628178	9298304	283	9	1,3	40,3	39	Ferricrete
SB-0154	SB-154	628200	9298405	303	8,4	1,4	22,3	15	Ferricrete
SB-0155	SB-155	628201	9298428	295	10,1	1	29	20	Ferricrete
SB-0156	SB-156	628187	9298475	273	10,7	1,6	44,6	58	Ferricrete
SB-0157	SB-157	628192	9298486	273	16,7	2,3	38,2	165	Ferricrete
SB-0159	SB-159	628207	9298510	280	12,2	1,6	43	26	Ferricrete
SB-0160	SB-160	627116	9299494	710	8,5	1,2	20,2	25	Canga
SB-0161	SB-161	627241	9299533	700	31,6	0,2	61,3	134	Jaspilito
SB-0162	SB-162	613525	9300611	659	6,5	0,9	16,8	8	Jaspilito
SB-0163	SB-163	613028	9302214	347	14,6	6,5	18,6	19	Máfica
SB-0164	SB-164	612974	9301623	513	26,2	4,3	57,2	82	Ferricrete/máfica
SB-0165	SB-165	612379	9300919	560	11,5	0,8	20,5	54	Ferricrete
SB-0166	SB-166	612962	9301724	460	11,4	1,7	28	38	Ferricrete/máfica
SB-0167	SB-167	612970	9301703	482	13,2	5,6	44,8	57	Ferricrete/máfica
SB-0168	SB-168	612957	9301666	494	62,4	6,3	286,2	337	Ferricrete
SB-0169	SB-169	612975	9301643	483	62,3	10,9	184,2	329	Ferricrete
SB-0170	SB-170	610294	9302400	228	51,6	4,3	151,7	205	Ferricrete
SB-0171	SB-171	624075	9302213	696	16,6	2,3	31,7	109	Jaspilito
SB-0172	SB-172	623996	9302018	655	35,7	1,5	113,5	224	Jaspilito
SB-0173	SB-173	623944	9301959	635	9,3	1	17,4	93	Jaspilito
SB-0174	SB-174	623923	9301967	632	30	2,7	42,4	208	Jaspilito
SB-0175	SB-175	623903	9301960	623	24,2	1,7	38,7	76	Jaspilito
SB-0176	SB-176	623882	9301962	617	11,7	1,7	21,9	29	Jaspilito
SB-0177	SB-177	623851	9302014	643	46,4	5,8	207,8	463	Jaspilito
SB-0178	SB-178	623854	9302030	640	17,6	0,8	38,9	104	Jaspilito/máfica
SB-0179	SB-179	623867	9302151	665	28	1	93,6	309	Canga/máfica
SB-0180	SB-180	623925	9302191	679	8	0,9	20,9	15	Canga
SB-0181	SB-181	614272	9300700	674	10,7	3,2	33,5	113	Canga
SB-0182	SB-182	614665	9301232	563	14	0,7	44,1	150	Ferricrete

SB-0183	SB-183	614487	9301595	547	14,4	2,1	46,2	146	Máfica
SB-0184	SB-184	614139	9298793	524	21,9	2,3	71,2	79	Jaspilito/canga
SB-0185	SB-185	613822	9298630	469	12	2,2	68,8	223	Canga
SB-0186	SB-186	613784	9298631	471	12,4	2,2	35,6	33	Ferricrete
SB-0187	SB-187	613654	9298556	444	7,9	0,4	17,3	10	Canga
SB-0188	SB-188	614482	9299108	662	18,5	1	42,7	29	Jaspilito
SB-0189	SB-189	614511	9299098	683	9,7	1	17,9	17	Jaspilito
SB-0190	SB-190	614512	9299081	682	16,7	3,6	27,1	19	Jaspilito
SB-0191	SB-191	614525	9299078	687	10,1	1,6	26,1	26	Jaspilito
SB-0192	SB-192	615289	9299792	692	6,1	1,2	16	15	Jaspilito
SB-0193	SB-193	615314	9299617	605	13,2	4,9	95,5	195	Jaspilito
SB-0194	SB-194	615764	9298920	478	24,4	3,6	138,6	258	Jaspilito
SB-0195	SB-195	615767	9298896	473	20,6	2,2	57,7	95	Jaspilito
SB-0196	SB-196	615767	9298888	471	7,4	1,3	12,1	12	Jaspilito
SB-0197	SB-197	615876	9298748	443	20	1	40,2	40	Jaspilito
SB-0198	SB-198	616228	9298580	407	8,7	2,9	24,7	32	Canga
SB-0199	SB-199	616257	9298556	405	188,7	6,4	828,5	1220	Jaspilito
SB-0200	SB-200	614628	9298549	688	12,3	0,9	21,4	41	Jaspilito
SB-0201	SB-201	614365	9299109	662	6,5	0,4	16	22	Jaspilito
SB-0202	SB-202	614322	9300706	680	13,1	0,7	26,6	28	Canga
SB-0203	SB-203	614354	9300711	685	13,9	0,8	30,3	55	Canga
SB-0204	SB-204	614362	9300727	690	14,8	0,3	33,7	45	Canga
SB-0206	SB-206	615480	9302749	267	8,1	0,7	12,7	7	Ferricrete
SB-0207	SB-207	615121	9299611	713	39,7	4,2	79,1	110	Canga
SB-0208	SB-208	615067	9299223	686	9,2	0,5	18,8	16	Jaspilito
SB-0209	SB-209	615082	9299237	702	11,7	2,3	32,7	22	Jaspilito/canga
SB-0210	SB-210	615081	9299207	692	21,1	1,8	57,2	46	Jaspilito
SB-0211	SB-211	615034	9299107	686	13,1	2,2	60,7	115	Jaspilito/canga
SB-0212	SB-212	614976	9299097	685	176,2	11,2	578,8	888	Jaspilito/canga
SB-0213	SB-213	614949	9299052	701	28,4	5,7	97,2	130	Canga
SB-0214	SB-214	613327	9303147	240	30	1,3	106,2	68	Ferricrete
SB-0215	SB-215	613318	9303121	255	10,3	1,1	21,1	16	Ferricrete
SB-0216	SB-216	613319	9303119	254	10,4	0,7	17,5	13	Ferricrete
SB-0217	SB-217	613398	9298564	406	12,1	0,8	23	12	Ferricrete
SB-0218	SB-218	613393	9298565	406	23,8	0,9	58	52	Ferricrete
SB-0219	SB-219	613393	9303108	250	89,5	2,1	154	98	Ferricrete
SB-0220	SB-220	614416	9303422	233	7,6	1,8	17,8	19	Ferricrete
SB-0221	SB-221	610891	9295625	239	11,8	1,3	22,2	18	Ferricrete
SB-0222	SB-222	611394	9297110	273	16,5	1,2	68,9	100	Ferricrete
SB-0223	SB-223	611446	9297141	289	12,3	0,7	18,2	17	Ferricrete
SB-0224	SB-224	611406	9297071	289	9,5	1,7	37,1	34	Ferricrete
SB-0225	SB-225	610381	9295147	239	10	1,8	41,2	79	Ferricrete
SB-0226	SB-226	611396	9297061	279	29,1	1,8	51,1	129	Ferricrete
SB-0227	SB-227	611405	9297036	280	9	2,8	18,3	26	Ferricrete
SB-0228	SB-228	611401	9297028	279	28,1	2,4	24,8	26	Ferricrete
SB-0229	SB-229	611140	9298707	335	122,5	4,4	343,9	362	Ferricrete

SB-0230	SB-230	611128	9298781	347	17,7	2,3	35,6	29	Ferricrete
SB-0231	SB-231	611100	9298861	347	22,1	1,2	59,9	36	Ferricrete
SB-0232	SB-232	611107	9298935	363	12,4	2,8	36,1	32	Ferricrete
SB-0233	SB-233	621127	9298985	364	42	2,8	260,1	460	Ferricrete
SB-0234	SB-234	621136	9298982	367	22	1,9	107,5	132	Ferricrete
SB-0235	SB-235	621169	9298864	358	13,8	0,4	39,4	42	Ferricrete
SB-0236	SB-236	621179	9298765	365	12,9	1,9	43,3	51	Ferricrete
SB-0237	SB-237	621190	9298766	360	13,5	1,4	56,3	99	Ferricrete
SB-0238	SB-238	621229	9298748	360	8,9	0,9	29	40	Ferricrete
SB-0239	SB-239	621299	9298628	355	68,5	3	174,7	224	Ferricrete
SB-0240	SB-240	621303	9298631	355	23,7	1,8	49,6	54	Ferricrete
SB-0241	SB-241	621289	9298614	351	24,7	2,7	81,7	64	Ferricrete
SB-0242	SB-242	621056	9299688	395	21,5	1	25,1	33	Ferricrete
SB-0243	SB-243	621087	9299815	418	7,7	0,5	13,5	11	Ferricrete
SB-0244	GEM-1525A	613209	9297666	334	32,4	2,2	179,6	210,4	Canga

INSERÇÃO NA PAISAGEM

Na paisagem da região de Carajás podemos destacar inicialmente o Planalto Dissecado, que é caracterizado regionalmente por ondulações de topos aplainados que podem atingir mais de 800 metros de altitude.

A Serra da Bocaina é um desses fragmentos do planalto dissecado, onde estão concentradas 128 das cavernas estudadas (54%), das quais 58 estão no compartimento de cimeira (25%) e as demais nas encostas do planalto (70 cavernas, 30%). O restante das cavernas estudadas, 107 ao todo, ou 46% da amostra, estão em áreas mais rebaixadas na depressão periférica, a maior parte delas próxima na base das encostas do planalto. A Figura 9 mostra a concentração de cavidades em cada um dos três setores da área de estudo.

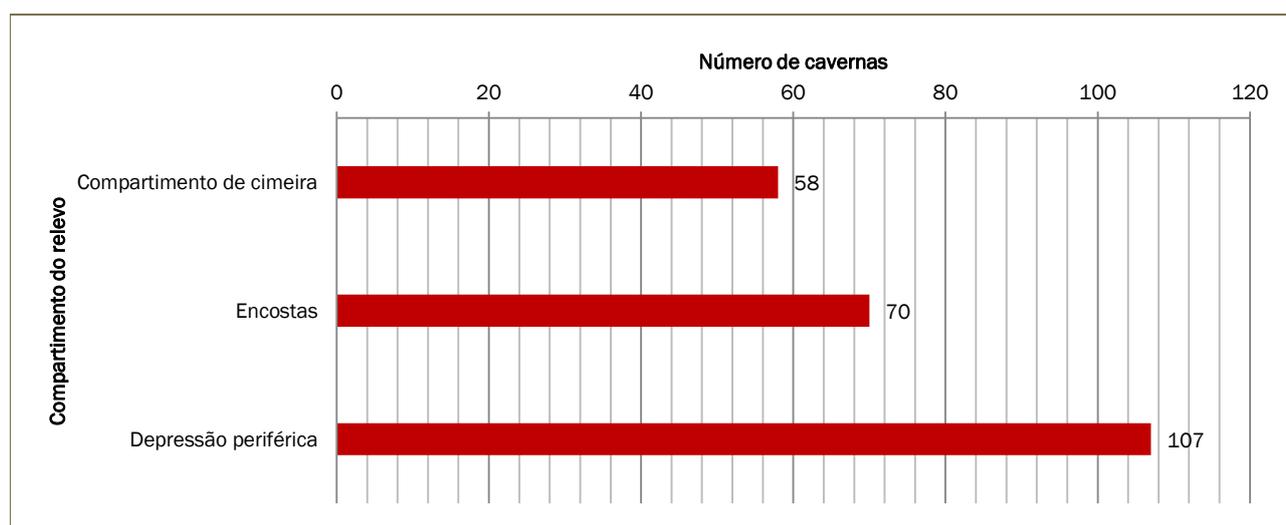


FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAVIDADES POR COMPARTIMENTO DO RELEVO.

O Compartimento de Cimeira é sustentado pela formação ferrífera e por coberturas de canga. Essa superfície é de fácil identificação em decorrência da fisionomia savânica que a recobre (Figura 10). Este compartimento possui relevo suavemente ondulado, com colinas de vertentes côncavas a convexas, além de extensas planícies lagunares bastante aplainadas, representando depressões doliniformes. Pequenas rupturas da cobertura laterítica ou da formação ferrífera podem ocorrer

nas encostas interiores. No entanto, ainda não foram identificadas cavernas no interior do planalto da Serra da Bocaina, como já registrado em outras serras, a exemplo da Serra Sul.

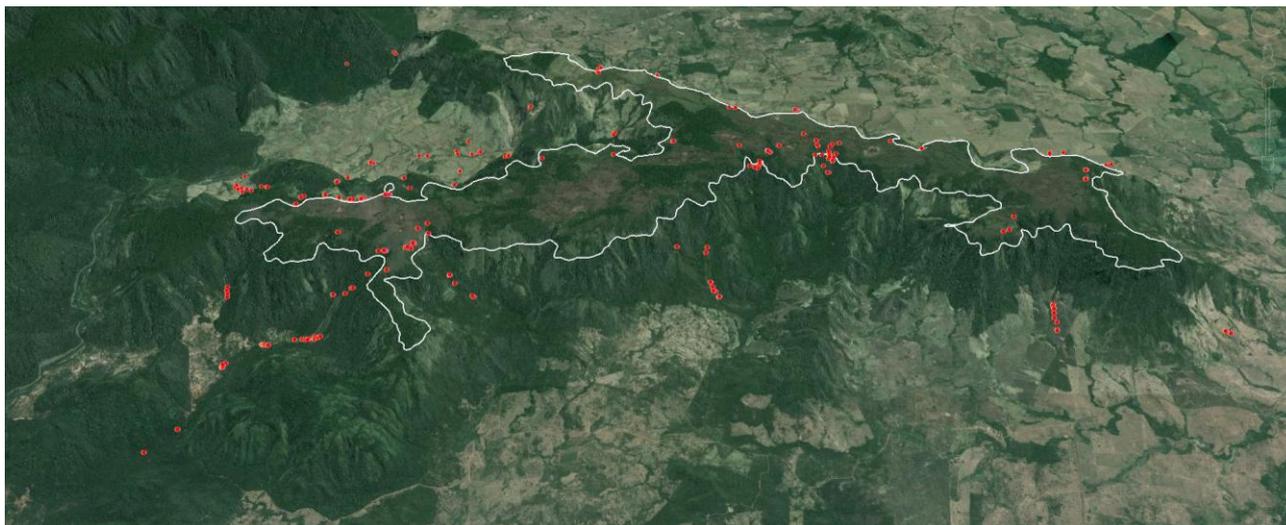


FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO DAS SUPERFÍCIES CIMEIRAS (DESTACADOS EM BRANCO) ONDE SE DESTACAM AS FORMAÇÕES FERRÍFERAS E COBERTURAS DE CANGA NA SERRA DA BOCAINA. AS CAVERNAS ESTÃO INDICADAS COM PONTOS VERMELHOS. IMAGEM: DIGITALGLOBE, 2012; GEOEYE, 2012. FONTE: GOOGLE EARTH, 2012.

Predomina, nesse compartimento, a savana arbustiva (Figura 11). Essa vegetação, de caráter xerófilo, representa um ecossistema singular de reconhecido endemismo e que se encontra preferencialmente vinculada aos domínios das rochas ferríferas (Campos & Castilho, 2012).



FIGURA 11 - VISTA DO COMPARTIMENTO DE CIMEIRA, COM TRECHO OCUPADO POR SAVANA EM PRIMEIRO PLANO. ESTA SUPERFÍCIE APLAINADA ESTÁ ASSOCIADA À COBERTURA LATERÍTICA. AO FUNDO UM FRAGMENTO DE FLORESTA SE INSTALADA EM UMA RUPTURA DA COBERTURA LATERÍTICA.

Do ponto de vista espeleológico, merecem destaque as margens da superfície cimeira (ou bordas superiores do platô), que formam escarpas rochosas, com alturas que podem variar de poucos centímetros a mais de 20 m. Uma importante parcela das cavidades estudadas está posicionada na base dessas escarpas. Essa concentração pode ser explicada pelo aumento da capacidade erosiva, em função do elevado gradiente hidráulico nesses locais. Trata-se também de um setor com forte apelo erosivo. Ao todo, 58 cavernas, representando 25% da amostra, ocorrem na borda do platô, algumas bem expressivas dimensionalmente, como a SB-0049, a SB-0070 e a SB-0212 (Figura 12).



FIGURA 12 - VISTA DA BORDA DO COMPARTIMENTO DE CIMEIRA, ONDE O ESCARPAMENTO ABRUPTO MARCA A TRANSIÇÃO DA SUPERFÍCIE APLAINADA E AS VERTENTES INCLINADAS DO PLANALTO DISSECADO. ESTE SETOR ABRIGA 25% DAS CAVERNAS DE BOCAINA. NO DETALHE A ENTRADA DE UMA CAVERNA NA BASE DO ESCARPAMENTO; A SETA INDICA SUA POSIÇÃO APROXIMADA.

Na borda superior do platô, a superfície de canga está sendo desmantelada mais acentuadamente. Diante disso, o solo torna-se mais espesso, aumentando as condições edáficas e possibilitando a fixação de uma vegetação de porte arbustivo-arbóreo. Nas bordas do platô, o contato entre a savana e os remanescentes florestais é muitas vezes abrupto, com esta última ocupando os solos mais espessos existentes abaixo da ruptura do relevo.

Após as bordas superiores do platô, predominam as vertentes inclinadas, que fazem a conexão entre a superfície cimeira com as superfícies rebaixadas (sopé). Nessas vertentes também ocorrem escarpas rochosas de canga ou da formação ferrífera, além de um número expressivo de cavernas (30% da amostra). Em termos dimensionais, importantes cavernas estão inseridas nesse setor. Entre elas podemos destacar: a SB-0007, a SB-0085 e a SB-0199.

Nas vertentes inclinadas predominam fragmentos da Floresta Ombrófila Aberta, sendo constituída por uma formação de floresta aberta com abundância de cipós. Boa parcela dessas encostas já sofreu alterações na cobertura original. Essas alterações se estendem das bordas do platô às áreas rebaixadas, onde a floresta cede espaço às pastagens. No entanto, manchas esparsas de savana ocorrem ao longo das vertentes do platô. Tais ocorrências estão, em geral, relacionadas a afloramentos isolados de canga, espessos o suficiente para impedir a fixação de uma vegetação mais densa.

No compartimento da Depressão Periférica, no sopé do planalto residual, ocorrem extensas superfícies recobertas por ferricrete (Figura 13). Parte dessa cobertura foi desmantelada por cursos d'água que drenam do planalto residual em vales em geral pouco encaixados. A ruptura do relevo nas margens desses vales é muitas vezes abrupta, com escarpamentos de altura variável que dão acesso às cavernas inseridas neste litotipo. Cavernas em ferricrete não foram as únicas registradas no compartimento da Depressão Periférica; afloramentos de canga e jaspiloto também estão presentes, apesar de menos frequentes.



FIGURA 13 - VISTA DA DEPRESSÃO PERIFÉRICA, COM SUPERFÍCIE APLAINADA NO PRIMEIRO PLANO. NO DETALHE, UMA RUPTURA DA SUPERFÍCIE SUSTENTADA PELO FERRICRETE, ONDE ESTÃO INSERIDAS AS CAVERNAS.

Pinheiro *et al.* (1985), coloca o intervalo 650-600 m, como o mais marcante para a ocorrência de cavernas em N1 (Serra Norte), na região de Carajás. Esta tendência também foi observada em outros estudos realizados em cavernas de N4E, N4WS e N5S.

Diante da distribuição das cavernas por classes hipsométricas na Serra da Bocaina foi possível registrar que a maioria (67 – 29%) das cavernas está inserida na classe 600-700 m de altitude. Essa classe abrange principalmente a borda superior do platô. As classes 200-300 m e 300-400 m também registraram números importantes de cavernas, sendo 55 cavernas (23%) até 300 m e 56 cavernas (24%) entre 300 e 400 m. Esse intervalo altimétrico corresponde ao sopé e as partes mais baixas das vertentes do planalto residual. Nas classes intermediárias, que correspondem às encostas do planalto, foi registrada uma diminuição da ocorrência de cavernas, como pode ser visto na Figura 14.

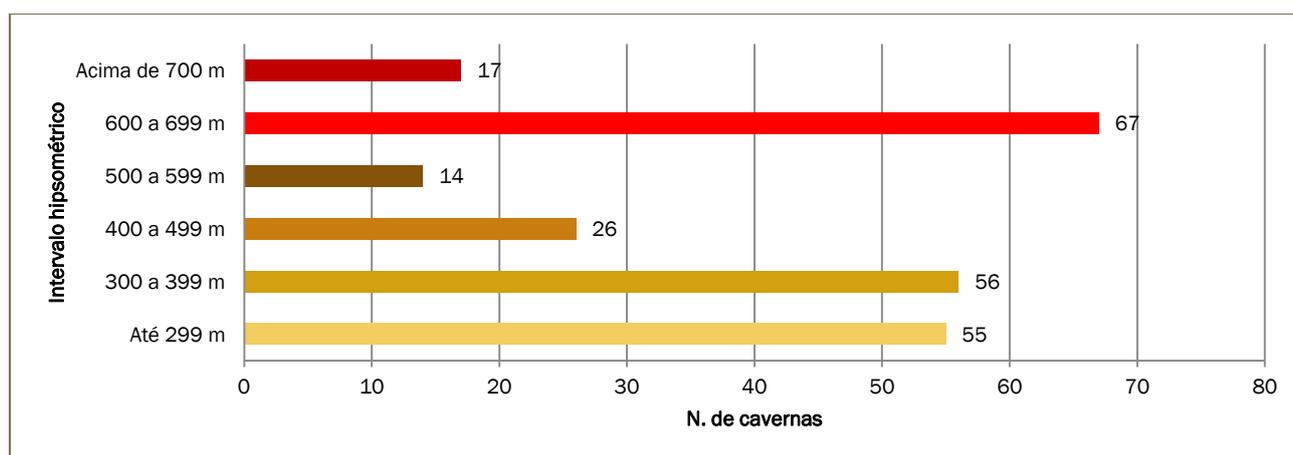


FIGURA 14 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAVERNAS DE BOCAINA POR CLASSES HIPSOMÉTRICAS.

As cavidades estudadas estão inseridas principalmente na baixa vertente (em relação ao nível de base local – talvegue mais próximo), ou seja, 56% (131) das cavernas estão nessa posição da vertente. Na alta vertente também foi registrado um número importante de cavernas: 67, representando 29% da amostra (Figura 15). Na média vertente foram identificadas 37 cavernas (16%).

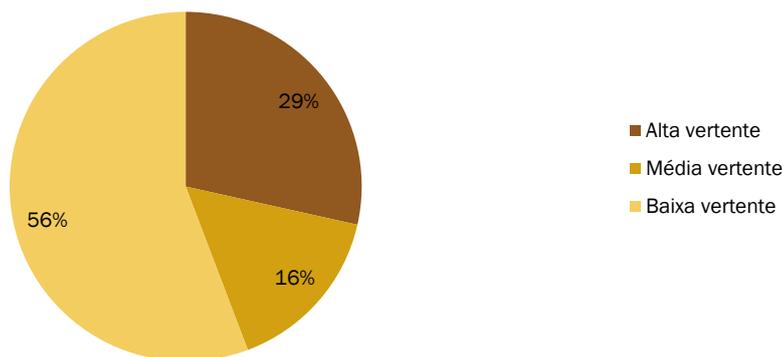


FIGURA 15 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAVERNAS NOS TRÊS SEGMENTOS DA VERTENTE.

O método *Boxplot* detecta diferenças entre grupos (populações) sem que seja necessário fazer qualquer suposição a respeito da distribuição de probabilidade associada à variável aleatória. É um método não paramétrico. A Figura 16 mostra o *boxplot* da altitude em relação à posição da caverna na vertente. As cavernas situadas na alta vertente apresentaram menor variabilidade e valores de altitude maiores. As cavernas da média vertente apresentaram grande variabilidade e a distribuição da altitude da média vertente é assimétrica à esquerda, ou seja, os dados concentram-se abaixo da mediana de 379 m. As cavernas situadas na baixa vertente também apresentaram uma grande variabilidade nos dados com assimetria também à esquerda, abaixo da mediana de 321 m. As cavernas na baixa vertente apresentaram um valor extremo de 733 m, representado no gráfico no ponto ao extremo da caixa.

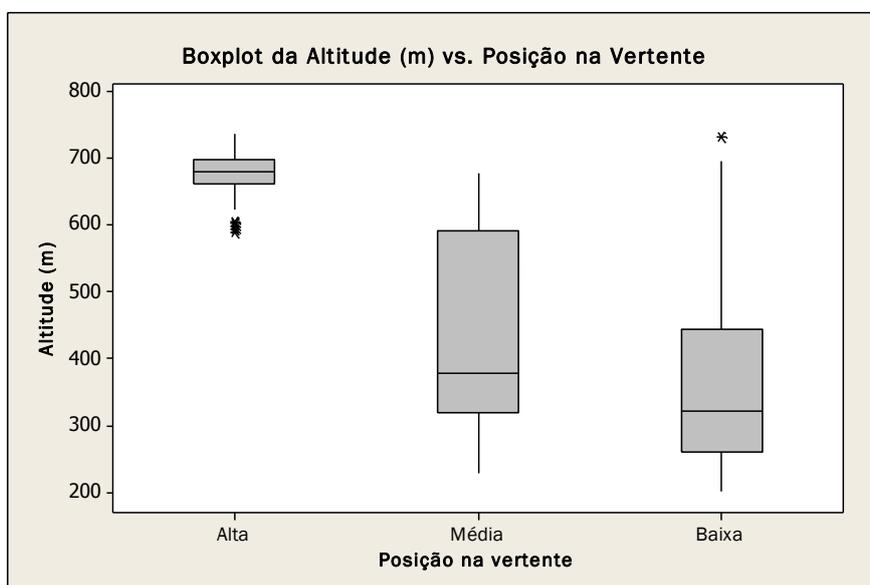


FIGURA 16 - GRÁFICO BOXPLOT GERADO PARA A ALTITUDE, EM RELAÇÃO À POSIÇÃO NA VERTENTE DAS CAVERNAS DE BOCAINA.

Com relação à proximidade com a água, 66 cavernas estão inseridas na borda de drenagem, representando 28% da amostra. Nesse contexto, as cavernas SB-0016, SB-0026, SB-0147, SB-0199 e SB-0229 são as mais expressivas. Já no interior da calha de drenagem foram registradas 26 (11%) cavernas.

Os paredões rochosos onde se inserem as cavernas estão distribuídos de forma escalonada ao longo das vertentes inclinadas que limitam o planalto residual. 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 4,2 m, com altura máxima de aproximadamente 20 m, observada nas cavernas SB-0078 e SB-0106, respectivamente, e mínima de 0,5 m, registrada na caverna SB-0143. No sopé do planalto e nas áreas mais rebaixadas, as cavidades estão inseridas principalmente na borda de calhas de drenagem. Neste compartimento a superfície ligeiramente inclinada ou aplainada recoberta pelos ferricretes foi entalhada, expondo as entradas das cavernas. As cavernas SB-0146, SB-0147 e SB-0151 são bons exemplos desse tipo de inserção (Figura 17).



FIGURA 17 - A) ESCARPA GERADA PELA RUPTURA DA COBERTURA DE CANGA NA ENTRADA DA CAVERNA SB-0010, LOCALIZADA NA BORDA DO PLANALTO RESIDUAL. B) RUPTURA DA COBERTURA DE FERRICRETE NA ENTRADA DA CAVERNA SB-0146, LOCALIZADA NA BORDA DE UMA DRENAGEM NO SOPÉ DO PLANALTO RESIDUAL.

A maior parte das escarpas onde ocorrem cavernas está em posição perpendicular ao maior gradiente da encosta, em geral com as entradas das grutas voltadas para jusante. Ao todo, 139 cavernas (59%) encontram-se nesse tipo de escarpamento. Também ocorrem cavernas com entradas localizadas em escarpas paralelas ao maior gradiente da vertente; elas representam apenas 6% da amostra, somando 15 cavernas. Este tipo de inserção é comum em locais onde escarpas perpendiculares ao gradiente da encosta foram parcialmente desmanteladas pela erosão remontante, como no caso da gruta SB-0146 (Figura 17). Cavernas inseridas em anfiteatros correspondem a 14% da amostra, ou seja, 32 cavernas. Também há registro de cavernas com entradas em pequenos dolinamentos, gerados por colapso de parte do vazio subterrâneo. Essas cavernas são poucas, apenas três, correspondendo a 1% da amostra. Cavernas em depósitos de tálus foram sete (3%), ou seja, são pouco muito frequentes (Figura 18).

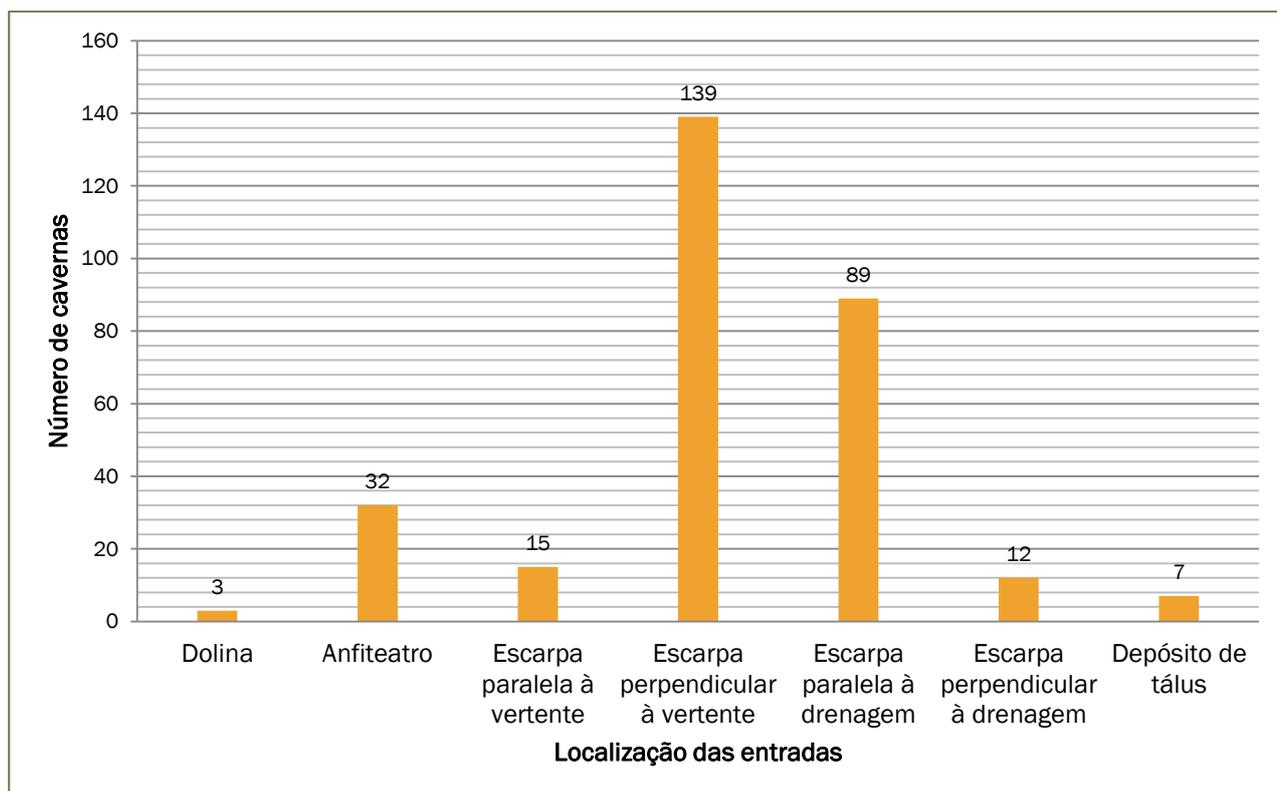


FIGURA 18 - NÚMERO DE CAVIDADES EM FUNÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE SUAS ENTRADAS.

LITOLOGIA E ESTRUTURAS

Os tipos litológicos observados nas cavernas da Serra da Bocaina podem ser divididos em três grupos principais:

- Formação ferrífera – este grupo é composto por cavernas inseridas em jaspilito (58 - 25%), canga (48 - 20%), no contato entre essas duas rochas (15 - 6%), e no contato entre essas e a rocha máfica (duas - 1%). Foram registradas 123 cavernas nesse grupo litológico (52% da amostra).
- Ferricrete – este grupo abrange 102 cavernas (43%) inseridas exclusivamente em ferricrete e três cavernas (1%) no contato entre o ferricrete e a rocha máfica. Nessas três cavidades o ferricrete é o litotipo predominante.
- Metabasalto – este grupo é composto por nove cavernas (4%) totalmente inseridas em rochas máficas decompostas e uma caverna no contato entre a máfica e o ferricrete. Nesta última a máfica é a rocha predominante.

A frequência de cavernas em função do litotipo é apresentada na Figura 20.

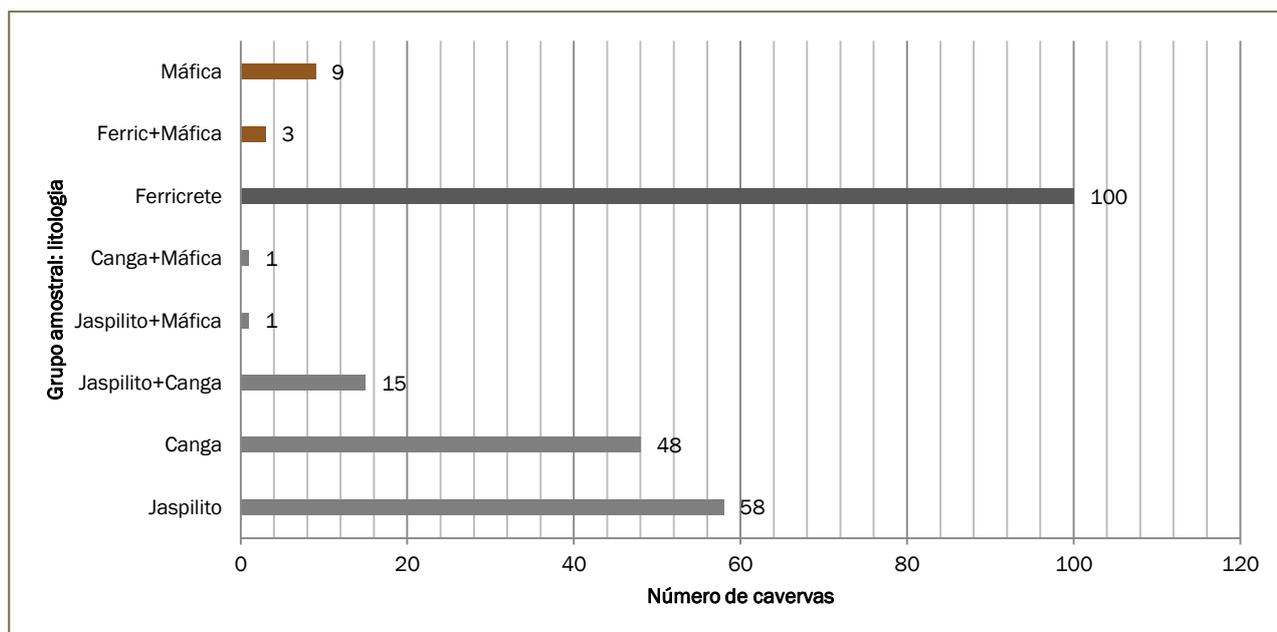


FIGURA 19 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAVERNAS DA SERRA DA BOCAINA EM FUNÇÃO DO LITOTIPO.

Cavernas na formação ferrífera e canga

A formação ferrífera da região de Carajás insere-se na sequência metavulcanossedimentar arqueana do Grupo Grão Pará. Jaspilitos e minérios compõem a denominada Formação Carajás, sobreposta e sotoposta por rochas máficas. A presença de feições sedimentares preservadas atesta condições de baixo grau metamórfico (Lobato *et al.*, 2005).

Regionalmente, os jaspilitos apresentam a clássica intercalação de bandas claras e escuras de espessura milimétrica a centimétrica de óxido de ferro e sílica microcristalina (jaspe e chert). As mesobandas escuras são constituídas principalmente por hematita e magnetita de forma subordinada. Nas cavernas estudadas o jaspilito (Figura 20) se caracteriza pela ocorrência de bandas alternadas de hematita e jaspe. A espessura dessas camadas é milimétrica, mas pode atingir um ou dois centímetros no caso da hematita. As bandas de jaspe são geralmente milimétricas a centimétricas.



FIGURA 20 - JASPILITO NA CAVIDADE SB-0106: AS CAMADAS DE COLORAÇÃO CINZA, CONSTITUÍDAS DE HEMATITA PREDOMINAM SOBRE O JASPE (MANCHAS AVERMELHADAS).

Macambira & Schrank (2002), através da análise de 62 amostras de jaspilito na Serra Norte, revelaram teores médios de $Fe_2O_3T = 53,65\%$; $SiO_2 = 44,60\%$; $Al_2O_3 = 0,63\%$; $FeO = 1,31\%$; $MnO = 0,06\%$; $MgO = 0,1\%$; $CaO = 0,04\%$; $Na_2O = 0,04\%$; $K_2O = 0,02\%$; $P_2O_5 = 0,01\%$ e $PF = 0,73\%$ (Tabela 4). Os mesmos autores efetuaram análises específicas nas bandas do jaspilito e concluíram que há muito mais silício na banda clara do que ferro na banda escura, ou seja, a rocha é, de fato, chert (ou jaspe) intercalado com camadas de óxidos de ferro.

Encaixado na camada de jaspilito, ocorrem corpos de minério de ferro de alto teor, gerados por enriquecimento da rocha ferrífera, através de reações e processos químicos, envolvendo fluidos hidrotermais (Lobato et al., 2005).

O minério de ferro bandado observado nas cavernas da Bocaina é constituído predominantemente por bandas de hematita com espessura variando entre poucos milímetros e cerca de três centímetros. Entre as camadas é comum a ocorrência de vazios milimétricos a centimétricos, outrora preenchidos pela sílica. No entanto, a ocorrência de vazios não é uma regra, uma vez que as camadas hematíticas podem por vezes se apresentar compactas ou preenchidas por neoformações.

TABELA 4 - ÓXIDOS DOS ELEMENTOS MAIORES DE 62 AMOSTRAS DE JASPILITO NA SERRA NORTE. FONTE: MACAMBIRA & SCHRANK (2002).

Óxidos (%)	Mínimo	Média	Máximo
SiO_2 (62)	27,34	44,6	64,94
TiO_2 (31)	0,01	0,02	0,07
Al_2O_3 (59)	0,07	0,63	4,16
FeO (19)	0,29	1,31	2,43
Fe_2O_3T (62)	32,6	53,65	70,28
Fe_2O_3T/FeO (19)	17,81	53,96	194,48
MnO (62)	0,01	0,06	1,7
MgO (60)	0,01	0,1	2,3

CaO (62)	0,01	0,04	0,23
Na ₂ O (12)	0,01	0,04	0,18
K ₂ O (55)	0,01	0,02	0,08
P ₂ O ₅ (43)	0,01	0,01	0,05
P.F. (55)	0,1	0,73	2,91

O grau de intemperismo é bastante variável, ou seja, é possível observar desde a rocha sã até rocha com alto grau de intemperismo (Figura 21). Também foi observado que em uma mesma caverna é possível detectar o jaspilite, o minério e a rocha bastante alterada, a exemplo da caverna SB-0046. Em algumas cavernas, como a SB-0046, SB-0047 e SB-0049 foram registrados veios de quartzo na formação ferrífera.

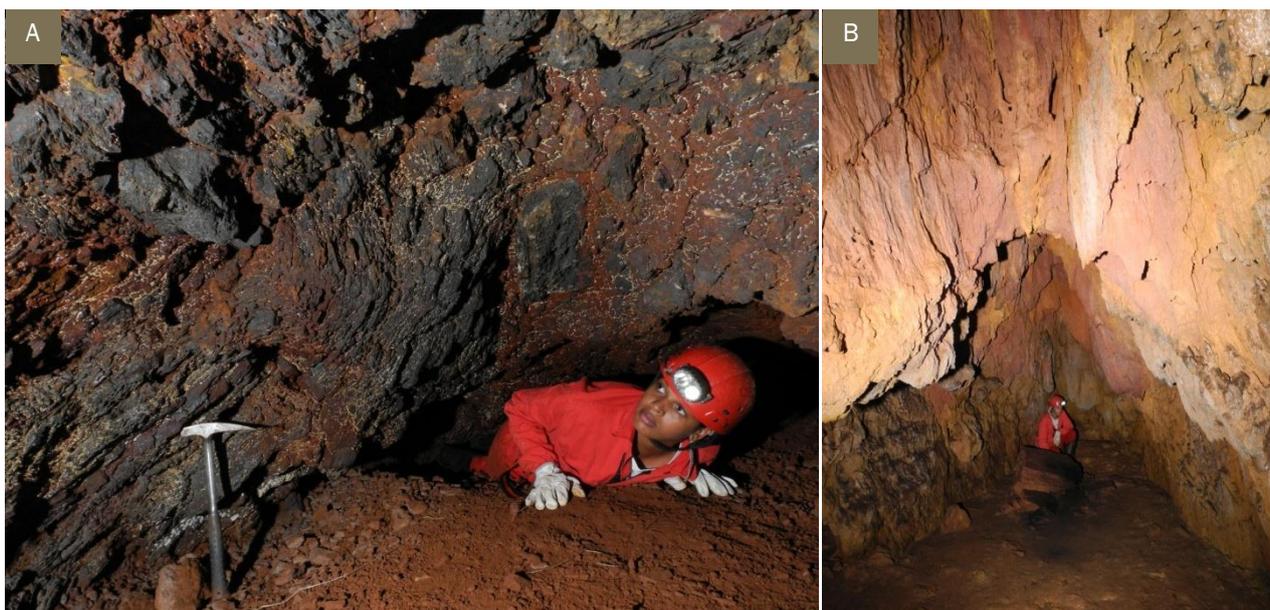


FIGURA 21 - MINÉRIO DE FERRO POUCO ALTERADO NA CAVERNA SB-0162 (A); MINÉRIO COM ALTO GRAU DE ALTERAÇÃO NA CAVIDADE SB-0046 (B).

Figueiredo e Silva (2009), estudando a gênese e evolução do minério de ferro em Serra Norte (N5S e N5E), efetuaram a química global de 26 amostras, revelando valores médios de $Fe_2O_3=96,7$; $SiO_2=2,46$; $Al_2O_3=0,67$; $MgO=1,0$; $CaO=0,44$ (Figura 23).

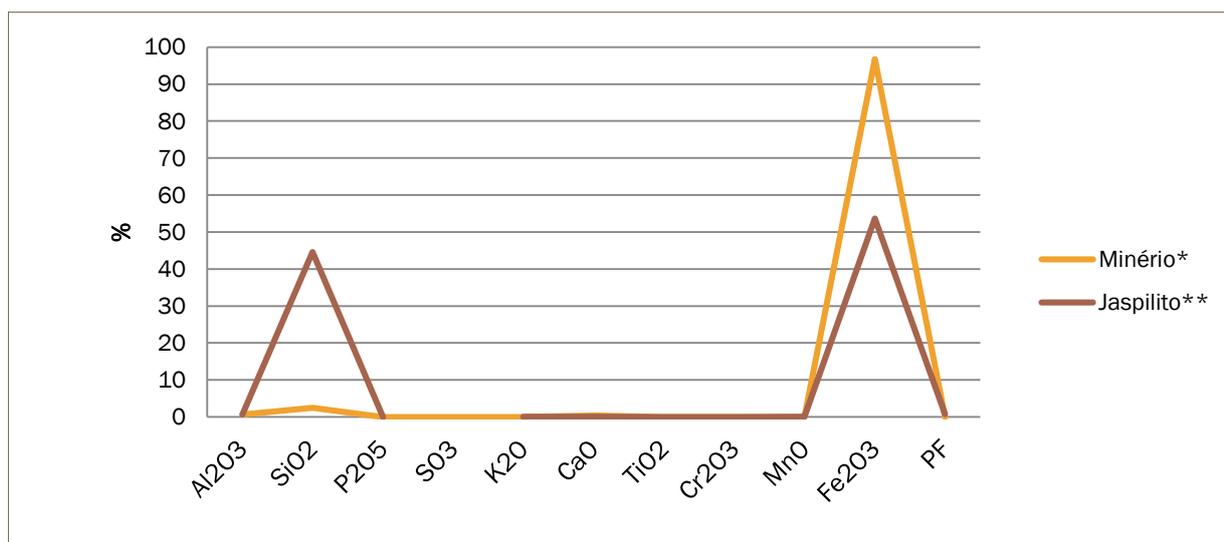


FIGURA 22 - PORCENTAGEM MÉDIA DOS ÓXIDOS DOS ELEMENTOS MAIORES DE 26 AMOSTRAS DE MINÉRIO DE FERRO DE SERRA NORTE ESTUDADOS POR FIGUEIREDO E SILVA (2009)* E PORCENTAGEM MÉDIA DE 62 AMOSTRAS DO JASPILITO ESTUDADAS POR MACAMBIRA & SCHRANK (2002)**.

Foram observados dois tipos de canga na área de estudo: a canga detrítica e a canga química. A primeira se caracteriza pela ocorrência de clastos da formação ferrífera cimentados por matriz limonítica. A dimensão do material clástico observado varia entre grânulo a matacão, com predomínio de seixos (Figura 23). A forma dos clastos varia entre arredondada a angulosa, sendo a forma subangulosa a mais comum. A matriz pode ser vermelha, marrom-avermelhada ou amarelada. Na canga detrítica clássica a matriz é geralmente incipiente, ou seja, a rocha é praticamente clasto suportada. Essa canga pode ser observada nas cavernas SB-0010, SB-0011, SB-0013, dentre outras.

Na caverna SB-0069 registrou-se uma canga bastante grosseira (Figura 23). A rocha é de origem coluvionar, se posicionando no sopé da Serra da Bocaina. Predominam calhaus, mas ocorrem matações, seixos e grânulos de modo secundário. Os clastos são subarredondados, indicando transporte, sendo constituídos predominantemente pelo jaspilito. A matriz ora é mais expressiva ora é reduzida, constituída de material ferruginoso vermelho ou amarelo.

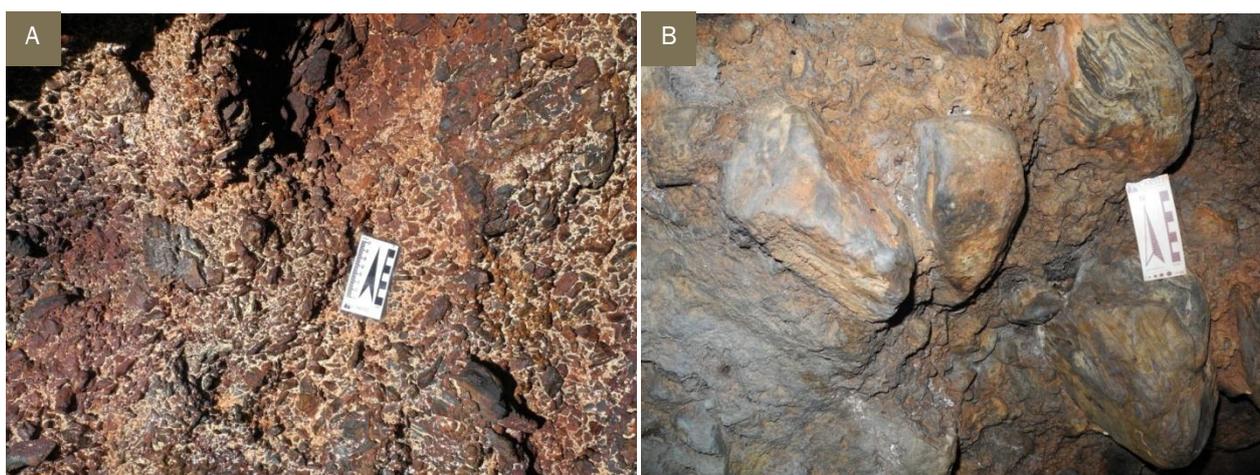


FIGURA 23 - VARIAÇÃO GRANULOMÉTRICA DA CANGA DETRÍTICA: A) CLASTOS COM TAMANHO SEIXO A CALHAU, COM PREDOMÍNIO DE SEIXOS (SB-0029) E B) COM PREDOMÍNIO DE CALHAUS (SB-0069).

A canga química pode ocorrer sobre rochas máficas sendo caracterizada por raros fragmentos saprolitizados dessas rochas e da formação ferrífera. A matriz é predominantemente lamosa de coloração vermelha a amarelada.

É comum a ocorrência de fácies mais lamosa associadas à canga detrítica. Caracterizam-se pela pouca presença ou mesmo pela ausência de clastos, a exemplo do que pode ser observado nas cavernas SB-0012 (Figura 24), SB-0070, SB-0089 e SB-0136. Também foi observada deposição de material mais fino em juntas de alívio, canalículos ou em diferentes níveis do pacote rochoso. Na caverna SB-0037 foi possível registrar pelo menos duas fácies, sendo a superior mais lamosa com clastos menores e a inferior mais grosseira (cascahenta).



FIGURA 24 - CANGA QUÍMICA EM CONTATO COM A CANGA DETRÍTICA NA CAVERNA SB-0012.

Em cavernas no contato entre a canga e a formação ferrífera bandada, a exemplo das cavidades SB-0012 e SB-0029, é possível registrar a canga estruturada, ou seja, uma canga ainda com certa filiação com as estruturas da formação ferrífera.

Piló & Auler (2011) coletaram cinco amostras de matriz que envolve os clastos de hematita ou fragmentos da formação ferrífera bandada da canga de Serra Sul, revelando valores médios (em porcentagem) de $Fe_2O_3=84,82$; $SiO_2=0,78$; $Al_2O_3=5,8$; $P_2O_5=1,63$; $SO_3=0,12$ (Figura 25). Mereceu atenção o aumento dos valores de alumínio em relação ao minério de ferro, assim como a presença do fósforo (inferior a 2%) e do enxofre (inferior a 1%). Na amostra da caverna S11D-13, o fósforo chegou a registrar 2,7%.

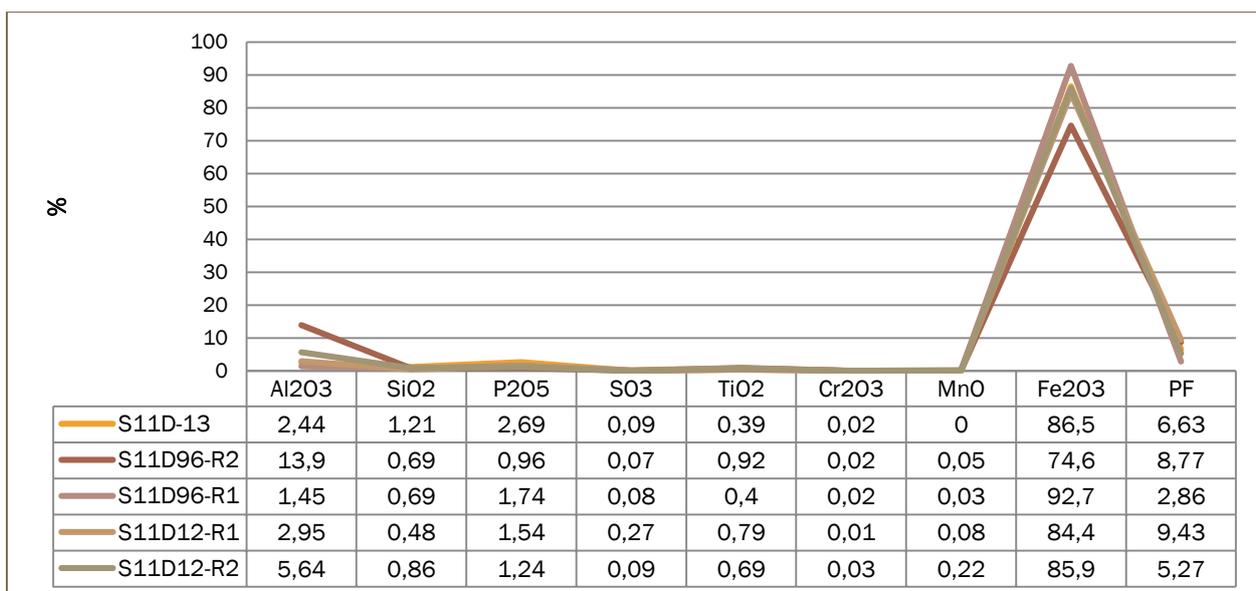


FIGURA 25 - ÓXIDOS DOS ELEMENTOS MAIORES DE CINCO AMOSTRAS DA MATRIZ DE CANGA DETRÍTICA DE CAVERNAS DE SERRA SUL.

Cavernas em metabasalto (máficas)

Rochas máficas foram identificadas em 14 cavernas. Em nove dessas cavernas é o único litotipo e, em uma (SB-0166), é o litotipo predominante, associado ao ferricrete que aflora apenas em algumas partes do teto. As demais cavernas, onde ocorre a máfica, como litotipo não predominante são: SB-0164, SB-0167, SB-0178 E SB-0179. É importante salientar que houve dificuldade para registrar de forma incontestável a ocorrência de rochas metabasálticas em algumas cavernas (SB-0009 e SB-0021). Isso particularmente em decorrência do alto grau de alteração das rochas.

Das 10 cavidades em metabasalto, apenas duas (SB-0009 e SB-00059) estão nas bordas do platô, as demais estão distribuídas ao longo das vertentes inclinadas do planalto residual.

O metabasalto pouco alterado possui coloração cinza esverdeada e granulação fina, mas nas cavernas estudadas, encontra-se em elevado grau de alteração. Sua coloração varia do vermelho ao vermelho-amarelado, com aspecto saprolítico e alta porosidade (Figura 26). A presença de muitos alvéolos é marcante, e, localmente apresenta concentração de material ferruginoso principalmente entre fraturas, que representam frentes de alteração. Nestes pontos a coloração torna-se castanho-avermelhada. Estruturas do tipo *boxwork* são recorrentes nesse litotipo, e foram observadas em 16 cavernas (SB-0007, SB-0042, SB-0049, SB-0051, SB-0081, SB-0083, SB-0085, SB-0087, SB-0088, SB-0099, SB-0163, SB-0166, SB-0168, SB-0178, SB-0179 e SB-0183), com exceção da SB-0168, todas as demais estão alojadas em rocha máfica, ou no contato entre esta e outros litotipos (Figura 26).

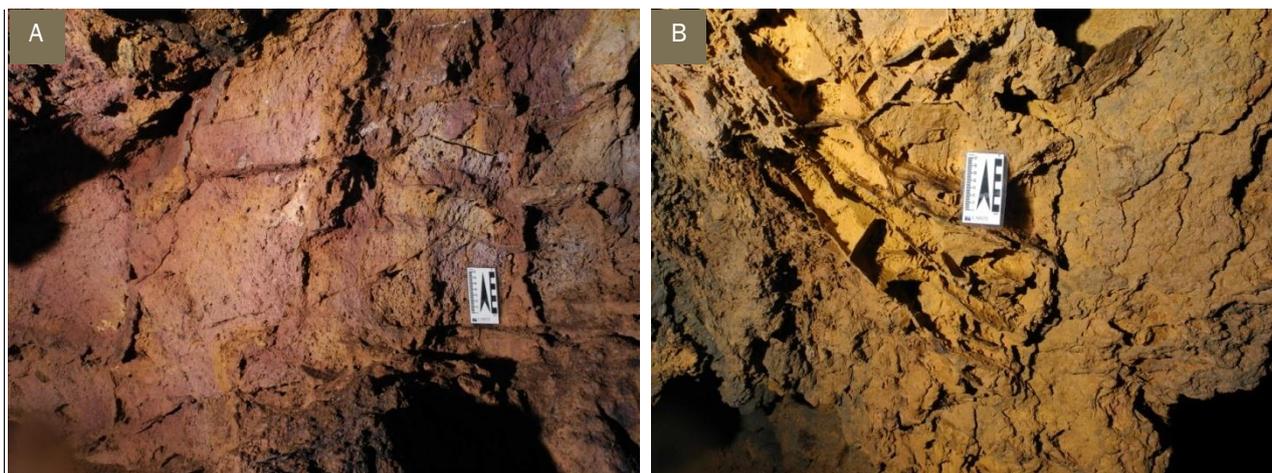


FIGURA 26 - A) METABASALTO ALTERADO NA CAVERNA SB-0007; B) DETALHE DE ESTRUTURAS DO TIPO BOXWORK, NA MESMA CAVERNA.

Para caracterização das rochas vulcânicas foram utilizados dados de 14 amostras estudadas por Meirelles & Dardenne (1991) na Serra Norte, além de três amostras coletadas em cavernas da Serra Sul por Piló & Auler (2011): amostras S11D-47R1, S11D-47R2 e CAV-35.

Inicialmente é possível registrar que as amostras das cavernas exibem altos valores de perda ao fogo (PF até 14,7%), indicando intensa alteração e hidratação da rocha, ou seja, as cavernas estão inseridas em rochas muito alteradas (Figura 27).

As amostras das cavernas também registraram um claro enriquecimento do ferro. A amostra S11D-47R2 apresentou concreções de ferro no interior da massa argilosa, o que gerou um valor de ferro elevado (57,3%). Nota-se, também, uma lixiviação do cálcio, da sílica e do magnésio nas amostras das cavernas. O alumínio, por sua vez, se mostrou mais estável.

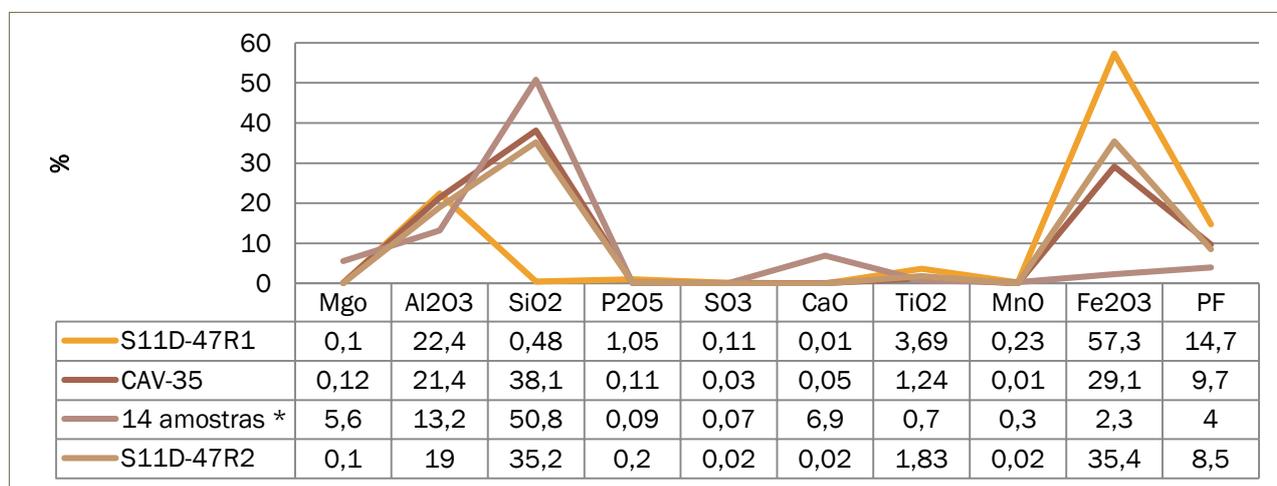


FIGURA 27 - ÓXIDOS DOS ELEMENTOS MAIORES DE 14 AMOSTRAS DE ROCHA MÁFICA ESTUDADA POR MEIRELLES & DARDENNE (1991) E TRÊS AMOSTRAS DE ROCHA MÁFICA ALTERADA DE CAVERNAS DE SERRA SUL (PILÓ & AULER, 2011).

Cavernas em ferricrete

As cavidades inseridas em ferricrete estão distribuídas principalmente no sopé das encostas inclinadas da Serra da Bocaina. Este litotipo está presente em 103 cavidades (44%), sendo que em 100 cavernas é a única rocha. Em três cavernas (SB-0164, SB-0166 e SB-0167) ocorre em conjunto com a máfica, sendo a rocha predominante exceto na SB-0166.

A rocha é constituída por um colúvio ferruginizado depositado principalmente sobre rochas vulcânicas máficas ou gnaisses do Complexo Xingu. É comum que nos afloramentos externos onde

se inserem as cavernas o ferricrete se apresenta mais endurecido, possivelmente devido à desidratação e oxidação, formando uma carapaça dura (*duricrust*), de coloração acinzentada que recobre a superfície sustentando o teto de algumas cavidades (Figura 28).



FIGURA 28 - AFLORAMENTO DE FERRICRETE NA DEPRESSÃO PERIFÉRICA, PRÓXIMO AO SOPÉ DA SERRA DA BOCAINA. ENTRADA DA CAVERNA SB-0142.

O ferricrete apresenta-se em geral com coloração vermelha e/ou amarela (Figura 29). Em alguns casos, como registrado nas cavernas SB-0164, SB-0169 e SB-235, o ferricrete é constituído por matriz ferruginosa praticamente sem clastos. Em geral a rocha se mostra bastante alterada e friável, com porosidade elevada, na forma de furos tubulares com dimensão centimétrica. Nas cavernas SB-0164 e SB-0169 a identificação do ferricrete foi bastante dificultada pela quase ausência de clastos e pela alteração apenas superficial da rocha (máfica?). Em ambas as cavidades, o ferricrete se apresenta maciço e extremamente duro, ao contrário do que se observa na maior parte das cavernas. A porosidade é quase nula e clastos foram identificados apenas de modo pontual na SB-0164 e no maciço onde estão inseridas as duas grutas. A coloração amarela é apenas superficial (aproximadamente de 1 cm de espessura) devido à alteração da rocha para goethita (Figura 29).



FIGURA 29 - A) FERRICRETE ALTERADO DE COLORAÇÃO VARIEGADA (VERMELHO E AMARELO) COM POROSIDADE ELEVADA NA CAVERNA SB-0235; B) FERRICRETE DE COR AMARELA COM ALTERAÇÃO APENAS SUPERFICIAL COM PREDOMÍNIO DE GOETHITA NA CAVERNA SB-0169.

Na maior parte das cavernas, o ferricrete é composto por clastos cuja granulometria varia de grânulos a matacões, sendo o seixo o tamanho mais comum, a exemplo da SB-0001, SB-0003 e SB-0017 (Figura 30). Os clastos variam de subangulosos a subarredondados e são compostos por rocha máfica alterada, formação ferrífera, quartzo e em alguns caso por fragmentos do próprio ferricrete retrabalhado. Em algumas cavernas, entre elas a SB-0168, predominam clastos de tamanho matacão (Figura 30).

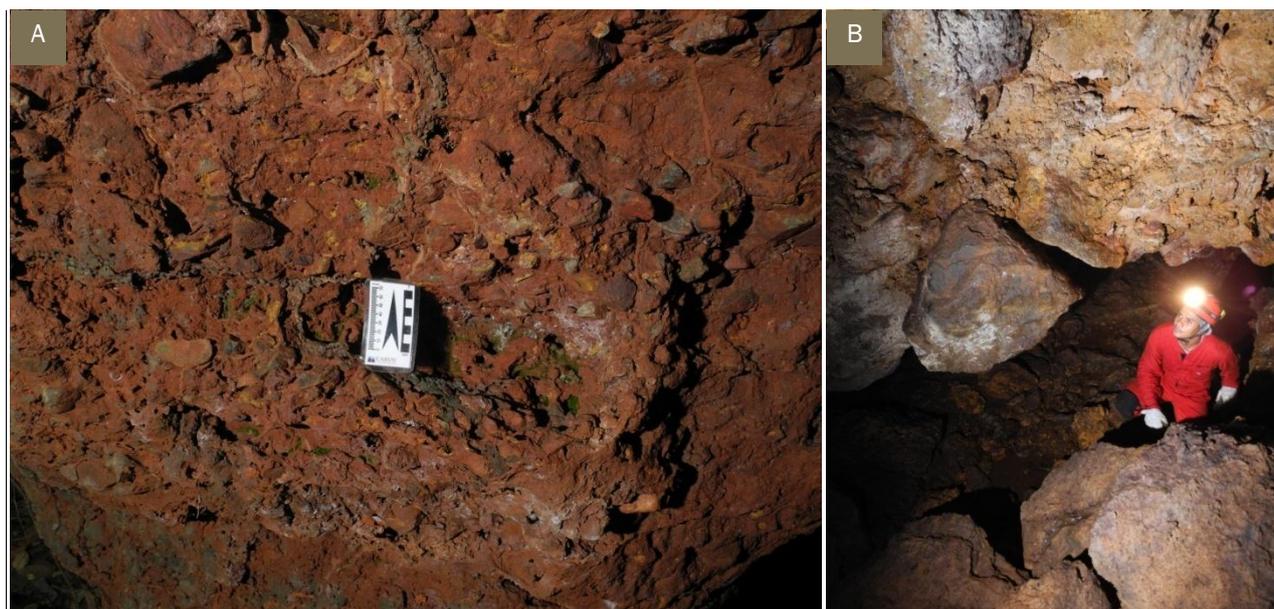


FIGURA 30 - A) FERRICRETE COM SEIXOS NA CAVERNA SB-0001; B) FERRICRETE COM PREDOMÍNIO DE MATAÇÕES NA CAVERNA SB-0168.

Em algumas cavidades como a SB-0140, SB-0151, SB-0152, SB-0153, SB-0237, SB-0238, entre outras, foi possível identificar de forma bastante clara a ocorrência de duas fácies deposicionais, uma argilosa mais porosa na base, outra cascalhenta e com porosidade reduzida no topo. Em outras cavernas, como a SB-0229, há intercalações e o nível cascalhento é visto em diferentes níveis em meio ao pacote argiloso (Figura 31). Os clastos apresentam tamanho variado, assim como o grau de arredondamento. Não pode ser descartada a possibilidade de que se trate de um antigo leito fluvial.



FIGURA 31 - A) FERRICRETE COM FÁCIE ARGILOSA SOTOPOSTA A NÍVEL CASCALHENTO NA CAVERNA SB-0238; B) NA CAVERNA SB-0229 O NÍVEL CASCALHENTO (SETA) ESTÁ NO MEIO DO PACOTE ARGILOSO.

Piló & Auler (2011) selecionaram oito amostras em cavernas para caracterização dos ferricretes, revelando valores médios percentuais de $Fe_2O_3=48,02$; $SiO_2=22,16$; $Al_2O_3=17,25$; $P_2O_5=0,62$; $SO_3=0,15$ (Figura 32). Mereceu destaque o alto valor do ferro (81,4%) do ferricrete da caverna CAV-41, o que implicou em baixos valores de sílica e alumínio e o maior valor de fósforo (2,67%). Na amostra S11D-101 foi registrado o menor valor de sílica (1,71%) e, conseqüentemente, o maior valor de alumínio (30,6%) (

Tabela 5).

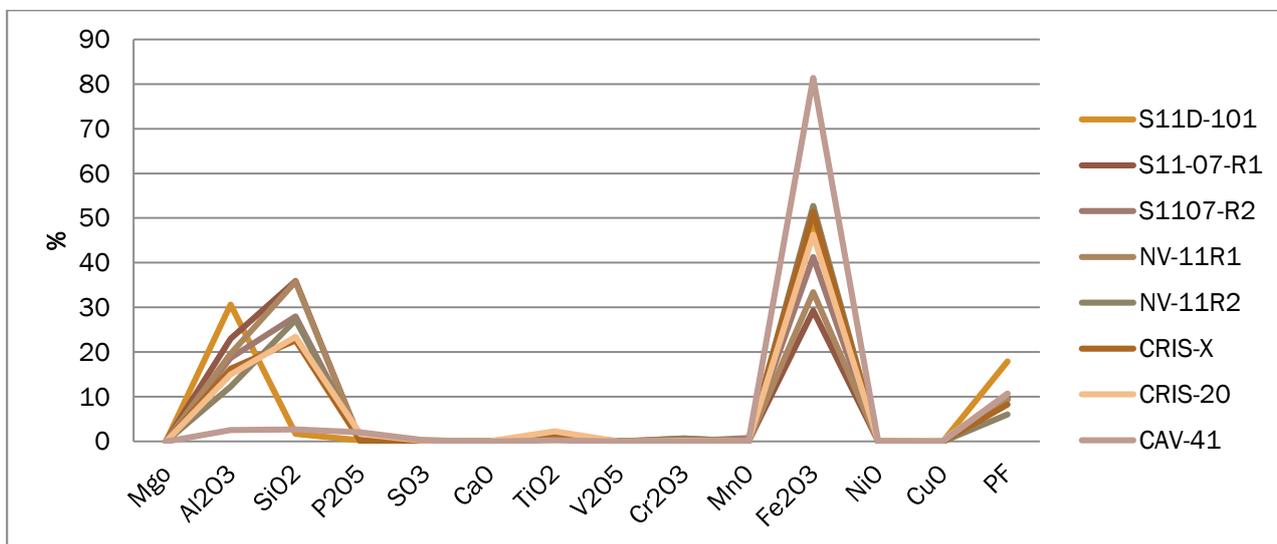


FIGURA 32 - ÓXIDOS DOS ELEMENTOS MAIORES DE OITO AMOSTRAS DE FERRICRETE DE CAVERNAS DA REGIÃO DE CARAJÁS. FONTE: PILÓ & AULER, 2011.

TABELA 5 - ÓXIDOS DOS ELEMENTOS MAIORES DE OITO AMOSTRAS DE FERRICRETE. VALORES EM PORCENTAGEM. FONTE: PILÓ & AULER, 2011.

	S11D-101	S11-07-R1	S1107-R2	NV-11R1	NV-11R2	CRIS-X	CRIS-20	CAV-41
MgO	nd	0,04	0,07	0,03	nd	nd	nd	nd
Al ₂ O ₃	30,6	23	18,7	19,6	12,3	16,3	15	2,55

SiO ₂	1,71	35,9	28	35,8	27,2	22,6	23,4	2,67
P ₂ O ₅	0,23	0,09	0,19	0,27	0,31	0,19	1,68	2,04
SO ₃	0,28	0,17	0,04	0,07	nd	nd	0,09	0,24
CaO	nd	0,02	0,08	0,03	nd	nd	0,03	nd
TiO ₂	0,8	1,12	1,01	0,69	0,7	1,11	2,23	0,26
V ₂ O ₅	0,04	0,08	0,11	0,03	nd	nd	nd	0,01
Cr ₂ O ₃	0,04	0,05	0,06	0,62	0,67	nd	0,13	0,01
MnO	nd	0,07	0,79	0,06	nd	0,11	0,06	0,02
Fe ₂ O ₃	48,4	29,3	41,3	33,4	52,7	51,4	46,3	81,4
NiO	nd	0,02	0,01	0,04	0,04	nd	0,03	nd
CuO	0,01	0,06	0,06	0,03	nd	nd	0,22	0,02
PF	17,9	9,84	9,39	9,31	6,04	8,27	10,7	10,7

Através do gráfico do tipo *Boxplot* buscou-se avaliar as relações entre os diferentes litotipos e a altitude (Figura 33). Os espaços entre as diferentes partes da caixa representam a dispersão dos dados (variabilidade) e grau de assimetria (obliquidade) dos dados, além de identificar os valores atípicos (*outliers*) através dos asteriscos. Diante do gráfico foi possível constatar que as cavernas situadas na Canga apresentaram grande variabilidade na altitude, enquanto as litologias Canga/Máfica, Jaspilito/Máfica e Ferricrete/Máfica apresentaram pequena variabilidade de valores. As cavernas de Ferricrete encontram-se concentradas em altitudes menores das demais litologias, com alguns valores extremos em altitudes maiores.

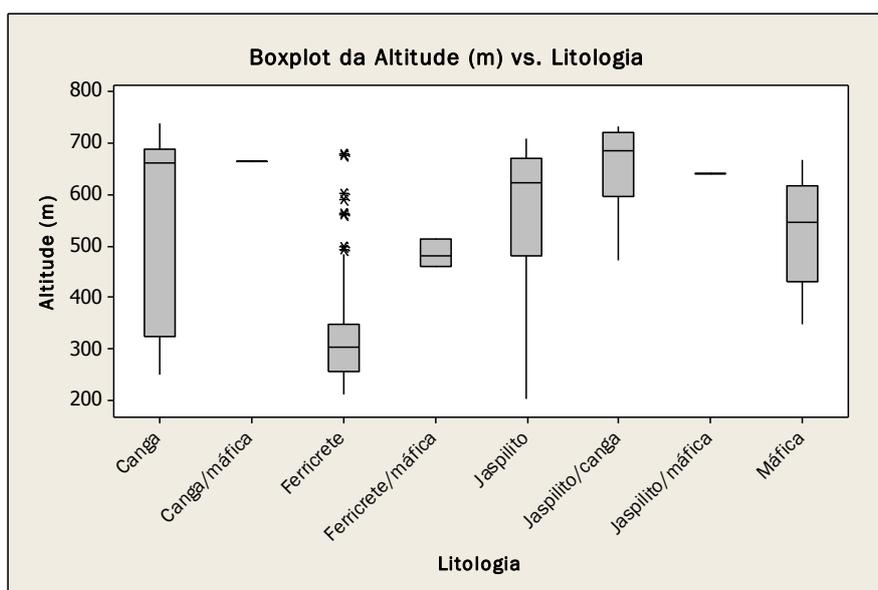


FIGURA 33 - GRÁFICO BOXPLOT DAS RELAÇÕES ENTRE ALTITUDE E OS DIFERENTES LITOTIPOS.

As estruturas geológicas registradas nas cavernas da Serra da Bocaina podem ser caracterizadas pelo bandamento, fraturas, juntas de alívio, dobras e acamamento, esta última com menor frequência.

Estruturas representadas por planos de deposição sub-horizontais a inclinados foram identificados em ferricretes e cangas de seis cavernas: SB-0073, SB-0140, SB-0152, SB-0186, SB-0198 e SB-0207. Em algumas dessas grutas os planos de deposição coincidem com as diferenças de fácies já descritas.

Na formação ferrífera, o bandamento foi observado claramente em 57 cavidades, perfazendo 24% das cavernas estudadas. 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 hematita e jaspe. Com base em 75 medidas observou-se que os eixos predominantes foram N-S,

com caimento para leste e WSW-ENE, com caimento SSE. Outras direções ocorrem de forma subordinada, como mostra a Figura 34.



FIGURA 34 - GRÁFICO DE ROSETA DA ATITUDE DA FORMAÇÃO FERRÍFERA (N=75): (A) DIREÇÃO E (B) MERGULHO DAS CAMADAS.

Fraturas, independentemente da litologia, foram observadas em 103 cavernas, representando 44% da amostra. Medidas de 37 fraturas nas cavidades de Bocaina indicaram os eixos SW-NE, SE-NW e E-W como os mais frequentes (Figura 35).

Uma análise das direções principais dos condutos (322 segmentos medidos) foi realizada com base nos mapas topográficos. A maior parte dos alinhamentos se concentrou no eixo E-W, seguido dos eixos SW-NE e SE-NW, demonstrando concordância com os eixos principais de alinhamento de fraturas.

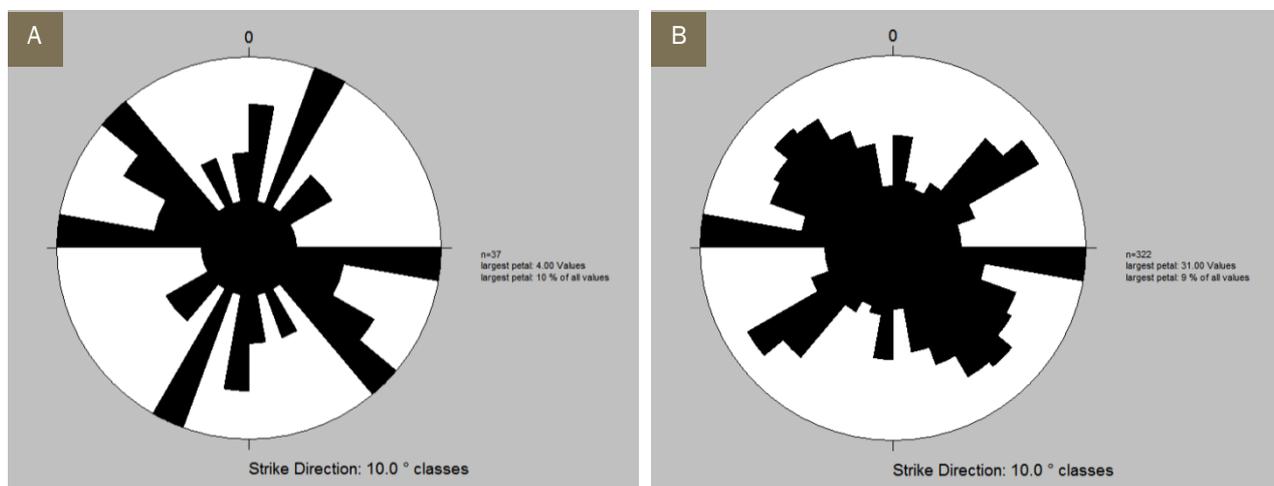


FIGURA 35 - A) GRÁFICO DE ROSETA DA DIREÇÃO DE FRATURAS (N=37); B) GRÁFICO DE ROSETA DOS EIXOS PRINCIPAIS DOS CONDUTOS (N=322).

Fraturas muitas vezes podem exercer influência na espeleogênese das cavidades. Essas discontinuidades facilitam o fluxo da água no interior do maciço rochoso. Controle morfológico através de fraturas foi observado nas cavernas SB-0010, SB-0188, SB-0106, dentre outras. Foram observadas fraturas preenchidas por crostas ferruginosas bandadas ou por veios de quartzo (Figura 36). Importantes frentes de alteração também são guiadas por essas estruturas através da percolação da água.



FIGURA 36 - FRATURA PREENCHIDA POR CROSTA NA CAVERNA SB-0049.

Juntas possivelmente de alívio ocorreram na grande maioria das cavernas. São caracterizadas por descontinuidades irregulares, dispostas de forma subhorizontal, subvertical ou mesmo oblíqua. A espessura varia entre poucos milímetros a poucos centímetros. Assim como as fraturas, as juntas de alívio podem influenciar no desenvolvimento de condutos ou alterar sua morfologia.

O bandamento também exerce influência no condicionamento morfológico das cavernas, a exemplo das cavernas SB-0077, SB-0067, SB-0054. Ângulos maiores do mergulho das bandas composicionais favorecem condutos mais estreitos e altos, enquanto que planos menos inclinados tendem a condicionar formas mais largas com teto relativamente mais baixo (Figura 37). Através da observação direta nos condutos, foi possível registrar que 65 cavernas (28%) apresentaram algum tipo de controle morfológico em função da estrutura, seja ela fratura ou mesmo o bandamento.

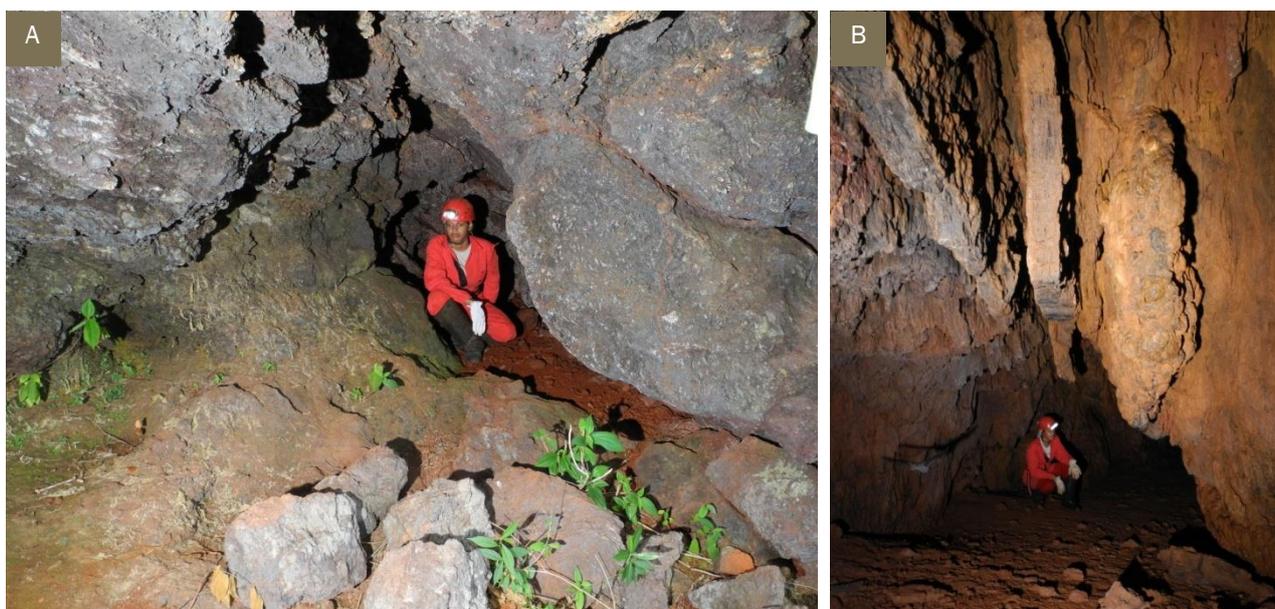


FIGURA 37 - ATITUDE DA FORMAÇÃO FERRÍFERA CONTROLANDO AS SEÇÕES E A DIREÇÃO DOS CONDUTOS NA CAVERNA SB-0024 (A), NOTA-SE SEÇÃO MAIS LARGA QUE ALTA CONDICIONADA PELO BAIXO ÂNGULO DO BANDAMENTO; NA SB-0046 (B) HÁ MAIOR DESENVOLVIMENTO VERTICAL EM FUNÇÃO DO ALTO ÂNGULO DO MERGULHO DA FORMAÇÃO FERRÍFERA.

Dobras ou flexuras do tipo *kink bands* foram observadas em 10 cavidades, correspondendo 4% do total de cavernas estudado. Sua ocorrência se limitou às cavernas inseridas na formação ferrífera, a exemplo das cavernas SB-0012, SB-0208, SB-0209 e SB-0210. A dimensão das dobras observadas variou de milimétrica a métrica (Figura 38).

A maior parte dos dobramentos observados atinge poucos centímetros, exercendo pouca ou nenhuma influência na morfologia das cavernas. Segundo Ribeiro (2003), estruturas do tipo *kink bands* podem, localmente, estar relacionadas à deformação por colapso gravitacional, em função da lixiviação de minerais no processo supergênico. A friabilidade do substrato rochoso não está associada apenas ao processo químico, mas também à movimentação do maciço e à quebra das partículas da FFB, como observado na caverna SB-0022.



FIGURA 38 - DOBRA NA CAVIDADE SB-0022.

ESPELEOMETRIA

Neste item são apresentados os dados dimensionais das cavernas da Serra da Bocaina. A espeleometria é apresentada por litotipo. Alguns dados dimensionais foram comparados com os dados das cavernas de Serra Sul (S11D).

A média da projeção horizontal – PH das cavidades da formação ferrífera/canga foi de 25,3 m (n=123), com valor máximo e mínimo de 188,7 e 6,1 m, respectivamente. A média de Serra Sul se mostrou um pouco superior, ou seja, de 27,8 m, com valor máximo de 196 m.

A distribuição das cavernas por classes de PH demonstrou que 71% (88) cavernas encontra-se na classe de 5 a 25 m e 16% entre 25,1 e 45 m. Cavernas com PH entre 45,1 a 65 m representam 5% da amostra e, entre 65,1 a 85 m, correspondem a 2% (Figura 39). Entre 85,1 a 105 m foram registradas quatro (3%) cavernas. Entre 105,1 e 165 m foi registrada somente uma caverna (SB-0070, com 150,8 m - 1%). Acima de 165,1 m há apenas duas cavidades (2%): a SB-0212 (176,2 m) e a SB-0199 (188,7 m). Em S11D, 71% das cavernas apresentaram a PH inferior a 25 m. Acima de 100 m de PH, foram registradas nove cavernas.

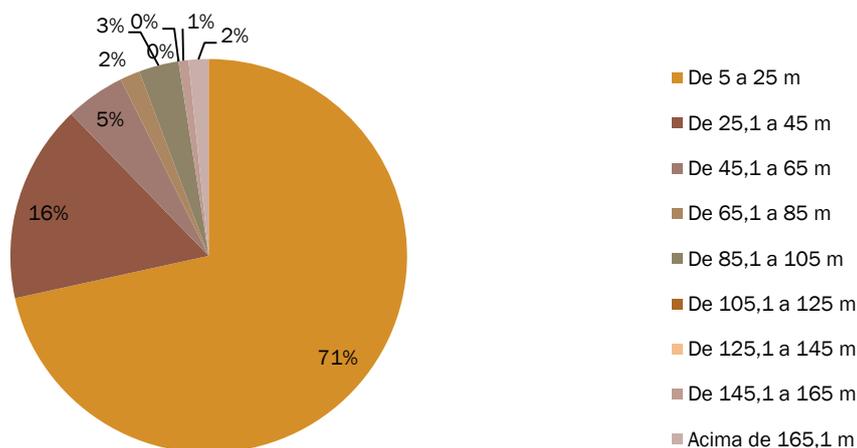


FIGURA 39 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAVERNAS DA FORMAÇÃO FERRÍFERA POR CLASSES DE PROJEÇÃO HORIZONTAL.

A amostra em rocha máfica (n=10) apresentou uma média 22,1 m, com valor máximo e mínimo de 107,3 m e 5,1 m, respectivamente. Nessa amostra, 80% das cavernas estão na classe de 5 a 25 m. Entre 25,1 e 45 m há uma caverna (10%) e entre 105,1 e 125 m também há uma caverna. Em S11D, a média para a amostra foi de 29,1 m, sendo que 50% das cavernas apresentou projeção horizontal inferior a 20 m.

A média de projeção horizontal das cavidades em ferricrete (n=102) foi de 24,9 m, sendo o valor máximo e mínimo de 189,9 m e 5,1 m, respectivamente (Figura 40). Nessa amostra, 75% (77) das cavernas têm a PH inferior a 25 m. Entre 25,1 a 45 m foram registradas dez (10%) cavernas e, entre 45,1 a 65 m, sete (7%) cavernas. Há apenas um registro entre 65,1 a 85 m (1%). Cinco cavernas estão no intervalo entre 85,1 a 105 m; uma entre 105,1 a 125 m e nenhuma entre 125,1 e 165 m. Acima deste último valor há apenas a SB-0026, com 189,6 m. Em S11D a média da PH foi de 92,3 m, em função da caverna *outlier* S11-07, com 1.546 m. Nessa área, 70% das cavernas apresentaram PH inferior a 20 m.

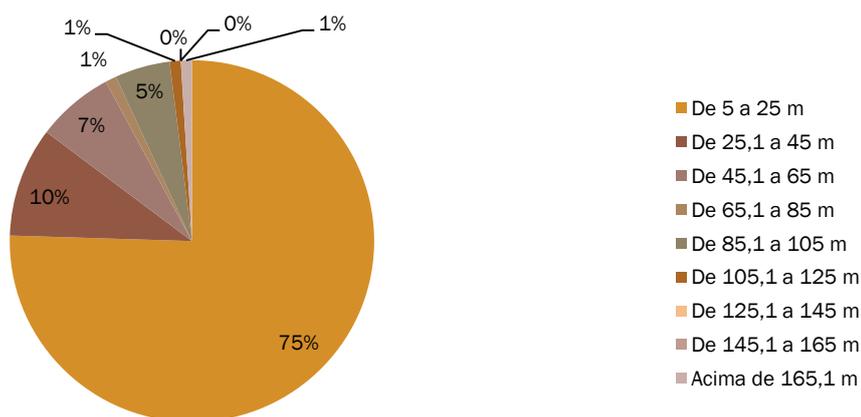


FIGURA 40 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAVERNAS DE FERRICRETE POR CLASSES DE PROJEÇÃO HORIZONTAL.

O desnível médio das cavernas da formação ferrífera e canga é 2,3 m, com valor mínimo de 0,2 m e máximo de 11,2 m. Noventa e seis por cento (96%) das cavernas tem desnível inferior a 6 m. Em S11D, a média foi de 3,5 m.

Dentre as cavernas em máfica, o valor médio de desnível foi de 2,4 m, com valor mínimo de 0,4 m e máximo de 7,9 m. Entre as cavernas em ferricrete, o valor médio de desnível é 1,7 m, com valor

mínimo e máximo de 0,1 m e 10,9 m, respectivamente. Noventa e sete por cento das cavernas em ferricrete tem desnível inferior a 6 m.

Cavernas na formação ferrífera e canga apresentaram média de 111,1 m² para a área. O valor máximo para esse atributo foi de 828,5 m² e o mínimo de 10,8 m². Nessa amostra, 101 cavernas (82%) têm área igual ou inferior a 150 m² (Figura 41). Dez cavernas têm áreas entre 150,1 e 300 m² (8%). Sete cavernas apresentaram área entre 300,1 m² a 450 m² (6%). Apenas uma caverna está no intervalo entre 450,1 e 600 m²; e três cavernas, representando 2%, apresentaram áreas entre 600,1 m² a 750 m². A única caverna da formação ferrífera com área superior a 750 m² é a SB-0199. Em S11D, a área média das cavernas na FFB e na Canga foi de 96,5 m². O valor máximo para esse atributo foi de 1.060 m² e o mínimo de 5 m².

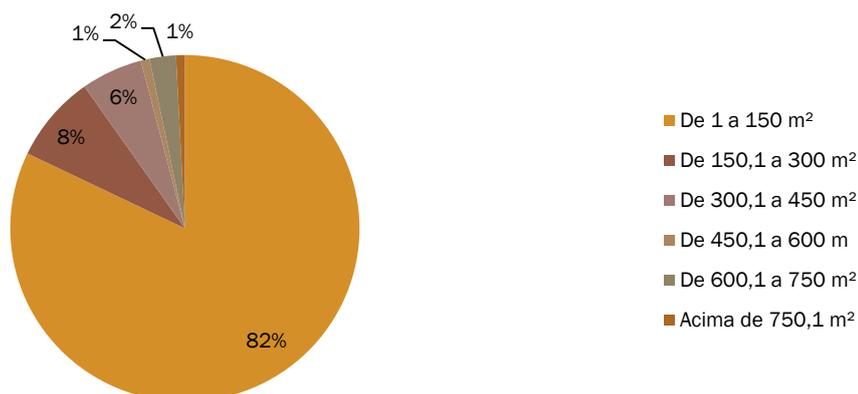


FIGURA 41 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAVERNAS NA FFB E CANGA POR CLASSES DE ÁREA.

Dentre as cavernas em máfica, a área média é de 82,8 m², sendo o valor máximo de 452 m² e mínimo de 8,6 m². Nesse litotipo, 90% das cavernas apresentaram áreas inferiores a 150 m². Em S11D, o valor médio das áreas em cavernas nesse litotipo foi de 127,4 m².

Para a amostra de cavernas em ferricrete a média da área é de 95,9 m², com valor máximo e mínimo de 750,8 m² e 8,1 m², respectivamente. A maioria das cavernas (81%) tem área inferior a 150 m² (Figura 42). Para S11D, a amostra de cavernas em ferricrete a média da área foi de 252,1 m², em função da caverna S11-07 (*outlier*) que “puxou” a média para cima. A maior parte das cavernas (90%) apresentou área inferior a 100 m².

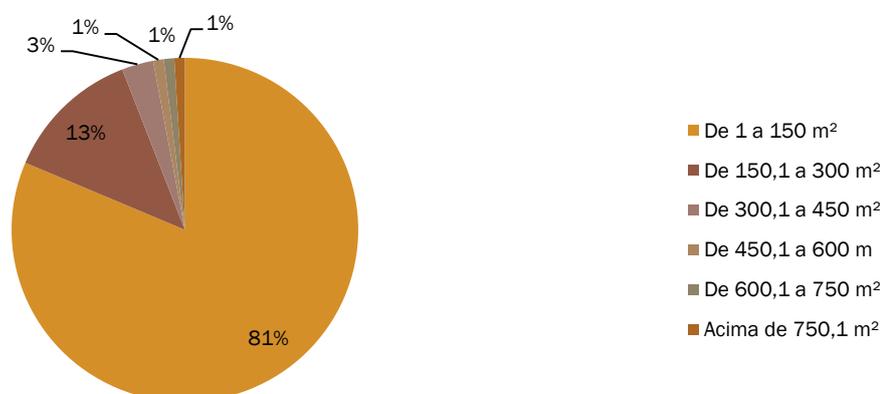


FIGURA 42 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAVERNAS DE FERRICRETE POR CLASSES DE ÁREA.

A média do volume aproximado entre as cavernas na formação ferrífera e canga é de 178 m³, com valor máximo e mínimo de 1.220 e 6 m³, respectivamente. Noventa e sete cavernas possuem volume inferior a 250 m³, representando 78% da amostra (Figura 43). Quinze cavernas têm volume entre 250,1 e 750 m³ (12%). O intervalo entre 500,1 e 750 m³ incluiu quatro cavernas, abrangendo 3% da amostra. Cinco cavidades apresentaram volume entre 750,1 e 1.000 m³, correspondendo a 4% da amostra. Duas cavernas possuem volume acima de 1.000 m³ (2%). Para S11D, a média para volume entre as cavernas da formação ferrífera/canga foi de 197,4 m³, com valor máximo e mínimo de 3.823 e 3 m³, respectivamente. Cento e quarenta e seis cavernas apresentaram volume inferior a 500 m³, representando 91% da amostra.

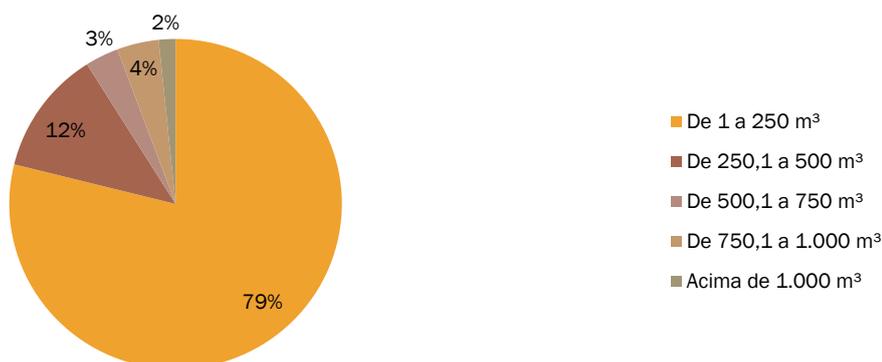


FIGURA 43 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAVERNAS DA FORMAÇÃO FERRÍFERA POR CLASSES DE VOLUME.

Cavernas em rochas máficas alteradas apresentaram volume médio estimado de 165 m³, com valor máximo e mínimo de 1.112 m³ e 5 m³, respectivamente. Oitenta por cento destas cavernas apresentou volume inferior a 250 m³. Em S11D, o volume médio foi de 228 m³, com valor máximo e mínimo de 716 m³ e 21 m³ (S11-06), respectivamente.

Para a amostra de cavernas em ferricrete o volume médio aproximado foi de 116 m³, com valor máximo e mínimo de 881 m³ e 7 m³, respectivamente. Oitenta e oito cavernas (86%) apresentaram volume inferior a 250 m³. Doze cavernas (12%) possuem volume entre 250,1 e 500 m³. Apenas duas cavernas superaram o valor de 500 m³ (Figura 44). Em S11D, o volume médio para a amostra de cavernas em ferricrete foi de 265,6 m³, com valor máximo e mínimo de 4.340 m³ (S11-07) e 5 m³.

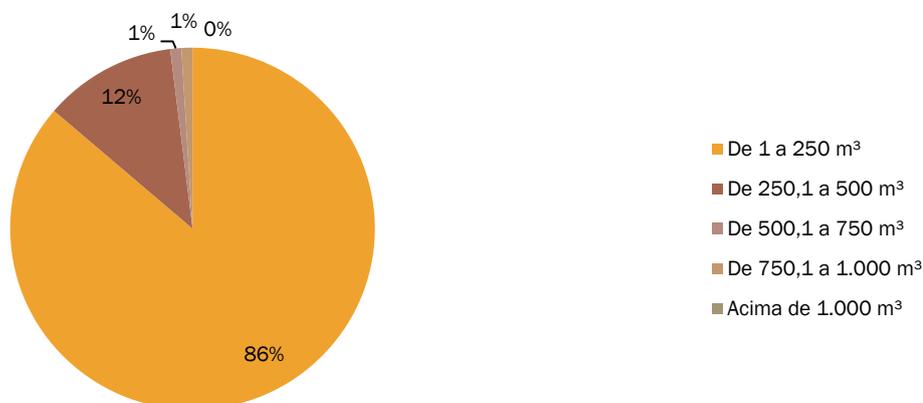


FIGURA 44 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAVERNAS EM FERRICRETE POR CLASSES DE VOLUME.

Comparando os dados morfométricos entre as litologias foi possível avaliar que os valores médios de PH nas diferentes litologias são bem próximos (Tabela 6). As cavernas em rochas máficas apresentaram valor máximo um pouco inferior ao registrado para as outras litologias.

Com relação ao desnível, os valores também são bastante próximos. Nesse atributo o valor máximo para as cavernas em máfica também é inferior ao das outras litologias.

Os dados de área não apresentam grandes discrepâncias. Novamente se nota que o valor máximo para as cavernas em rocha máfica é inferior ao das demais litologias.

Para o volume aproximado a média é ligeiramente maior nas cavernas da formação ferrífera, no entanto, o valor máximo é registrado no ferricrete. As cavernas em máfica, não apresentaram para esse atributo, valores muito inferiores à formação ferrífera. Isto se deve a um *outlier* na amostra das máficas (SB-0007), que elevou consideravelmente o desvio padrão da amostra (Tabela 6).

TABELA 6 - ESPELEOMETRIA POR LITOTIPOS

Espeleometria por Litologia							
Variável	Variável	Número de Cavernas	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
PH (m)	Ferricrete	102,0	24,9	28,2	5,1	13,9	189,6
	Máfica	10,0	22,1	30,5	5,1	12,9	107,3
	FFB/Canga	123,0	25,3	30,2	6,1	14,5	188,7
Total		235,0	25,0	29,2	5,1	14,1	189,6
Desnível (m)	Ferricrete	102,0	1,7	1,5	0,1	1,4	10,9
	Máfica	10,0	2,4	2,6	0,4	1,4	7,9
	FFB/Canga	123,0	2,3	2,0	0,2	1,8	11,2
Total		235,0	2,1	1,8	0,1	1,5	11,2
Área (m ²)	Ferricrete	102,0	95,9	128,1	8,1	53,6	750,8
	Máfica	10,0	82,8	134,0	8,6	40,0	452,0
	FFB/Canga	123,0	111,1	154,1	10,8	55,6	828,5
Total		235,0	103,3	142,2	8,1	51,9	828,5
Volume (m ³)	Ferricrete	102,0	115,9	145,6	7,0	57,5	881,0
	Máfica	10,0	164,9	335,6	5,0	65,0	1112,0
	FFB/Canga	123,0	178,0	230,0	6,0	88,0	1220,0
Total		235,0	156,2	227,7	5,0	74,0	1685,0

Outro aspecto importante foi avaliar se as cavernas na FFB/canga da Serra da Bocaina, S11D e da região de Carajás são estatisticamente semelhantes em relação as suas variáveis espeleométricas. As tabelas abaixo (Tabela 7 e

Tabela 8) apresentam os dados de S11D (n=110) e da região de Carajás (n=602).

TABELA 7 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA AS CAVERNAS DA REGIONAL CARAJÁS.

Variável	Número de cavernas	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
PH (m)	602	38,4	45,9	3,2	22,0	372,0
Desnível (m)	602	4,9	4,9	0,2	3,2	38,2
Área (m ²)	602	145,6	206,6	1,2	63,0	1420,0
Volume (m ³)	602	282,1	466,5	5,0	88,0	3012,0

TABELA 8 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA PARA AS CAVERNAS DE S11D

Variável	Número de cavernas	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
PH (m)	110	33,95	37,11	5	19	196
Desnível (m)	110	4,367	5,161	0	3	33
Área (m ²)	110	124,7	172,9	6	60,5	1060
Volume (m ³)	110	268	509,3	3	85	3823

A Figura 45 mostra o gráfico de valores individuais para a variável PH. Nele é destacado o valor da mediana de cada região. A linha que une os pontos indica que parece haver uma diferença significativa entre a região Serra Norte e as demais, pois existe uma pequena inclinação na reta. Isso também foi observado para as variáveis desnível, área e volume.

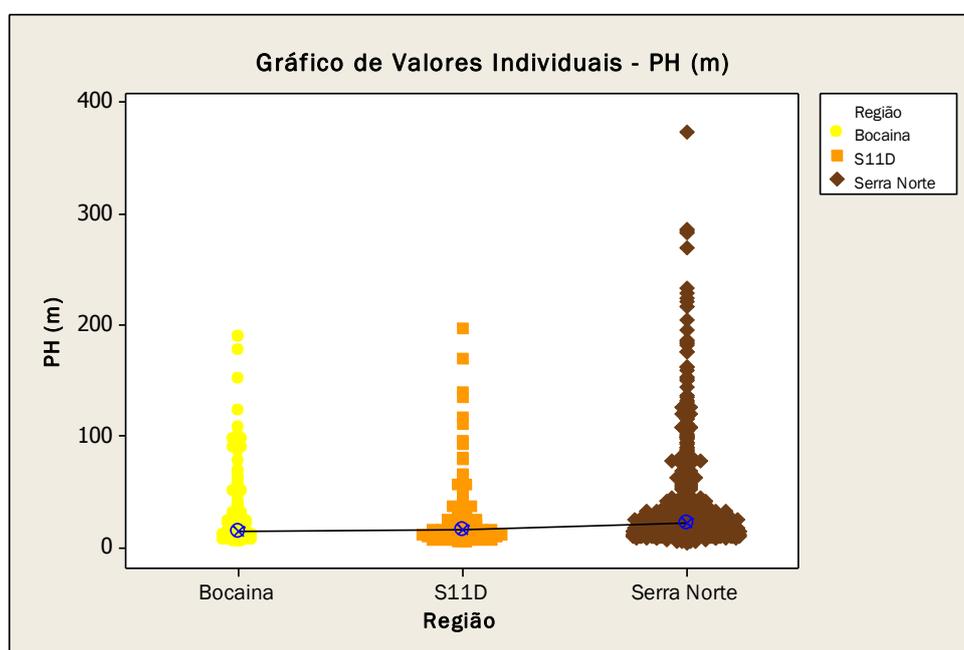


FIGURA 45 - GRÁFICO DE VALORES INDIVIDUAIS DA VARIÁVEL PH.

Visando testar os resultados foi aplicado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, ou seja, para cada variável, foram testadas as medianas das três regiões (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

O Teste de Kruskal-Wallis é um método não paramétrico usado para testar se um determinado número de amostras (grupos) provém da mesma distribuição. Em outras palavras, o teste verifica se os grupos tendem a gerar valores semelhantes da característica estudada, ou se eles são estatisticamente diferentes. Por ser uma ferramenta não-paramétrica o teste leva em consideração as medianas dos grupos e avalia se a distância entre as categorias é suficientemente grande para que exista uma diferença entre os dados.

TABELA 9 - RESULTADO DO TESTE DE KRUSKAL-WALLIS.

Variável	Região	Número de cavernas	Mediana	p-Valor
Área	Carajás	602	63	0,00

	S11D	133	43	
	Bocaina	235	51,9	
Desnível	Carajás	602	3,2	0,00
	S11D	133	2	
PH	Bocaina	235	1,5	0,00
	Carajás	602	22	
	S11D	133	16	
Volume	Bocaina	235	14,1	0,00
	Carajás	602	88	
	S11D	133	51	
	Bocaina	235	74	

O teste indicou que todas as variáveis espeleométricas foram significativas. Isso significa que existem evidências estatísticas que comprovem que as medianas de PH, Área, Desnível e Volume de pelo menos uma das regiões é diferente das demais. Dessa forma, é necessário realizar comparações múltiplas entre as regiões a fim de identificar quais delas apresentam resultados diferentes. Os resultados foram obtidos com o teste U de Mann-Whitney para comparação de dois grupos e se encontram na Tabela 10.

O Teste U de Mann-Whitney é semelhante ao Kruskal-Wallis, porém o método testa a diferença entre apenas duas amostras independentes. Da mesma forma, o teste avalia se as amostras tendem a gerar valores semelhantes, ou se existe alguma diferença estatística que comprove que os grupos são diferentes. Quando o resultado do teste de Kruskal-Wallis é significativo, existe pelo menos um dos grupos analisados que é diferente dos demais. Dessa forma, é necessário realizar comparações múltiplas entre os grupos a fim de identificar em qual amostra existe a diferença.

TABELA 10 - RESULTADOS OBTIDOS COM O TESTE U DE MANN-WHITNEY.

Comparações Múltiplas	Variáveis	p-Valor
Bocaina X S11D	Área	0,121
	Desnível	0,000
	PH	0,442
	Volume	0,171
Bocaina X Carajás	Área	0,000
	Desnível	0,000
	PH	0,000
	Volume	0,000
S11D X Carajás	Área	0,000
	Desnível	0,000
	PH	0,000
	Volume	0,000

A região de Bocaina em comparação com a região S11D apresentou diferença significativa apenas na mediana de desnível. Ou seja, existem evidências estatísticas que indicam que a região S11D tende a apresentar desníveis maiores que a região de Bocaina.

A região de Bocaina em comparação com a região Carajás apresentou diferenças significativas em todas as variáveis espeleométricas. Ou seja, existem evidências estatísticas que indicam que a região de Carajás tende a apresentar valores de PH, desnível, área e volume maiores que a região de Bocaina.

A região de S11D em comparação com a região Carajás apresentou diferenças significativas em todas as variáveis espeleométricas. Ou seja, existem evidências estatísticas que indicam que a região de Carajás tende a apresentar valores de PH, desnível, área e volume maiores que a região de S11D.

Em outras palavras, as regiões de Bocaina e S11D apresentaram características espeleométricas semelhantes, exceto em relação ao desnível. A região de Carajás apresentou valores espeleométricos maiores do que as regiões de Bocaina e S11D.

MORFOLOGIA

Nas cavernas carbonáticas, as diversas formas de recarga da água, a estrutura da rocha e a direção de escoamento da água subterrânea irão influenciar fortemente o padrão planimétrico das cavernas. Nesses tipos de cavernas, após o levantamento topográfico, é possível observar que a configuração espacial interna segue determinados padrões, tais como dentrítico, reticulado, ramiforme etc. (Palmer, 1991).

As cavernas ferríferas são geralmente de pequenas dimensões, o que dificulta a identificação dos padrões planimétricos. Por outro lado, não é possível aplicar de forma direta a consagrada proposta de Palmer (1991), desenvolvida especificamente para cavernas hospedadas em rochas carbonáticas. Essa análise, na busca de padrões em cavernas de pequenas dimensões e em outros grupos litológicos, encontra-se em fase inicial de aplicação e tem um caráter eminentemente morfológico. Ainda é necessário avançar muito sobre o tema, o qual está acoplado à própria compreensão da gênese dessas cavernas.

Diante disso, foram analisadas as plantas-baixa das 235 cavernas de Bocaina, o que possibilitou a identificação de duas tipologias: (i) câmaras simples (159; 68%), formadas por compartimento único e, (ii) câmaras compostas (76; 32%), constituídas por mais de um compartimento.

Com relação às câmaras simples, foi possível identificar sete formas planimétricas: retilínea, retangular, semicircular, afunilado, curvilíneo, bifurcado e disforme. Por sua vez, três formas planimétricas foram identificadas nas câmaras compostas: espongiforme, mista e disforme (Figura 46).

- *Retilíneo*; constituído por conduto simples, seguindo uma única direção, geralmente condicionada por fratura ou pelo plano inclinado do bandamento da rocha. Esse tipo de padrão morfológico foi observado em 24 cavernas (10%), a exemplo das cavidades SB-0005, SB-0012, SB-0048 e SB-0064.
- *Retangular* é formado por compartimento que apresenta ângulos aproximadamente retos, geralmente controlados por fraturas ou outra estrutura presente. Foram registradas 13 cavernas com essas características morfológicas, representando 6%, a exemplo das cavernas SB-0056, SB-0061, SB-0065, SB-0074, dentre outras.
- *Semicircular* é constituído por um compartimento que se apresenta aproximadamente na forma semicircular. Vinte e sete cavernas apresentaram essas características (11%): SB-0082, SB-0128, SB-0150, dentre outras.

- *Afunilada* é constituída por compartimento que se estreita na direção distal e adquire a forma de funil. Geralmente essas cavidades estão associadas com surgências ou paleosurgências. Foram identificadas 42 cavidades com este padrão, representando 18%; exemplos desse padrão: SB-0014, SB-0039, SB-0066, SB-0083, entre outras.
- *Curvilíneo* é constituído por um conduto 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. Quatorze cavernas (6%) foram registradas com essas características. Dentre as cavernas curvilíneas estão SB-0045, SB-0087 e SB-0135.
- *Bifurcado* é composto por um compartimento que se divide em dois ramos ou braços, normalmente associados a canalículos. Dentro desse padrão foram registradas 29 cavernas (12%), dentre as quais: SB-0013, SB-0017, SB-0021 e SB-0079.
- *Espongiforme* se caracteriza por apresentar condutos de tamanho variado, que se interconectam normalmente por passagens mais estreitas, como os poros de uma esponja. É mais identificável em cavernas maiores, no entanto, cavidades menores também podem apresentar feições típicas desse tipo de padrão planimétrico. Trata-se de um padrão bastante frequente nas maiores cavernas do Quadrilátero Ferrífero e Carajás, tais como AP-09 e N4WS-0067, entre outras. Na Serra da Bocaina, foram identificadas 38 cavernas com essas características (16), dentre as quais: SB-0004, SB-0069, SB-0114 e SB-0146.
- *Mista* é composta pela mistura de mais de uma forma em planta. Esse padrão foi registrado em 23 cavernas (10%), dentre as quais: SB-0027, SB-0052, SB-0060, dentre outras.

Em 10 cavernas de câmaras simples e 15 de câmaras compostas não foi possível identificar com clareza a forma planimétrica. Essas cavernas foram denominadas de disforme.

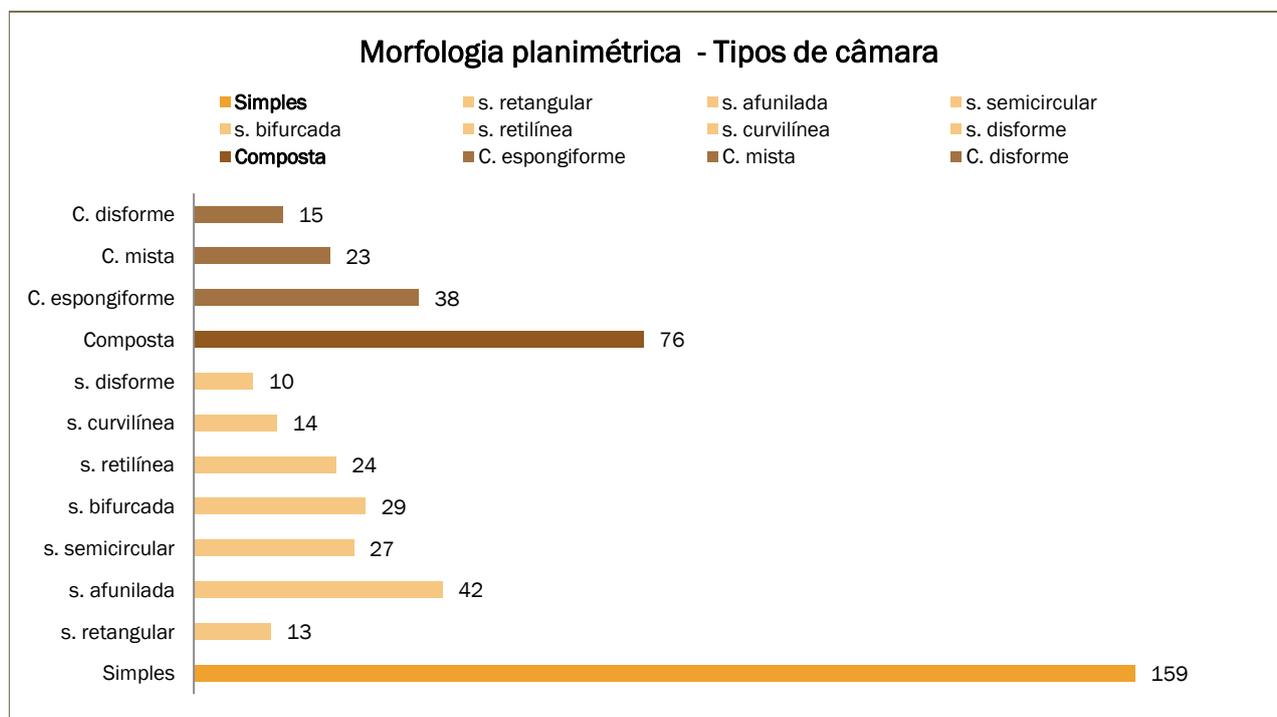


FIGURA 46 - DISTRIBUIÇÃO DAS CAVERNAS DA SERRA DA BOCAINA EM FUNÇÃO DA MORFOLOGIA PLANIMÉTRICA.

A Figura 47 apresenta exemplos das formas planimétricas identificadas nas cavernas de Bocaina.

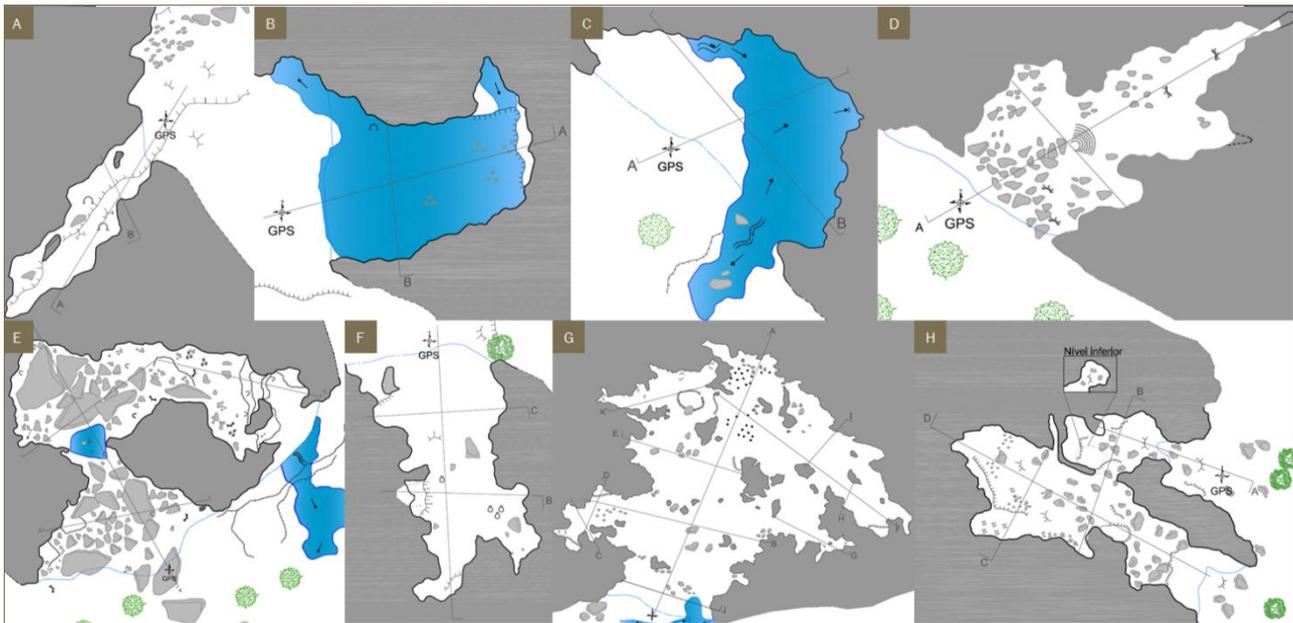


FIGURA 47 - EXEMPLOS DE FORMAS PLANIMÉTRICAS DAS CAVERNAS DA SERRA DA BOCAINA: A) CÂMARA SIMPLES RETILÍNEA (SB-0005); B) CÂMARA SIMPLES RETANGULAR (SB-0056); C) CÂMARA SIMPLES SEMICIRCULAR (SB-0082); D) CÂMARA SIMPLES AFUNILADA (SB-0014); E) CÂMARA SIMPLES CURVILÍNEA (SB-0045); F) CÂMARA SIMPLES BIFURCADA (SB-0017); G) CÂMARA COMPOSTA ESPONGIFORME (SB-0114) E H) CÂMARA MISTA (SB-0052).

As seções das cavidades em rochas ferríferas apresentaram irregularidades no teto e paredes denominadas de **pontões estruturais**. Essa feição, registrada em 38 cavidades (16%), é caracterizada por pontas retangulares (dissimétricas) ou sub-retangulares, que se projetam do teto de forma escalonada (Figura 48). Ocorrem mais claramente quando a formação ferrífera apresenta mergulho concordante com o maior prolongamento do conduto. Essas feições já foram observadas em outras cavernas da Serra dos Carajás e do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais.

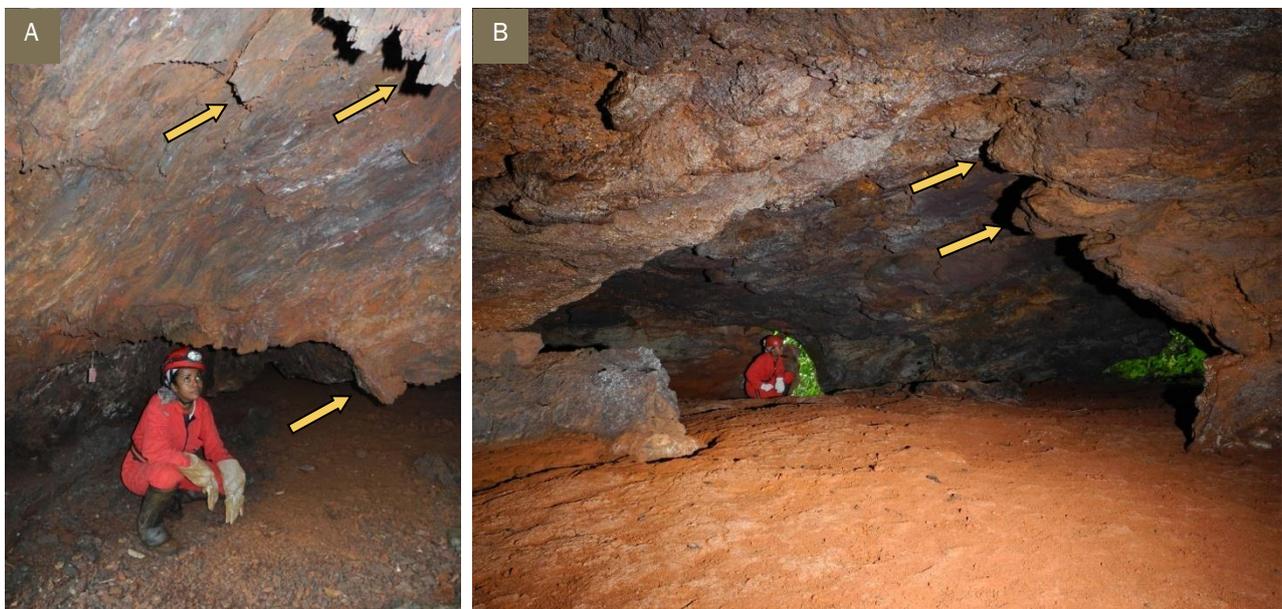


FIGURA 48 - PONTÕES ESTRUTURAIS NO TETO E DAS CAVERNAS SB-0210 (A) E SB-0025 (B).

Em cavernas de canga, as irregularidades observadas em paredes e teto tendem a ser mais numerosas, ao contrário de algumas cavernas em minério de ferro, que apresentam seções mais regulares controladas pelo bandamento. Uma feição que gera essas irregularidades é denominada de **pendente** (Figura 49), que pode ser observada principalmente nas cavernas de canga e

ferricrete. Essas feições são relativamente comuns e foram registradas em 71 cavernas (30%), entre elas as cavernas SB-0010, SB-0016, SB-0114.

Este tipo de feição se constitui por projeções com formato aproximadamente cônico invertido, embora bastante irregular, que se projetam do teto. São formadas preferencialmente na canga e conferem uma grande irregularidade ao teto das cavernas. Suas dimensões são variáveis, mas podem ultrapassar um metro de comprimento.

Os pendentes ficam preservados devido à ausência de fluxo hídrico na cavidade e ao fato de serem foco concentrador de águas de percolação que tendem a depositar uma delgada camada de óxido de ferro (crosta) que solidifica o pendente. Supõe-se que os pendentes representam feições geradas a partir da evolução de pilares, que tiveram sua base solapada pela ação erosiva, muitas vezes associada à presença de canalículos de pequeno diâmetro.

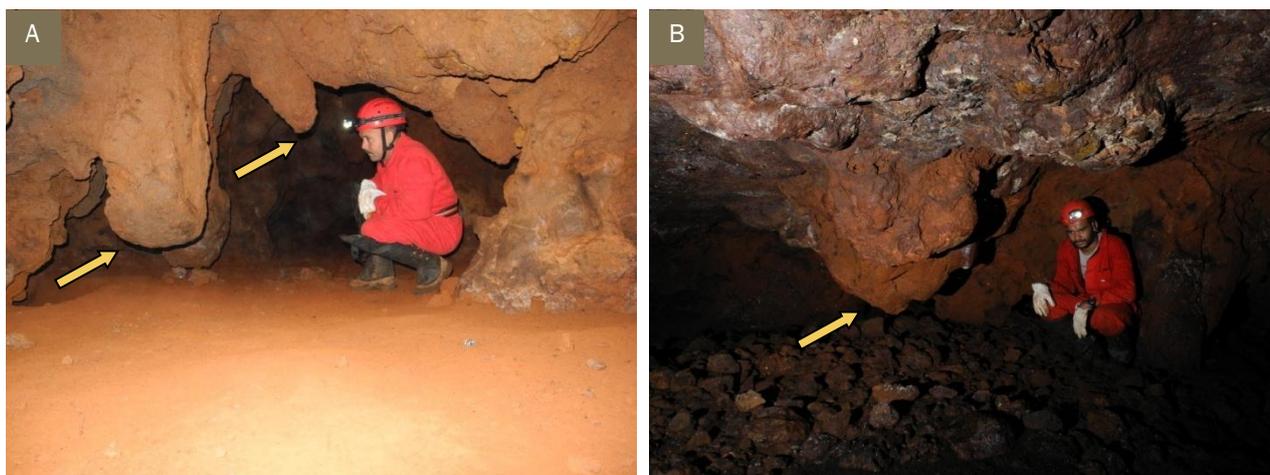


FIGURA 49 - PENDENTES NAS CAVIDADES SB-0016 (A) E SB-0026 (B).

Canalículos foram observados em 219 cavidades da Serra da Bocaina, representando (93%). São as formas mais frequentes nas cavernas ferríferas e são constituídos por canais pouco desenvolvidos, geralmente de dimensões centimétricas. Podem se posicionar sub-horizontalmente, o que é mais comum, ou subverticalmente. É comum se localizarem nas partes mais baixas das paredes, próximos ao piso, podendo também ocorrer em pontos mais elevado das paredes e até mesmo no teto. Estas feições afetam a morfologia das cavernas, pois sua evolução gera apêndices ou expansões laterais que podem eventualmente evoluir para galerias laterais (Figura 50).

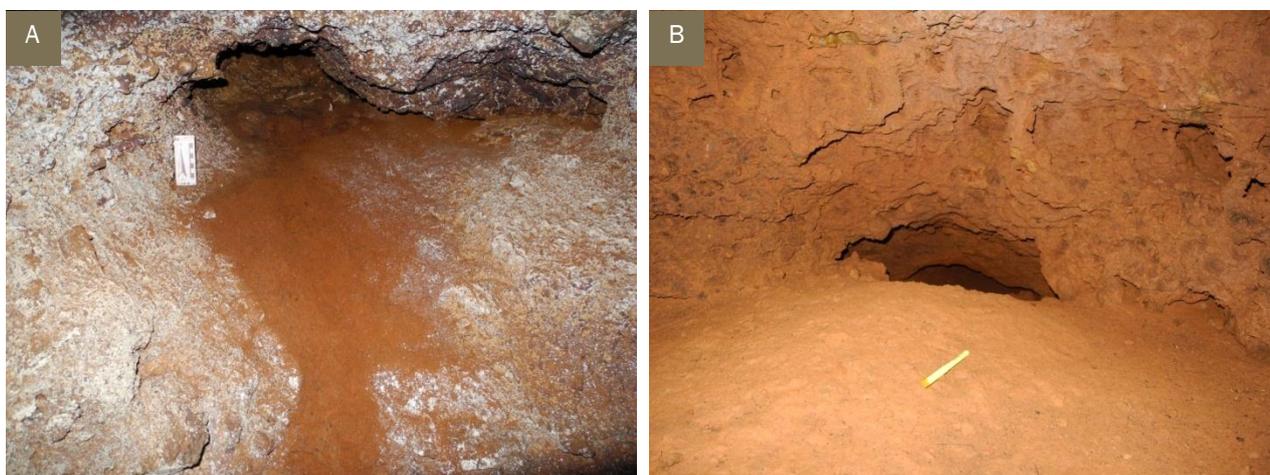


FIGURA 50 - CANALÍCULOS NAS CAVERNAS SB-0032 (A) E SB-0117 (B).

Segundo Piló & Auler (2005), de uma forma geral, há uma relação diretamente proporcional entre o perímetro da caverna e o número de canalículos (Figura 51), mostrando que a presença dos mesmos representa um “alongamento” do perímetro da caverna. A mesma relação é observada com a 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.

Os canalículos são formas características das cavernas ferríferas, indicando uma intensa rede de pequenos canais na rocha, responsáveis pelo transporte concentrado da água, além de injetarem sedimentos finos para o interior das cavidades.

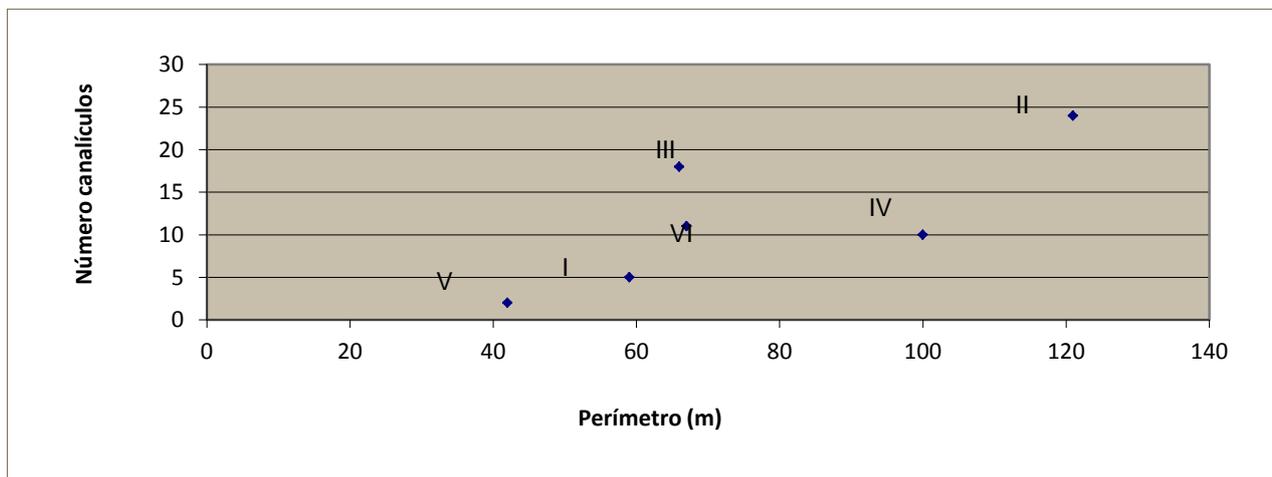


FIGURA 51 - RELAÇÃO ENTRE PERÍMETRO E NÚMERO DE CANALÍCULOS PARA AS CAVERNAS DE CAPÃO XAVIER, NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MG. A NUMERAÇÃO DAS CAVERNAS ESTÁ EM ALGARISMOS ROMANOS (FONTE: PILÓ & AULER, 2005).

Cúpulas foram observadas em 42 cavernas (18%), a exemplo das cavernas SB-0015, SB-0029, SB-0065, SB-0091, dentre outras. Essas feições de teto são constituídas por bolsas arredondadas ou ovais; estão associadas a canalículos, ou seja, trata-se de uma forma originada da percolação vertical da água. Nas extremidades desses canalículos há um processo de erosão/movimentos de massa mais expressivos, gerando as cúpulas (Figura 52).



FIGURA 52 - CÚPULAS DE TETO NAS CAVIDADES SB-0227 (A) E SB-0031 (B).

Uma das principais características das cavernas ferríferas é sua proximidade com a superfície do terreno. São cavernas muito “rasas” se comparadas com as carbonáticas. Diante disso, abatimentos de parte do teto, interceptando a superfície do terreno, geram feições denominadas **claraboias** (Figura 53). A primeira referência a esse tipo de feição em cavernas ferríferas foi feita por Simmons (1963) ao descrever cavidades no Quadrilátero Ferrífero. Em Carajás, claraboias já foram descritas por Maurity & Kotschoubey (1995) e Piló & Auler (2007), podendo estar

associadas a processos doliniformes e, em alguns casos, representar o único acesso ao interior da cavidade. Na caverna SB-0030 o abatimento no topo de uma cúpula resultou em uma claraboia com a forma de uma chaminé (Figura 53). Claraboias foram registradas em 23 cavernas (10%), dentre as quais: SB-0030, SB-0048 e SB-0142.

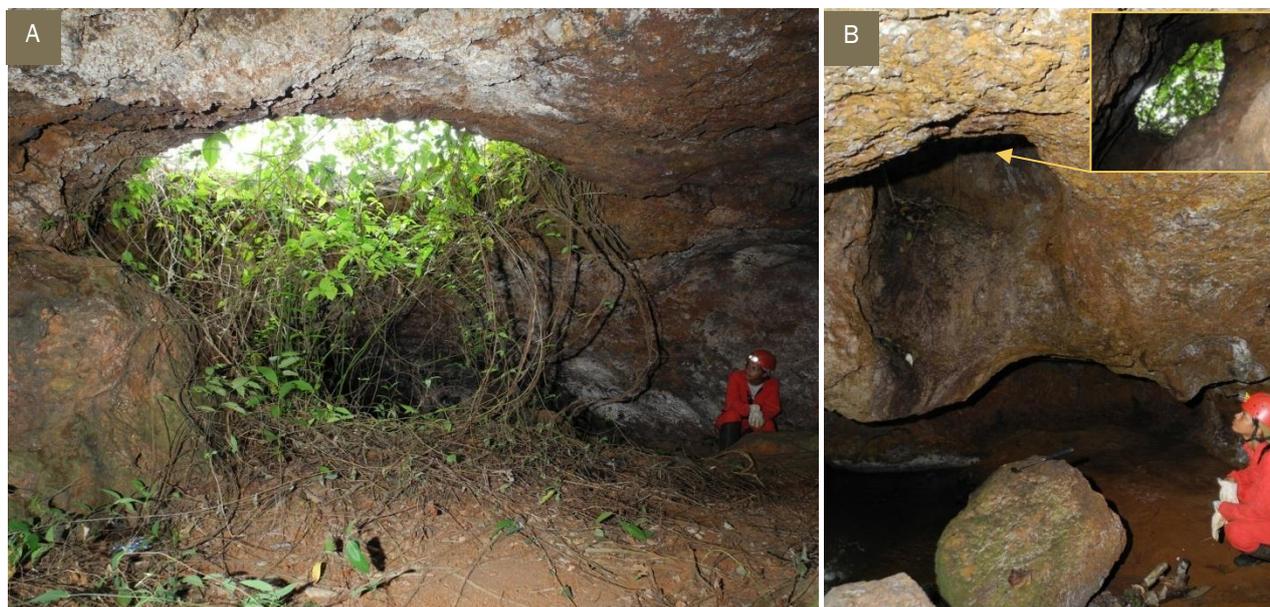


FIGURA 53 - CLARABOIAS NAS CAVIDADES SB-0084 (A) E SB-0030 (B).

Estruturas alveolares foram observadas em 154 cavidades (66%) da Serra da Bocaina (Figura 54). Constituem pequenos furos de dimensões milimétricas a centimétricas, com morfologia circular a elíptica. São típicas feições de origem dissolutiva/erosiva, criando 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, mas são mais frequentes em cavernas de ferricrete e rochas máficas.



FIGURA 54 - ALVÉOLOS DE ESPESSURA CENTIMÉTRICA NA CAVERNA SB-0238.

Estreitos canais tubulares (**biotúbulos**) com diâmetro entre 0,5 e 3 cm preenchidos com matriz argilo-ferruginosa foram registrados em pelo menos nove cavernas: SB-0035, SB-0071, SB-0076, SB-0095, SB-0147, SB-0152, SB-0199, SB-0229 e SB-0239. Constituem feições reliquias que se projetam na parede ou teto, na forma de tubos aproximadamente cilíndricos de comprimento centimétrico (Figura 55). A sustentação dos biotúbulos 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, ou melhor, foram gerados por invertebrados.

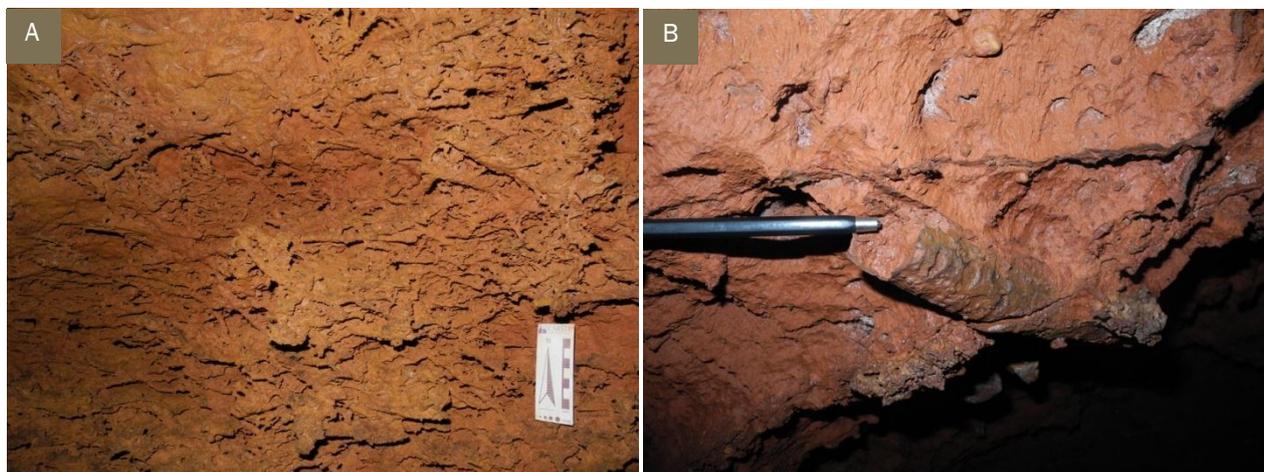


FIGURA 55 - POROS TUBULARES MUITO PROVAVELMENTE DE ATIVIDADE BIOLÓGICA NA CAVIDADE SB-0076 (A) E SB-0229 (B).

Três cavernas apresentaram **arcos rochosos**: SB-0025, SB-0088 e SB-0198. Trata-se de uma feição residual originada pela erosão diferencial 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, no cruzamento entre canalículos e condutos.

Pilares foram registrados em 89 cavernas (38%). Essas feições estão associadas à preservação de zonas mais resistentes de minério de ferro ou a estruturas reliquias de canga ou ferricrete (Figura 56). A erosão basal de pilares pode resultar em pendentes. Caracterizam-se por projeções rochosas de formato aproximadamente cônico invertido a partir do teto. As dimensões variam de poucos centímetros a cerca de dois ou três metros de comprimento e diâmetro em geral decimétrico.



FIGURA 56 - PILAR NA CAVIDADE SB-0016.

Paleopisos foram observados em 36 cavernas (15%). Esse tipo de feição é caracterizado por um piso suspenso em relação ao nível de piso atual da caverna. Em cavernas da formação ferrífera, esses paleopisos estão associados, muitas vezes, ao capeamento de crostas que os recobrem, protegendo-os dos processos erosivos. É comum estarem sobrepostos a canalículos, condutos ou a pontos da parede onde tenha ocorrido solapamento. Exemplos de paleopisos podem ser observados nas cavernas SB-0003, SB-0007, SB-0026, SB-0117, dentre outras (Figura 57).

Marmitas (*potholes*) foram registradas em nove cavernas, entre elas a SB-0034, a SB-0070 e a SB-0114. Essas feições morfológicas são buracos no piso rochoso com diâmetro e comprimento centimétrico a decimétrico, normalmente circulares. Estão em áreas de influência de cursos d'água ou pontos de percolação intensa. São originados pela abrasão de clastos nas paredes da rocha (Figura 57).

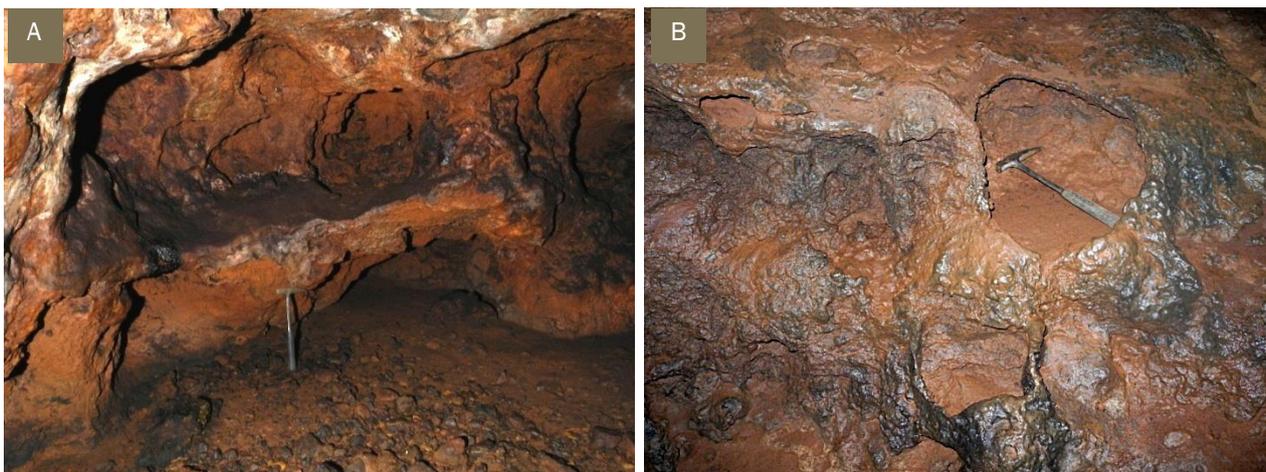


FIGURA 57 - REMANESCENTE DE PALEOPISO NA CAVERNA SB-0026 (A) E MARMITA NO PISO DA CAVERNA SB-0199 (B).

Na cavidade SB-0169 foram identificadas feições que lembram **bolsões** de dissolução existentes em rochas carbonáticas. Constituem depressões de base côncava e forma subcircular ou alongada e dimensões entre poucos centímetros a alguns metros. Os maiores formam pequenos nichos no interior da gruta acessíveis a uma pessoa (Figura 58). Por vezes esses bolsões se conectam através de pequenos dutos hoje preservados na forma de reentrâncias alongadas na rocha.

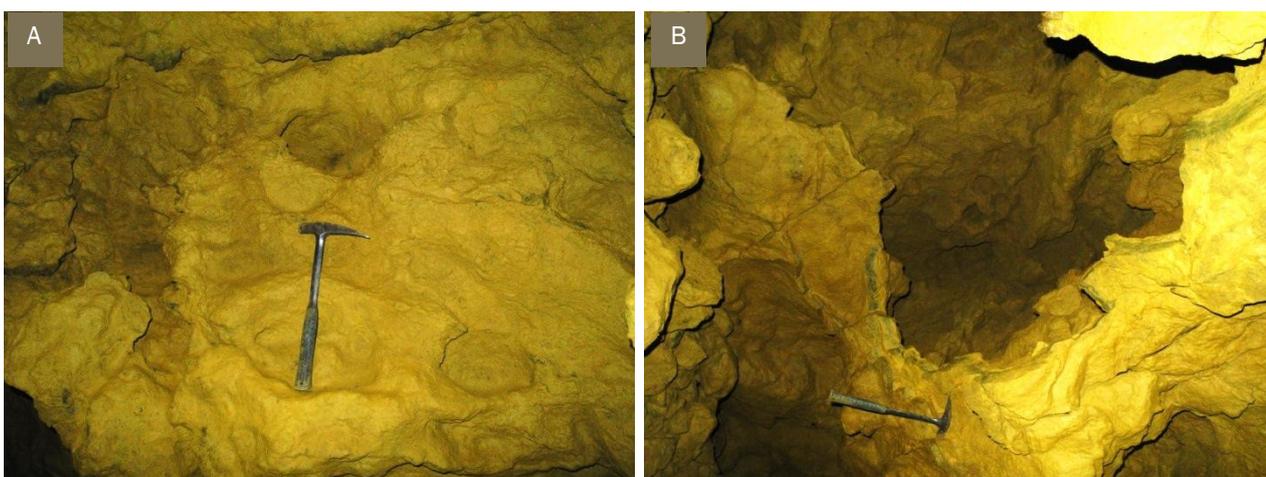


FIGURA 58 - A) BOLSÕES SUBCIRCULARES DE DIMENSÃO CENTIMÉTRICA NA PAREDE DA CAVERNA SB-0169; B) BOLSÃO DE DIMENSÃO MÉTRICA COMPORTANDO NO INTERIOR BOLSÕES MENORES.

Ranhurás provavelmente originadas por garras de animais foram identificadas em 11 cavernas (5%) da área de estudo (Figura 59). Essas cavidades, provavelmente, foram moradias temporárias ou permanentes, de mamíferos, particularmente tatus, que habitavam a América do Sul durante o

Terciário e o Quaternário. São prováveis paleotocas: SB-0001, SB-0017, SB-0090, SB-0115, SB-0141, dentre outras. Para mais dados sobre indicativos de paleotocas (bioerosão) na região de Carajás ver Piló *et al.*, 2013.

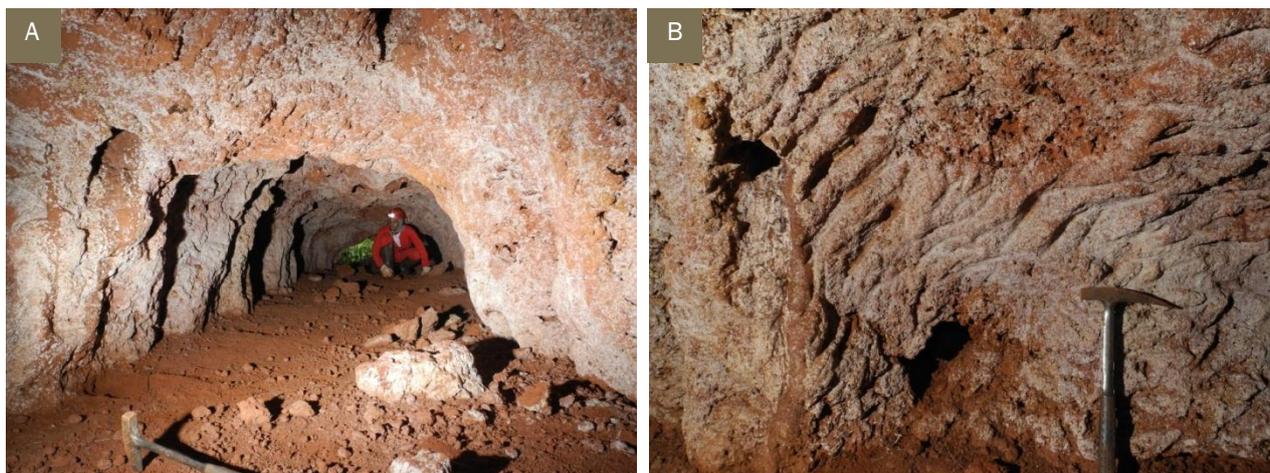


FIGURA 59 - CAVIDADE SB-0090, UMA POSSÍVEL PALEOTOCA. NOTA-SE O PREDOMÍNIO DA FORMA DE TÚNEL COM ALTURA RARAMENTE SUPERIOR A 1,5 M EM TODA A EXTENSÃO DA GRUTA (A); SÃO FREQUENTES AS RANHURAS NAS PAREDES E TETO (B).

A inclinação do piso das cavernas é subhorizontalizada em 147 cavernas, representando 63% da amostra. Pisos em aclave, ou seja, concordantes com os gradientes das vertentes foram registrados em 65 (28%) cavernas. Pisos em declive somaram 40 cavernas, representando 17% da amostra. Há cavernas cujos diferentes setores possuem inclinações diferentes do piso, como é o caso da SB-0134 entre outras. Neste caso o piso forma um declive da entrada em direção ao interior, onde o piso é predominantemente plano. Isso ocorre normalmente quando há abatimentos na entrada, criando inclinações para o interior através de cones de blocos ou sedimentos. Há também casos em que o piso mais aplainado no interior da gruta, adquire um gradiente mais elevado, formando uma rampa com caimento em direção ao exterior, como na SB-0139.

Em síntese, a frequência das feições morfológicas registradas nas cavernas da Serra da Bocaina pode ser visualizada na Figura 60.

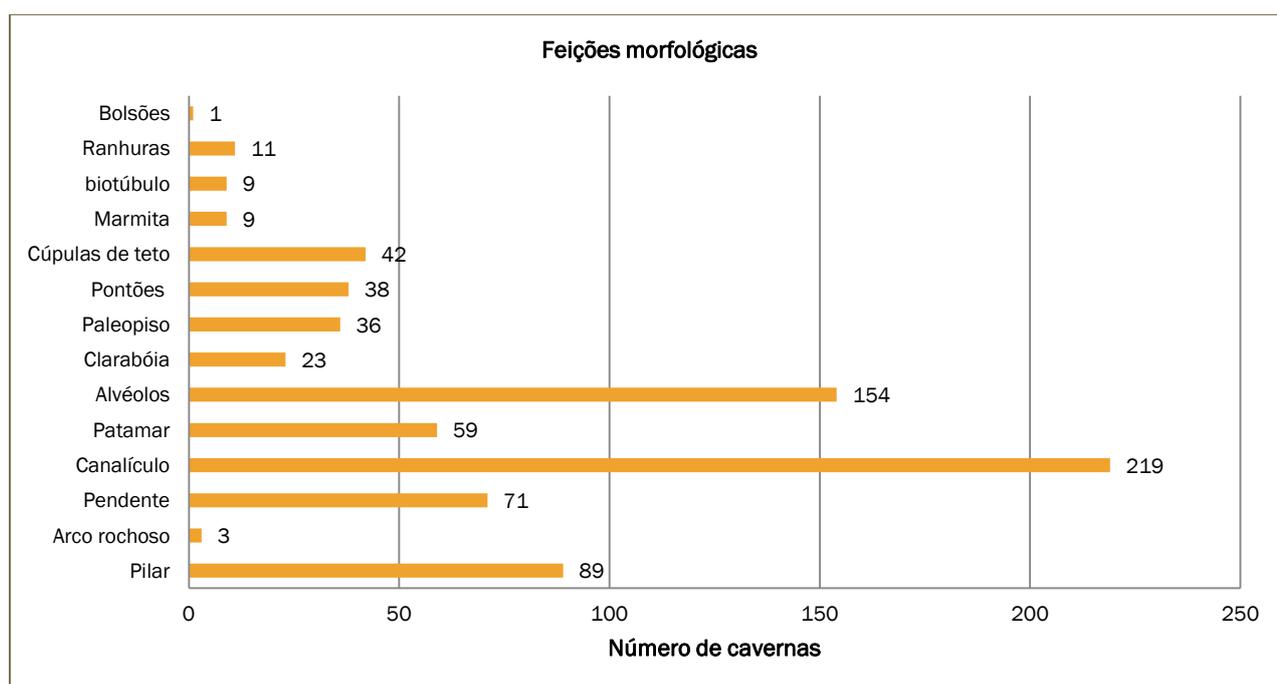


FIGURA 60 - FREQUÊNCIA DAS FEIÇÕES MORFOLÓGICAS NAS CAVERNAS DA SERRA DA BOCAINA.

O Quadro 2 apresenta a listagem das cavidades e o tipo de feição morfológica identificada.

QUADRO 2 – LISTAGEM DAS FEIÇÕES MORFOLÓGICAS IDENTIFICADAS NAS CAVERNAS DA SERRA DA BOCAINA.

Caverna	Feição morfológica													
	Pilar	Arco rochoso	Pendente	Canalículo	Patamar	Alvéolos	Clarabóia	Paleopiso	Pontões	Cúpulas de teto	Marmita	biotúbulo	Ranhuradas	Bolsões
SB-0001			X	X		X							X	
SB-0002	X		X	X		X		X						
SB-0003	X			X		X		X						
SB-0004	X		X	X			X							
SB-0005				X		X								
SB-0006				X		X								
SB-0007	X			X	X	X		X		X				
SB-0008				X										
SB-0009														
SB-0010	X		X	X										
SB-0011	X		X	X										
SB-0012	X		X	X	X				X					
SB-0013	X			X										
SB-0014			X	X										
SB-0015				X						X				
SB-0016	X		X	X		X		X	X					
SB-0017			X	X		X							X	
SB-0018				X		X								
SB-0019				X	X	X								
SB-0020				X	X	X		X						
SB-0021			X	X		X								
SB-0022	X			X			X		X	X				
SB-0023	X			X				X	X					
SB-0024				X				X						
SB-0025	X	X		X				X	X					
SB-0026	X		X	X	X	X		X						
SB-0027	X		X	X		X								
SB-0028				X		X								
SB-0029	X		X	X						X				
SB-0030						X	X							
SB-0031				X		X		X		X				
SB-0032	X		X	X										
SB-0033				X		X								
SB-0034					X	X					X			
SB-0035				X		X						X		

SB-0225				X	X	X				X				
SB-0226				X	X	X		X		X				
SB-0227				X		X				X				
SB-0228				X		X	X							
SB-0229	X			X	X	X				X		X		
SB-0230				X	X	X								
SB-0231				X		X								
SB-0232			X	X		X				X				
SB-0233	X		X		X	X								
SB-0234				X		X								
SB-0235				X		X				X				
SB-0236	X			X	X	X				X				
SB-0237	X			X		X				X	X			
SB-0238				X		X				X				
SB-0239	X			X	X	X		X		X	X	X		
SB-0240	X			X		X		X		X				
SB-0241				X		X	X	X		X				
SB-0242				X		X								
SB-0243			X	X		X								
SB-0244	X		X	X	X			X						

HIDROLOGIA

Para análise dos processos hidrológicos, no âmbito da legislação vigente, foram definidos os seguintes critérios: a) só foram consideradas as feições hidrológicas observadas durante as visitas de campo; b) não houve diferenciação entre poça e lago. É importante salientar que a perenidade dos corpos hídricos foi avaliada a partir de três campanhas de campo (duas de biologia e uma de geoespeleologia). Salienta-se que os dados obtidos nas três campanhas pode não refletir a realidade, uma vez que intermitência de alguns corpos hídricos pode se manifestar fora dos períodos das visitas.

Entre as cavernas da Serra da Bocaina, 37 (16%) apresentaram drenagem perene, ou seja, ativas durante as três campanhas de campo. Nessas cavernas (entre as quais a SB-0003, a SB-0018, a SB-0026, a SB-0059 e a SB-0116), parte ou a totalidade do fluxo superficial adentra em um setor da caverna, ressurgindo novamente na forma de drenagens superficiais. Ou seja, não se trata de uma típica drenagem subterrânea, que foi capturada para um sistema de condutos subterrâneos. Nas cavernas SB-0040 e SB-0046, a entrada das drenagens para o interior das cavernas se faz após cachoeiramento (Figura 61). Essas drenagens, muitas vezes, funcionam como agentes exógenos na ampliação de condutos e nos processos deposicionais.



FIGURA 61 - ENTRADA DA CAVERNA SB-0046 (SETA), NA MARGEM DA DRENAGEM, AO LADO DE UMA CACHOEIRA. APÓS A QUEDA É FORMADO UM POÇO QUE AVANÇA PARA O INTERIOR DA CAVERNA.

Em 14 cavidades, abrangendo 6% da amostra, as drenagens funcionam como surgências perenes, a exemplo das cavernas SB-0007 e SB-0076. A Figura 62 apresenta exemplos de surgências perenes observadas nas cavernas SB-0007 e SB-0168.

Lagos ou poças perenes foram observadas em 28 cavernas (12%) da amostra, entre elas estão: SB-0047, SB-0056, SB-0088, entre outras.



FIGURA 62 - A) SURGÊNCIA PERENE NA CAVERNA SB-0007; B) NA CAVERNA SB-0168 O ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO SE INICIA EM PEQUENOS PONTOS DE INFILTRAÇÃO NA PAREDE DISTAL (SETA); C) POÇA PERENE NA CAVERNA SB-0212, A ÁGUA É RETIDA EM UMA BACIA FORMADA SOBRE O CAPEAMENTO DE CROSTA DO PISO.

Drenagens temporárias foram registradas em 30 cavidades, representando 13% da amostra, as cavernas SB-0034, SB-0035, SB-0045, SB-0101, SB-0115, SB-0135 e SB-0137 estão entre elas. Em alguns casos trata-se do extravasamento da drenagem externa em períodos de cheia, que invade as cavernas (a exemplo das cavernas SB-0026, SB-0092, SB-0137, entre outras). Em outros casos as drenagens subterrâneas são formadas através da concentração do gotejamento no piso ou da percolação através das paredes, ou seja, formando surgências temporárias, a exemplo das cavernas SB-0011, SB-0025, SB-004, dentre outras. A Figura 63 apresenta exemplos de escoamento temporário com e sem surgência.

Lagoas ou poças temporárias foram registradas em 31 cavernas, englobando 13% da amostra. São exemplos: SB-0026, SB-0045, SB-0061, dentre outras.

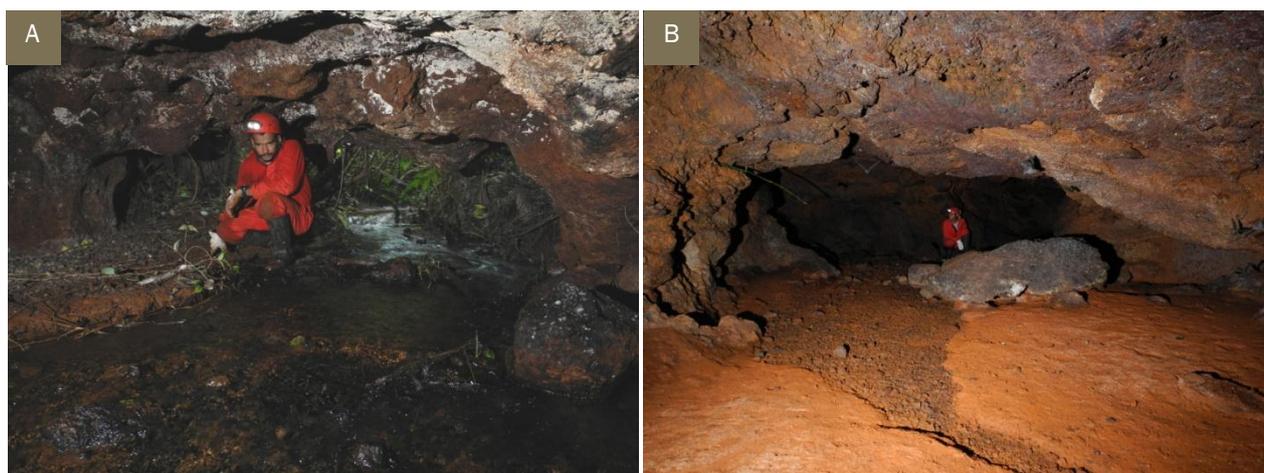


FIGURA 63 - A) VISTA DA ENTRADA DA CAVERNA SB-0026 ONDE SE PODE VER A DRENAGEM EXTERNA INVADINDO PARTE DO SALÃO PRINCIPAL. NOS PERÍODOS DE CHEIA A ÁGUA ATINGE TODO O CONDUTO. B) CANAL DE ESCOAMENTO TEMPORÁRIO NA CAVERNA SB-0025. A SURGÊNCIA, INATIVA NO MOMENTO DA VISITA, FICA NA PARTE DISTAL DA GRUTA.

O Quadro 3 apresenta a listagem de cavidades onde foram identificadas lagoas, (ou poças) ou drenagens subterrâneas, assim como a sazonalidade destas feições, tendo como base três campanhas de campo.

QUADRO 3 – LISTAGEM DAS CAVERNAS ONDE FORAM REGISTRADOS CORPOS D'ÁGUA NA SERRA DA BOCAINA .

Caverna	Tipo de feição hidrológica			
	Drenagem Perene	Drenagem Temp.	Poça/Lago perene	Poça/Lago temporário
SB-0003	X			
SB-0004	X		X	
SB-0005		X		
SB-0007	X		X	
SB-0010				X
SB-0011		X		
SB-0012				X
SB-0016		X		X
SB-0018	X			
SB-0023				X
SB-0025		X		X
SB-0026	X			X
SB-0027			X	
SB-0030	X			
SB-0032	X			
SB-0034		X		X
SB-0035		X		
SB-0036		X		X
SB-0040	X			
SB-0041				X
SB-0044		X		X
SB-0045		X		X

SB-0046	X		X	
SB-0047			X	
SB-0049		X	X	
SB-0053				X
SB-0056			X	
SB-0057	X			X
SB-0059	X			
SB-0060				X
SB-0061				X
SB-0063				X
SB-0065	X		X	
SB-0068	X			
SB-0070			X	
SB-0071		X		X
SB-0073		X		
SB-0076	X			X
SB-0080	X			
SB-0082	X		X	
SB-0085	X		X	
SB-0086		X	X	
SB-0088			X	
SB-0092		X	X	
SB-0095				X
SB-0101		X		
SB-0106				X
SB-0107		X		
SB-0114		X		X
SB-0115		X		
SB-0116	X			
SB-0117				X
SB-0118	X		X	
SB-0120		X		
SB-0122				X
SB-0130	X			
SB-0135		X		
SB-0137		X		X
SB-0138		X		X
SB-0139				X
SB-0140				X
SB-0147		X	X	
SB-0159		X		X
SB-0161			X	
SB-0165	X		X	
SB-0167	X			
SB-0168	X		X	

SB-0171			X	
SB-0173			X	
SB-0177			X	
SB-0179	X		X	
SB-0180	X		X	
SB-0181		X		X
SB-0182	X			
SB-0185	X			
SB-0193	X			
SB-0194	X		X	
SB-0195	X			X
SB-0196	X			
SB-0197		X		
SB-0199		X		X
SB-0212		X	X	
SB-0217	X		X	
SB-0218	X			
SB-0220		X		
SB-0221	X			
SB-0233	X			
SB-0239			X	
SB-0242	X			
SB-0243	X			
SB-0244		X		

Integrando dados das campanhas de geoespeleologia e bioespeleologia foi possível registrar que 170 cavernas, representando 72% da amostra, acusaram percolação/gotejamento em pelo menos uma campanha de campo.

O gotejamento e a percolação são os principais agentes espeleogenéticos atuantes atualmente nas cavernas ferríferas. Esses processos são os principais responsáveis pela dissolução, erosão, transporte e deposição de sedimentos clásticos e químicos no interior das cavernas. Esses mecanismos estão relacionados à hidrologia das vertentes, onde predominam os fluxos superficiais e verticais. Tudo indica que os processos subsuperficiais são menos importantes, tendo em vista a heterogeneidade desse setor nas rochas ferríferas (Figura 64).

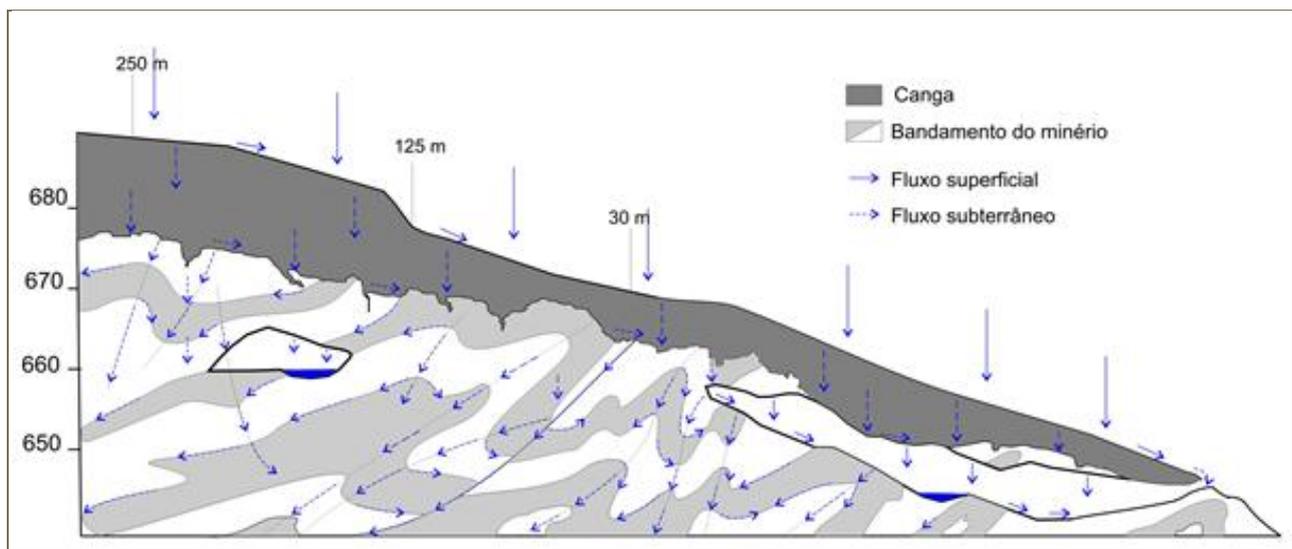


FIGURA 64 - MODELO HIPOTÉTICO DA HIDROLOGIA EM VERTENTES FERRÍFERAS.

DEPÓSITOS SEDIMENTARES CLÁSTICOS

Os sedimentos clásticos observados nas cavernas da Serra da Bocaina não apresentaram diferenças significativas se comparados a outras cavidades, na mesma litologia, estudadas na região de Carajás.

Há uma relação estreita entre o substrato rochoso e os depósitos das cavernas. Isso indica que a grande maioria das cavernas apresenta depósitos autóctones, ou seja, gerados no interior da própria cavidade. Nesse contexto, se destacam os movimentos de massa nas paredes e teto, principais responsáveis pelo processo deposicional. Esses depósitos podem ser compostos tanto por sedimentos de granulometria fina, como argilas e siltes, como por material mais grosseiro. A análise da fração granulométrica predominante nas cavernas de Bocaina indica que argilas e siltes são os sedimentos predominantes na maior parte das grutas (126 - 54%), ver Figura 65.

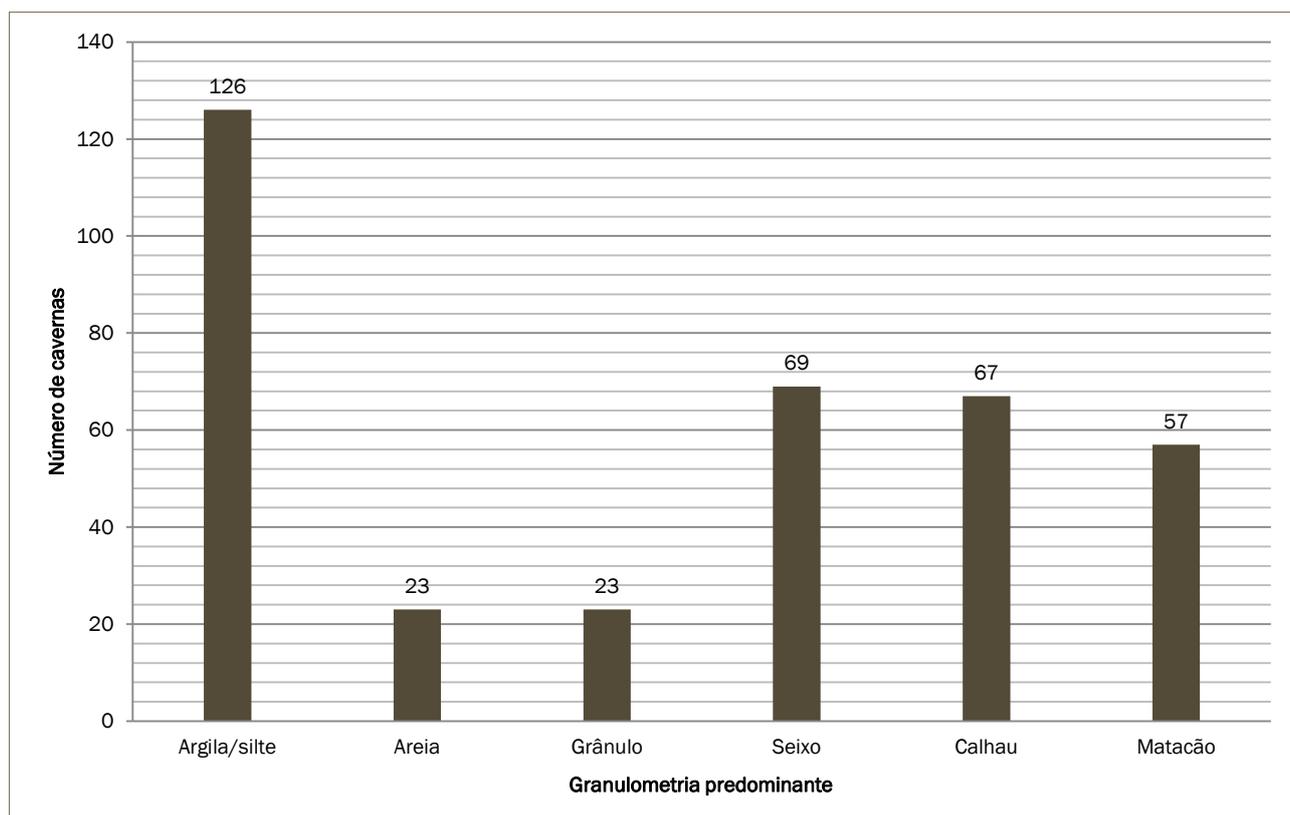


FIGURA 65 - RELAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE CAVERNAS E A FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA PREDOMINANTE DOS SEDIMENTOS CLÁSTICOS.

Os sedimentos de granulometria fina possuem textura argilo-siltosa e têm em geral coloração avermelhada a amarelada (Figura 66). Cavernas em ferricrete e rocha máfica tendem a apresentar predomínio desses sedimentos, o que se deve ao alto grau de alteração intempérica das máficas e a própria origem dos ferricretes, que apresentam uma importante participação da matriz argilosa. A participação destacada de sedimentos argilosos no piso das cavernas pode ser observada nas cavernas SB-0003, SB-0007, SB-0100, SB-0117, SB-0142, dentre outras.



FIGURA 66 - PREDOMÍNIO DE SEDIMENTOS ARGILOSOS NO PISO DA CAVIDADE SB-0025.

A origem desse tipo de sedimento é normalmente autóctone, como registrado em 104 cavernas (44%). Em algumas cavidades foi possível observar o aporte de sedimentos argilosos por meio dos

canalículos, demonstrando a importância dessas feições na sedimentação das cavernas. Nesses casos é comum a presença de cones ou leques de sedimentos argilosos à frente dos canalículos (Figura 67), o que foi registrado em pelo menos 30 cavernas, totalizando 13% da amostra. Por outro lado, em várias cavernas é nítida certa contribuição alóctone (origem mista), seja por entradas ou claraboias, como observado nas cavernas SB-0078, SB-0096, SB-0146, dentre outras (Figura 67).

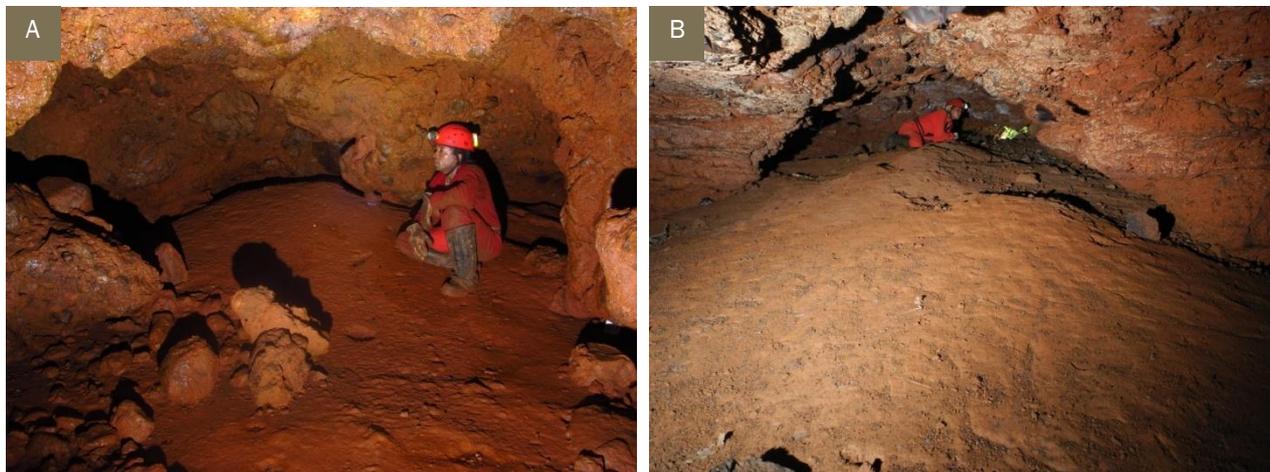


FIGURA 67 - CONE DE SEDIMENTOS ARGILOSOS NA CAVIDADE SB-0016 (A) E LEQUE DE SEDIMENTO ARGILOSO PROVENIENTE DA COBERTURA DE SOLO NA SB-0147 (B).

Sedimentos cascalhentos apesar de não predominarem na maioria, estão presentes em grande parte das cavernas. Os clastos são de granulometria variada, comumente entre grânulos a matacões. Os tamanhos predominantes são o seixo e o calhau. Quando o substrato é composto por clastos maiores, como é o caso das cavidades de canga de matacões SB-0069, é comum que o tamanho dos clastos no piso seja maior. A composição dos clastos é variada. Nas cavernas da formação ferrífera predominam a hematita e fragmentos do jaspilite ou do minério de ferro. No caso das cangas, podem ocorrer fragmentos da formação ferrífera, hematita, além de quartzo ou mesmo da própria canga retrabalhada. Nas cavernas em ferricrete registraram-se fragmentos de quartzo, formação ferrífera, máfica e ferricrete retrabalhado. A forma dos clastos varia de arredondada a angulosa, com predomínio de subangulosa. 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, fragmentada. As formas mais arredondadas dos clastos estão normalmente associadas às cangas cujos clastos sofreram algum transporte antes da cimentação, como é o caso da caverna SB-0095 (entre outras) ou ao transporte fluvial mais recente, como registrado na SB-0003, SB-0007, SB-0080, além de outras cavidades de Bocaina.

Cones de sedimentos cascalhentos, originados de movimentos de massa, foram registrados em 49 cavidades (21%). Esses depósitos são mais frequentes nas entradas das cavernas, onde os processos intempéricos são mais atuantes. No entanto, podem ocorrer em qualquer setor da gruta. Depósitos importantes, com o predomínio de calhaus e matacões foram observados nas cavernas: SB-0029, SB-0199, SB-0212, dentre outras (Figura 68).

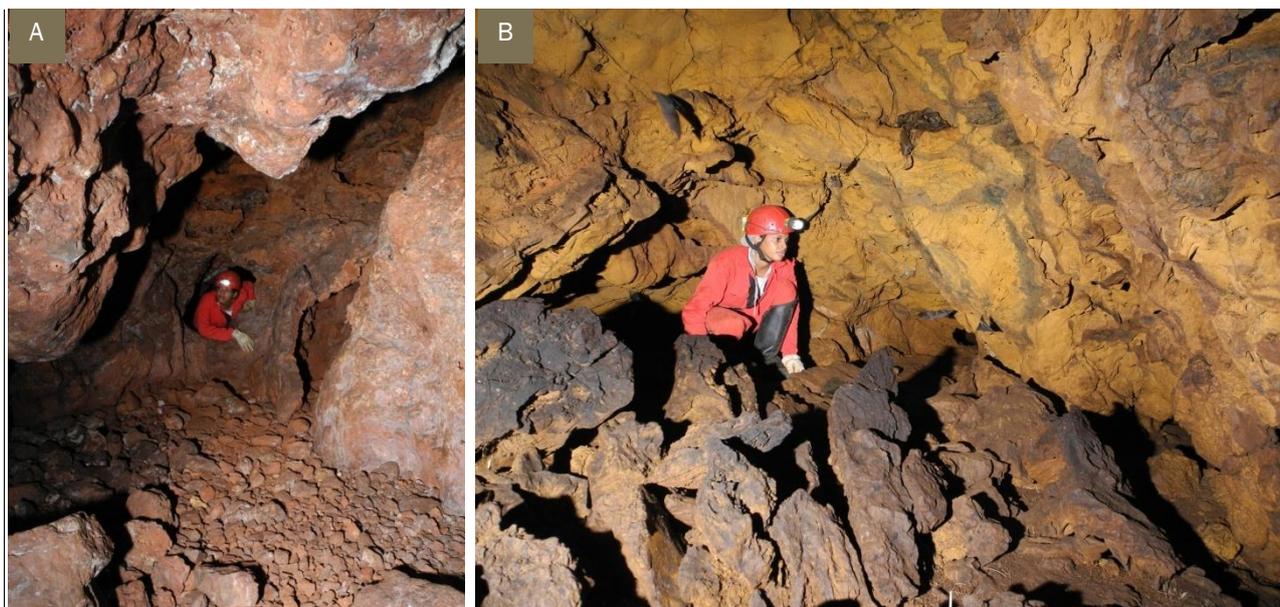


FIGURA 68 - DEPÓSITOS CASCALHENTOS DE ORIGEM AUTÓCTONE NOS PISOS DAS CAVIDADES SB-0002 (A; SEIXOS E CALHAUS) E SB-0088(B; MATAÇÕES).

O folhço é o principal sedimento orgânico nas cavernas, encontrado particularmente na entrada das cavernas, assim como sob claraboias. Foi registrado em 168 (71%) cavernas. Esses depósitos são importantes como recursos tróficos de invertebrados.

Depósitos expressivos ou manchas esparsas de guano foram registrados em 106 cavernas (45%). Importantes depósitos de guano foram registrados nas cavernas, SB-0095, SB-0199, SB-0229 (Figura 69). Esses depósitos também são importantes como recursos tróficos de invertebrados.

Fezes de animais, particularmente de pequenos mamíferos, foram identificadas em 13 cavernas (6%). Fragmentos de ossos foram registrados em outras 13 cavernas. Esses bioclastos são restos esqueléticos da fauna local, como pode ser visto na Figura 69.



FIGURA 69 - DEPÓSITO DE GUANO NA CAVIDADE SB-0229 (A) E CRÂNIO DE JACARÉ NA SB-0064 (B).

Em 57 (24%) cavidades foram registrados vestígios arqueológicos nos sedimentos. Constituem em geral fragmentos de cerâmica e/ou material lítico; esses últimos na maior parte das vezes de litologia diferente à da caverna onde estão depositados. É o caso de artefato lítico de metabasalto

fresco no interior da caverna SB-0084. O quartzo é frequente como vestígio arqueológico da região.

Os vestígios cerâmicos são os mais abundantes no piso das cavernas (Figura 70) e se concentram principalmente na zona de entrada. Tudo indica que ocorreram ocupações aparentemente esporádicas, certamente efetuadas por grupos humanos pertencentes a sociedades agricultoras, mas que exerciam atividades sazonais de caça e coleta de recursos alimentares nas encostas e no topo dos platôs de Carajás, utilizando as cavernas como base de apoio.

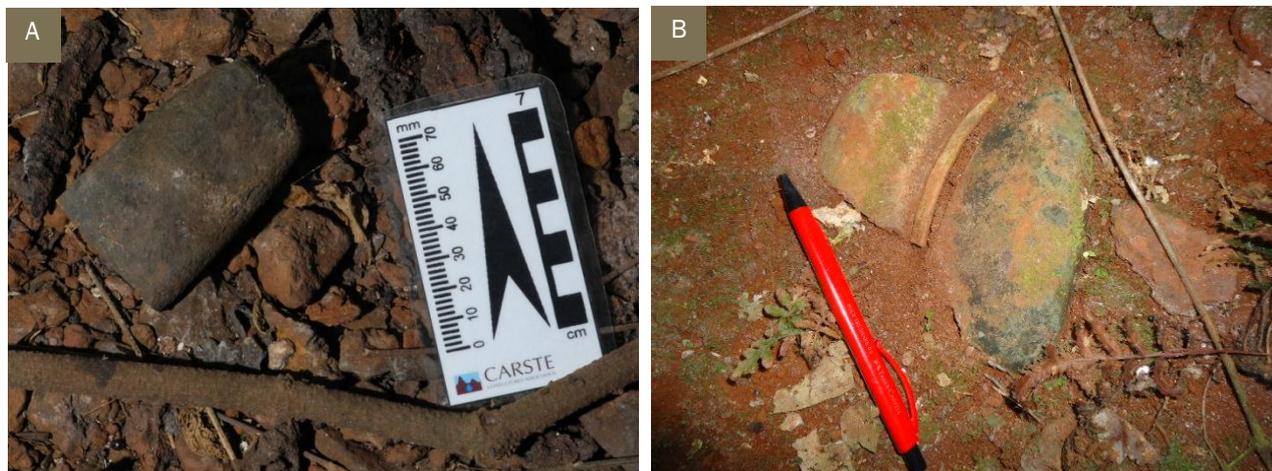


FIGURA 70 - A) ARTEFATO LÍTICO NA CAVIDADE SB-0084 E B) FRAGMENTOS CERÂMICOS NA CAVIDADE SB-0065.

DEPÓSITOS SEDIMENTARES QUÍMICOS - ESPELEOTEMAS

Depósitos sedimentares químicos foram registrados em quase todas as cavidades da Serra da Bocaina. As únicas exceções são: SB-0036 e SB-0082. Em cavernas ferríferas compreendem em geral feições de pequeno porte e com mineralogia pertencente aos grupos dos óxidos/hidróxidos de ferro, dos sulfatos e dos fosfatos (Piló & Auler, 2009). A variedade tipológica não é grande, estando em geral limitada a alguns poucos tipos de depósitos. No entanto, há abundância em determinadas cavernas. Destacam-se dois tipos principais de espeleotemas: crostas e coralóides.

A Figura 71 apresenta os espeleotemas mais frequentes nas cavernas da serra da Bocaina.

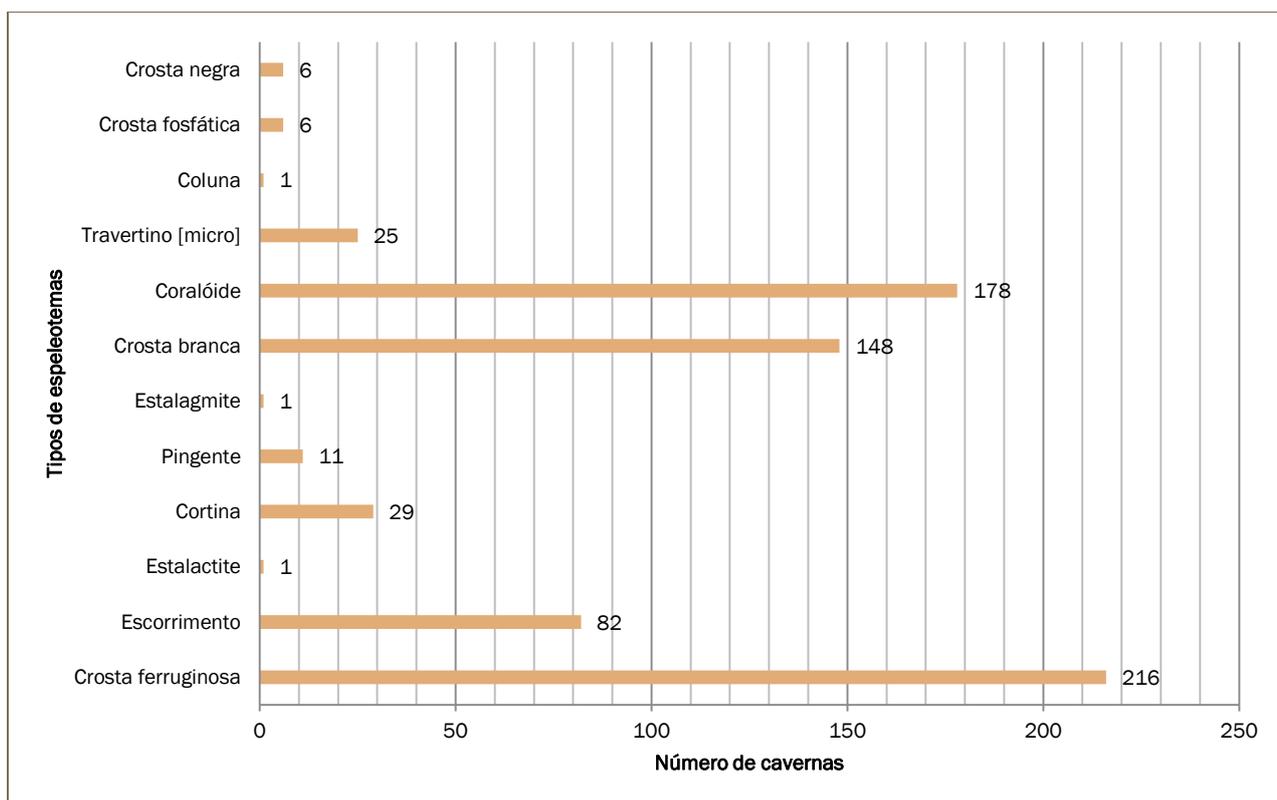


FIGURA 71 - FREQUÊNCIA DE CAVERNAS POR TIPOLOGIA DE ESPELEOTEMAS NOS DIFERENTES LITOTIPOS.

A figura acima demonstra que o espeleotema mais recorrente, independentemente do litotipo, foi a crosta ferruginosa, presente em 216 (92%) cavidades. Essas crostas podem ter coloração marrom, vermelha ou amarelada, ter aspecto porcelanizado ou não. Constituem em geral, películas de espessura milimétrica a centimétrica que recobrem blocos, piso, paredes e teto das cavernas (Figura 72). Essas crostas em alguns casos são responsáveis pela sustentação de paleopisos, que constituem importantes registros evolutivos das cavernas. Exemplos dessas crostas podem ser observados nas cavernas SB-0007, SB-0047 e SB-0212. As crostas estão associadas a escorrimentos e/ou exsudação de soluções em pisos, sobre blocos abatidos, paredes e tetos.

As crostas ferruginosas (ou crostas de óxido-hidróxido de ferro) registradas nas cavernas da Serra da Bocaina estão relacionadas ambientes distintos: o de águas circulantes (através da percolação em paredes, teto e no piso das cavernas ou por capilaridade - exsudação), ou a ambientes de águas estagnadas (em poças nas depressões no piso). Em todas as situações deve haver intermitência do fluxo ou da presença de água, para que o mineral se precipite e forme o espeleotema.



FIGURA 72 - A) CROSTA FERRUGINOSA DE COR AMARELADA SOBRE O PISO COM TEXTURA DE MICROTRAVERTINOS NA CAVERNA SB-0007; B) CROSTA RECOBRINDO BLOCOS NA SB-0212; C) CROSTA VERMELHA NA PAREDE DA CAVERNA SB-0047; D) CROSTA FERRUGINOSA RECOBRINDO PARTE DO PISO DA CAVERNA SB-0016.

Merecem destaque as crostas ferruginosas sobre a rocha nas cavernas SB-0087 e SB-0088. Destacam-se “bolotas” amarelas no teto e nas paredes (Figura 73); demonstram um aspecto esferoidal quando erodidas. São feições deposicionais raras, possivelmente de exsudação da rocha, sendo merecedoras de estudos específicos. Depósitos parecidos, porém com dimensões inferiores foram identificados na caverna SB-0007. Enquanto as “bolotas” das cavernas SB-0087 e SB-0088 atingem algumas dezenas de centímetros de diâmetro, na SB-0007 elas raramente superam 5 cm.

Crostas similares foram registradas na caverna PESE-0006 em Serra Norte. No entanto, nessa gruta as formas esferoidais (“bolotas”) não são tão evidentes ou abundantes quanto às observadas nas duas cavernas da Serra da Bocaina.



FIGURA 73 - A) CROSTAS COM FORMA ARREDONDADA NA CAVERNA SB-0007; B) CROSTAS MARROM-AMARELADAS COM FORMA ARREDONDADA NA CAVERNA SB-0088 E; C) RECOBRINDO PAREDES E TETO NA CAVERNA SB-0087.

Crostas provavelmente fosfáticas, de coloração cinza-esverdeada, foram observadas em pelo menos 15 cavidades estudadas, representando 6% da amostra. As mais expressivas encontram-se nas cavernas SB-0076, SB-0137, SB-0134 e SB-0212. Nessas cavidades, setores de paredes, piso, além de inúmeros blocos abatidos estão recobertos por essas crostas, que estão associadas a depósitos de guano (Figura 74).

Crostas brancas foram registradas em 148 cavidades, correspondendo a 63% das cavernas analisadas. Esse tipo de espeleotema possui textura macia e é sensível ao toque. Ocorrem geralmente em paredes e no teto das cavidades (Figura 74). Localmente, essas crostas podem estar associadas à microcoralóides.

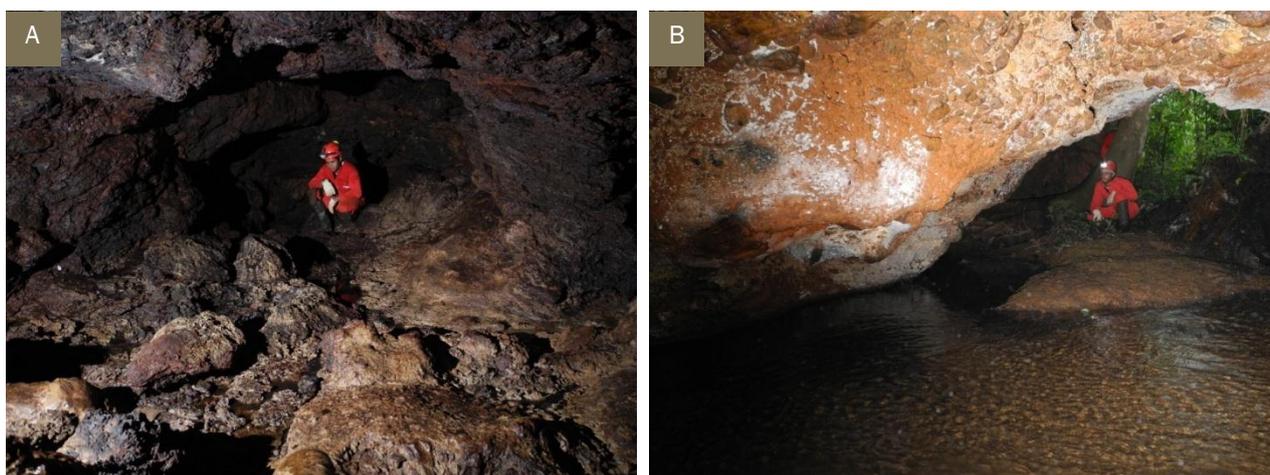


FIGURA 74 - A) CROSTA CINZA-ESVERDEADA RECOBRINDO BLOCOS NA CAVERNA SB-0212; B) CROSTAS BRANCAS NO TETO DA CAVIDADE SB-0018.

Escorrimentos de paredes são frequentes na região de Carajás. São geralmente laminados e originados de escorrimentos de soluções oriundas de fraturas e planos do bandamento da rocha. Muitas vezes esses escorrimentos podem formar cortinas, pingentes e texturas de travertinos. É difícil individualizar escorrimentos de crostas, pois os processos são frequentemente semelhantes. Na grande maioria das amostras de escorrimentos da região de Carajás foram identificados minerais de óxido-hidróxido de ferro. As cavernas SB-0007, SB-0076, e SB-0090 apresentaram escorrimentos dignos de nota (Figura 75). Na Serra Sul, três amostras de escorrimentos foram submetidas à análise mineralógica. Só foram identificados minerais do grupo de óxido-hidróxidos. Goethita e lepidocrocita estiveram presentes nas três amostras. Outros minerais dessa classe presentes nas amostras de escorrimento de paredes foram hematita, gibbsita e bayerita (Piló & Auler, 2011).

Pingentes foram observados em 11 (5%) cavernas. Esses espeleotemas correspondem a material ferruginoso que se projeta a partir do teto ou das paredes. A espessura é de poucos centímetros e o comprimento pode ser superior a 30 cm. Assemelha-se, à primeira vista, a estalactite, frequente em cavernas carbonáticas. No entanto, uma observação detalhada permite registrar várias distinções como: (i) não possui um ponto focal onde a água se origina do teto, tampouco há indícios de que a água escorre por sua borda; (ii) apresenta vazios em seu interior, sendo muitas vezes verdadeiramente oco.

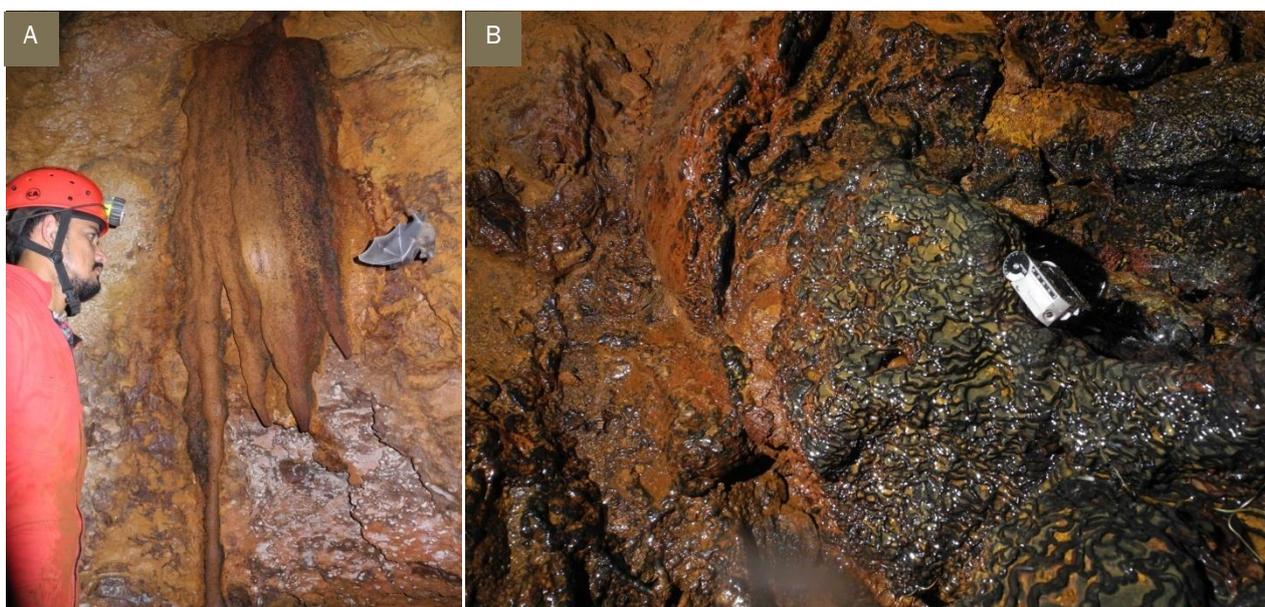


FIGURA 75 - ESCORRIMENTOS NA FORMA DE CORTINAS NA CAVERNA SB-0076 (A) E COM TEXTURA DE MICROTRAVERTINOS NA SB-0007 (B).

Coralóides foram registrados em 178 cavernas, correspondendo a 76% da amostra estudada. Coralóide é um termo geral para designar pequenos espeleotemas com formato nodular, globular, botrioidal ou em forma de coral, geralmente sem conduto central. Em Carajás, essas feições estão associadas aos seguintes mecanismos: por delgados filmes d'água que escorrem de forma irregular nas paredes; respingos de gotejamento, muito comum nas cavernas; acumulação em poças na borda de depressões; movimentos ascendentes nas paredes por capilaridade (exsudação); pela água de condensação; por aerosol.

Em todos os mecanismos o crescimento do coralóide está associado à presença de delgados filmes de água. Após a visita em centenas de cavernas na região de Carajás e no Quadrilátero Ferrífero foi possível constatar que nas cavidades com mais de uma entrada, onde há uma maior circulação de correntes de ar, ocorre uma maior quantidade de coralóides, demonstrando que a evaporação é um mecanismo importante na formação desses pequenos espeleotemas (Piló & Auler, 2009).

Em geral, os coralóides das cavernas estudadas 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). 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 às crostas. A coloração desses espeleotemas dependerá dos minerais envolvidos na cristalização, tendo sido registrados coralóides nas cores branca, branco-amarelada, marrom, cinza e preta. Ocorrem em paredes, sobre blocos abatidos, sobre pisos ou nos tetos das cavernas.

Destacados coralóides podem ser observados nas cavernas SB-0045, SB-0049, SB-0074, SB-0168, dentre outras (Figura 76). Na Serra Sul foram feitas análises mineralógicas em sete amostras de coralóides. Predominaram os fosfatos, com destaque para a strengita, a leucofosfita e a fosfosiderita. A hematita e a lepidocrocita também foram detectadas (Piló & Auler, 2011).

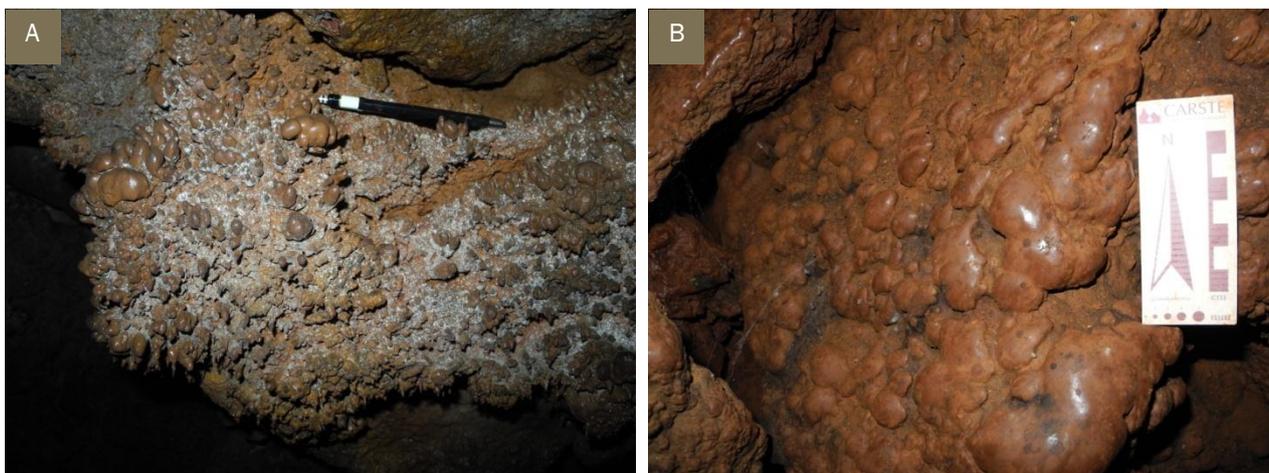


FIGURA 76 - CORALÓIDES NAS CAVERNAS SB-0168 (A) E SB-0049 (B).

Com relação aos espeleotemas, mereceu destaque a caverna SB-0070. Alguns espeleotemas observados constituem formas raras em cavernas na formação ferrífera e litologias associadas (Figura 77). Foi possível registrar estalactites, estalagmites, coralóides na forma de parafusos, micropingentes pontiagudos e cortinas. As estalactites, até o momento, só foram encontradas em duas cavernas em rochas ferríferas no país, uma delas em Serra Sul (S11D-83) e outra em Serra Norte (N4WS-0067). Análises das amostras de estalactites dessas duas cavernas registraram a ocorrência exclusiva de fosfatos. Em S11D-83, amostras de coralóides semelhantes aos encontrados na SB-0070 mostraram ser constituídas apenas por minerais fosfáticos.



FIGURA 77 - ESPELEOTEMAS RAROS NA CAVERNA SB-0070: A) ESTALACTITE COM DEPOSIÇÃO CONCÊNTRICA; B) MICROPINGENTES NA FORMA DE PARAFUSOS.

Na gruta SB-0055 foi registrada muito provavelmente a ocorrência da gipsita no teto da caverna (Figura 78). Esse espeleotema, formado por sulfato de cálcio, é raro nas cavernas ferríferas.



FIGURA 78 - ESPELEOTEMA FIBROSO MUITO PROVAVELMENTE DE SULFATO DE CÁLCIO (GIPSITA) REGISTRADO NO TETO DA CAVERNA SB-0055.

Em várias cavernas foram registrados espeleotemas considerados notáveis, com relação ao “aspecto, à maturidade ou à abundância”, Esta avaliação foi feita, de modo a atender ao Inciso XVIII do Art. 7º da Instrução Normativa N°2. No Quadro 4 são apresentados os tipos de espeleotemas existentes em cada uma das cavernas da Serra da Bocaina, assim como o tipo de ambiente em que eles se formaram. Também consta no quadro, quais cavernas apresentaram o atributo “configuração notável de espeleotemas”.

QUADRO 4 - TIPOS DE ESPELEOTEMAS POR CAVERNA NA SERRA DA BOCAINA.

Tipo de espeleotema	Crosta ferruginosa	Escorrimento	Estalactite	Cortina	Plingente	Estalagmite	Crosta branca	Coralóide	Travertino [micro]	Coluna	Crosta fosfática	Crosta negra	Configuração notável
	Ambiente de formação												
Caverna	Água circulante/estagnada	Água circulante	Água de Exsudação	Água estagnada/exsudação	Água circulante	Água circulante	Água circulante/estagnada	Água de Exsudação					
SB-0001	X												
SB-0002	X						X	X					
SB-0003	X						X						
SB-0004	X												
SB-0005	X	X					X	X					
SB-0006	X						X	X					
SB-0007	X	X		X	X		X	X	X			X	X
SB-0008	X						X	X					
SB-0009		X					X		X				
SB-0010	X							X	X	X	X		
SB-0011	X												
SB-0012	X	X		X	X		X	X	X		X		X
SB-0013	X	X						X					

SB-0014	X	X					X	X						
SB-0015	X			X			X	X						X
SB-0016	X							X						
SB-0017	X						X	X						
SB-0018	X	X		X			X	X						
SB-0019	X						X	X						
SB-0020	X						X	X						
SB-0021	X	X			X		X	X						
SB-0022	X							X						
SB-0023	X						X	X						
SB-0024	X						X	X						
SB-0025	X						X	X						
SB-0026	X						X	X			X			X
SB-0027							X							
SB-0028							X	X						
SB-0029	X							X						
SB-0030							X	X						
SB-0031							X	X						
SB-0032	X	X		X			X	X	X					X
SB-0033	X						X	X						
SB-0034	X						X							
SB-0035	X	X		X			X							
SB-0036														
SB-0037	X						X	X						
SB-0038	X						X	X						
SB-0039	X						X	X						
SB-0040	X	X												
SB-0041	X			X			X	X					X	
SB-0042		X		X				X						
SB-0043	X						X	X						
SB-0044	X	X					X	X						
SB-0045	X				X		X	X						
SB-0046	X						X	X						
SB-0047	X	X		X			X	X						X
SB-0048	X	X					X							
SB-0049	X	X		X			X	X			X	X	X	
SB-0050	X						X	X						
SB-0051	X						X	X						X
SB-0052	X	X		X	X		X	X	X					
SB-0053	X						X	X						
SB-0054	X	X					X	X						
SB-0055	X	X		X			X	X						X
SB-0056	X						X	X						
SB-0057	X						X	X						
SB-0058							X	X						
SB-0059	X						X	X						
SB-0060							X	X						
SB-0061	X						X	X						
SB-0063	X	X		X			X	X						
SB-0064	X	X					X	X				X	X	
SB-0065	X						X	X						
SB-0066	X	X					X	X						
SB-0067	X						X							
SB-0068	X	X		X			X	X						
SB-0069	X	X		X			X	X			X			X
SB-0070	X	X	X		X	X	X	X						
SB-0071	X						X	X						
SB-0072	X						X	X						
SB-0073	X			X			X	X						
SB-0074	X						X	X						X
SB-0075	X						X	X						
SB-0076	X	X		X			X	X			X			X
SB-0077	X	X					X	X						
SB-0078	X						X	X						

SB-0079	X					X	X						
SB-0080	X												
SB-0081	X					X	X						
SB-0082													
SB-0083	X	X				X	X						
SB-0084	X					X	X						
SB-0085	X												
SB-0086	X					X	X						
SB-0087	X	X					X						X
SB-0088	X						X						X
SB-0089	X					X	X						
SB-0090	X	X		X					X				
SB-0091	X	X				X							
SB-0092						X	X						
SB-0094						X	X						
SB-0095	X					X	X			X			
SB-0096	X	X		X			X						
SB-0097	X	X				X	X	X					X
SB-0098	X					X	X						
SB-0099	X					X	X						
SB-0100						X							
SB-0101	X					X	X						X
SB-0102	X	X				X	X	X					X
SB-0103	X	X				X	X						
SB-0104	X					X							
SB-0106	X					X	X						
SB-0107	X	X				X	X	X					
SB-0110	X						X					X	
SB-0111	X	X				X							
SB-0112	X	X				X	X			X	X		
SB-0113	X	X				X	X						
SB-0114	X	X				X	X				X	X	
SB-0115	X						X						
SB-0116	X						X						
SB-0117	X	X					X	X					X
SB-0118	X	X		X	X		X						X
SB-0119	X	X				X	X	X		X			X
SB-0120	X	X					X						
SB-0122	X	X					X	X					
SB-0123	X	X					X	X	X				
SB-0124	X	X				X	X	X					
SB-0125	X						X						X
SB-0126	X	X					X						
SB-0127	X						X						
SB-0128	X						X						
SB-0129	X	X				X	X						
SB-0130	X					X	X						
SB-0131	X						X						
SB-0132	X	X				X							
SB-0133	X					X							
SB-0134	X					X				X			
SB-0135	X												
SB-0136	X					X							
SB-0137	X	X				X	X			X			
SB-0138	X												
SB-0139	X					X							
SB-0140	X	X				X	X						
SB-0141	X					X	X						
SB-0142	X					X	X						
SB-0143	X					X	X						
SB-0144	X												
SB-0145	X					X	X						
SB-0146	X					X	X						
SB-0147	X					X							

SB-0149	X						X	X					
SB-0150	X						X	X					
SB-0151	X						X	X					
SB-0152	X						X	X					
SB-0153	X						X	X					
SB-0154	X						X	X					
SB-0155	X												
SB-0156	X						X	X					
SB-0157	X						X	X					
SB-0159	X	X					X	X					
SB-0160	X						X	X					
SB-0161	X						X	X					
SB-0162	X						X	X					
SB-0163	X							X					X
SB-0164	X												
SB-0165	X							X					
SB-0166	X							X					
SB-0167		X											X
SB-0168		X		X	X			X					X
SB-0169								X					
SB-0170	X	X					X	X					
SB-0171	X	X											
SB-0172	X	X		X			X		X				
SB-0173	X	X		X					X				
SB-0174	X	X					X	X					X
SB-0175	X	X					X				X		X
SB-0176		X					X	X	X		X		
SB-0177	X	X						X					
SB-0178	X							X					
SB-0179	X	X			X								X
SB-0180		X						X					X
SB-0181	X												
SB-0182	X	X									X		
SB-0183	X	X		X				X	X				
SB-0184	X	X		X					X				X
SB-0185	X							X					
SB-0186	X	X					X	X					
SB-0187	X						X	X					
SB-0188	X	X		X			X	X	X				
SB-0189	X							X					
SB-0190	X						X	X					
SB-0191	X	X						X	X				
SB-0192	X							X			X		
SB-0193	X							X					
SB-0194	X						X	X					
SB-0195	X												
SB-0196	X												
SB-0197	X						X	X					
SB-0198	X							X					
SB-0199	X	X		X				X					X
SB-0200	X						X	X					
SB-0201	X						X						
SB-0202	X	X							X				X
SB-0203	X												
SB-0204	X												
SB-0206	X												
SB-0207	X							X			X		
SB-0208	X						X	X					
SB-0209	X						X	X					
SB-0210	X						X	X					
SB-0211	X							X					
SB-0212	X	X		X	X			X			X		X
SB-0213	X						X	X					
SB-0214	X						X	X					

SB-0215	X					X						X
SB-0216	X											X
SB-0217	X											
SB-0218	X											
SB-0219	X					X	X					
SB-0220	X						X					X
SB-0221	X											
SB-0222	X						X					
SB-0223	X						X					
SB-0224	X						X					
SB-0225	X											
SB-0226	X	X				X	X			X		
SB-0227	X						X					
SB-0228	X						X					
SB-0229	X	X										X
SB-0230	X					X	X					
SB-0231	X						X					
SB-0232	X						X					
SB-0233	X	X				X	X					
SB-0234	X					X	X					
SB-0235	X					X						
SB-0236		X				X	X					
SB-0237	X					X	X					
SB-0238	X					X	X					
SB-0239	X	X					X	X				
SB-0240	X					X	X					
SB-0241	X						X					
SB-0242	X	X										
SB-0243	X	X										
SB-0244	X	X		X	X		X	X				X

ASPECTOS ESPELEOGENÉTICOS E CRONOLÓGICOS

Com relação à forma de atuação do agente espeleogenético, podemos registrar que a grande maioria das cavernas da Serra da Bocaina foi gerada por processos endógenos, ou seja, criadas por agentes atuantes no interior da rocha. Essas cavernas foram geradas, principalmente, pelo fluxo da água a partir de zonas de recarga na superfície, oriundas de águas meteóricas. Nesse grupo podemos citar as cavernas SB-0001, SB-0014, SB-0037, dentre outras. Com relação à gênese, a caverna SB-0169 se destaca no conjunto estudado. Esta caverna, diferentemente das demais, não possui a morfologia típica das cavernas da região de Carajás, desenvolvidas em geral acompanhando o gradiente hidráulico da encosta. Na SB-0169 o salão principal é globular e bastante volumoso, e está bem abaixo do nível de base da vertente, sendo acessada por uma passagem subvertical estreita na base da escarpa. A caverna tem pelo menos dois níveis sobrepostos, conectados por fendas estreitas, se assemelhando mais a uma gruta carbonática. Nessa caverna, devido ao espesso pacote rochoso em que se insere a atuação de processos erosivos decorrentes da ação de águas pluviais não parece ter sido tão significativa como na grande maioria das cavernas de Carajás, o que favoreceu a preservação de uma morfologia mais ligada aos processos endógenos iniciais.

Por outro lado, foi possível registrar que em pelo menos 70 cavernas ocorreram processos exógenos, ou seja, atuaram processos provindos do exterior do maciço rochoso, de fora para dentro. As cavernas de tálus são bons exemplos de cavernas exógenas, a exemplo das cavernas SB-0078, SB-0089 e SB-0181. Cavernas com a atuação da erosão fluvial também se incluem nesse grupo, a exemplo das cavernas SB-0016, SB-0059, SB-0086, dentre outras.

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) também 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 envolve reações químicas no interior da massa rochosa particularmente 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 canalículos, 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 pluvial e concomitantemente maior capacidade erosiva da mesma. Este processo parece responsável pela formação de grande parte das cavernas da Serra da Bocaina. É importante salientar que várias cavernas já funcionaram ou ainda funcionam como pequenas descargas hídricas de águas acumuladas nas zonas de recarga dos platôs. Há um conjunto de cavernas que funcionam dentro de um sistema tributário, alimentando drenagens temporárias, a exemplo das cavernas SB-0014, SB-0032, SB-0048, SB-0096.

Destaca-se ainda a participação de estruturas geológicas como guia no alargamento da porosidade. Os planos do bandamento da formação ferrífera são as principais estruturas-guia no desenvolvimento das cavidades. Quando maior o ângulo desses planos, maior o desenvolvimento (alargamento) dos condutos.

A morfologia espongiforme de algumas das cavernas estudadas sugere que câmaras (globulares) podem ter evoluído independentemente, tendo sido tardiamente conectadas por galerias mais estreitas (canalículos alargados).

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, em Minas Gerais. Estes locais de mudança textural e descontinuidades constituem pontos favoráveis para que o processo de dissolução e erosão seja acelerado e cavernas sejam geradas.

Mais recentemente, Parker *et al.* 2003 tem investigado a participação das comunidades microbianas na gênese das cavernas de Carajás. Segundo os autores, foi identificada intensa atividade microbiana e biofilmes pendentes (snottites) no interior das cavernas, que incluiu reconhecidas espécies nos processos de oxidação e redução do ferro. As condições observadas e as comunidades microbianas identificadas, sugerem que o ciclo do ferro por microrganismos poderia converter Fe insolúvel (III) em Fe solúvel (II) aquoso, o que levaria à mobilização de ferro. Com a redução do ferro, o fluxo de águas subterrâneas poderia remover massa de Fe (II) aquoso, permitindo o alargamento de vazios e formação de cavernas na região de Carajás.

As cavernas de ferricrete ainda não apresentam um modelo genético para a região, tendo em vista que foram reveladas muito recentemente. É bem provável que essas cavidades se formaram por meio de processos do tipo *piping*. Possivelmente, durante o período de ferruginização do sedimento coluvionar, foram geradas zonas heterogêneas de cimentação. Nessas zonas, menos cimentadas pelo ferro (menos coesas), foram criadas zonas de fraqueza, que permitiram a percolação do fluxo da água vinda dos platôs ferríferos e a formação de “*proto-pipes*”.

Destaca-se ainda a possível participação da atividade biológica na formação ou apenas na ampliação de algumas cavidades na Serra da Bocaina, ou seja, são possíveis paleotocas. Essas cavidades são estruturas de bioerosão encontradas na forma de túneis ou galerias escavadas no ferricrete. Apresentam seções elípticas ou circulares, além de ranhuras importantes provavelmente originadas das garras durante as escavações. Essas cavidades, provavelmente, foram moradias temporárias ou permanentes, atribuídas a escavação por mamíferos gigantes (particularmente tatus), que habitavam a América do Sul durante o Terciário e o Quaternário.

A idade das cavernas em minério de ferro e canga ainda está em aberto. 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).

Spier (2005) e Spier *et al.* (2006) tem revelado 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 milhões de anos), com idades bem superiores às cavernas carbonáticas.

ASPECTOS SÓCIO ECONÔMICOS, CULTURAIS E ESTADO DE CONSERVAÇÃO

Nenhuma das cavernas estudadas na Serra da Bocaina apresentou atributos de valor sócio-econômico, tais como utilização para fins de lazer, esporte ou mesmo para fins religiosos. Com relação a seu estado de conservação, nove cavidades, representando 4% da amostra, apresentaram algum tipo de interferência (impacto) em seu interior. Esses impactos são decorrentes, principalmente do uso dessas cavernas como moradia temporária ou para uso esporádico. Foi possível registrar, garrafas de aguardente (Figura 79), sapatos velhos e colchões, possivelmente de indigentes (SB-0087, SB-0097, SB-0146, dentre outras). Fogueiras, possivelmente de caçadores, também foram registradas em algumas poucas cavernas.



FIGURA 79 - GARRAFAS DE AGUARDENTE NA CAVERNA SB-0087.

No entorno das cavidades, a principal interferência na paisagem da Serra da Bocaina foi a substituição da cobertura vegetal original pelas pastagens. O corte seletivo de madeiras de valor econômico também foi registrado. Nas áreas com campos ferruginosos e savanas, particularmente no topo do planalto residual, é possível observar áreas com poucas interferências. Alguns remanescentes florestais também foram identificados. Ao todo, 148 cavernas (63%) apresentaram algum tipo de alteração no entorno. O Quadro 5 apresenta as alterações no interior e no entorno das cavernas.

QUADRO 5 - ALTERAÇÕES NO INTERIOR E ENTORNO DAS CAVERNAS DA SERRA DA BOCAINA.

Caverna	Impactos	
	Na cavidade	No entorno
SB-0001		Alterações na vegetação
SB-0002		Alterações na vegetação
SB-0003		Desmatamento e mangueiras para a captação de água.
SB-0004		Estrada
SB-0005		Alterações na vegetação e estrada
SB-0006		Alterações na vegetação
SB-0007		
SB-0008		Alterações na vegetação

SB-0009		
SB-0010		
SB-0011		
SB-0012		Alterações na vegetação e estrada
SB-0013		Alterações na vegetação e estrada
SB-0014		Alterações na vegetação e estrada
SB-0015		Alterações na vegetação e estrada
SB-0016		Alterações na vegetação
SB-0017		Alterações na vegetação
SB-0018		Alterações na vegetação
SB-0019		Alterações na vegetação
SB-0020		
SB-0021		Alterações na vegetação
SB-0022		
SB-0023		Alterações na vegetação
SB-0024		Alterações na vegetação
SB-0025		Alterações na vegetação
SB-0026		Alterações na vegetação
SB-0027		Alterações na vegetação
SB-0028		Alterações na vegetação
SB-0029		
SB-0030		Alterações na vegetação
SB-0031		Alterações na vegetação
SB-0032		Alterações na vegetação
SB-0033		
SB-0034		
SB-0035		
SB-0036		
SB-0037		
SB-0038		Alterações na vegetação
SB-0039		Alterações na vegetação
SB-0040		
SB-0041		Alterações na vegetação e estrada
SB-0042		Alterações na vegetação e estrada
SB-0043		
SB-0044		
SB-0045		
SB-0046		
SB-0047		Alterações na vegetação e estrada
SB-0048		Alterações na vegetação e estrada
SB-0049		Alterações na vegetação
SB-0050		
SB-0051		Alterações na vegetação e estrada
SB-0052		
SB-0053		
SB-0054		
SB-0055		
SB-0056		
SB-0057		
SB-0058		
SB-0059		Alterações na vegetação
SB-0060		Alterações na vegetação e estrada
SB-0061		Alterações na vegetação e estrada
SB-0063		Alterações na vegetação
SB-0064		Alterações na vegetação
SB-0065		
SB-0066		
SB-0067		
SB-0068		Alterações na vegetação e estrada
SB-0069		Alterações na vegetação e estrada
SB-0070	Carvão no interior	

SB-0071		
SB-0072		Alterações na vegetação e estrada
SB-0073		Alterações na vegetação
SB-0074		Alterações na vegetação e estrada
SB-0075		Alterações na vegetação
SB-0076		Alterações na vegetação e estrada
SB-0077		
SB-0078		Alterações na vegetação
SB-0079		
SB-0080		Entorno desmatado com casas e estradas
SB-0081		
SB-0082		Entorno desmatado com casas e estradas
SB-0083		Alterações na vegetação
SB-0084		Alterações na vegetação e estrada
SB-0085		Estrada
SB-0086		Entorno desmatado com casas e estradas
SB-0087	lixo (garrafas)	Alterações na vegetação
SB-0088	Garrafa e lata no interior	Pasto e erosão.
SB-0089		
SB-0090		
SB-0091		
SB-0092		Entorno desmatado com casas e estradas
SB-0094		Alterações na vegetação e estrada
SB-0095		Alterações na vegetação
SB-0096		Alterações na vegetação
SB-0097	Botas, pilhas usadas e garrafa no interior/Use por caçador	Alterações na vegetação
SB-0098		Alterações na vegetação
SB-0099		Alterações na vegetação e estrada
SB-0100		Alterações na vegetação
SB-0101		Alterações na vegetação
SB-0102		Alterações na vegetação
SB-0103		Alterações na vegetação
SB-0104		Alterações na vegetação
SB-0106		Estrada
SB-0107		
SB-0110		Alterações na vegetação
SB-0111		Alterações na vegetação e estrada
SB-0112		Alterações na vegetação
SB-0113		Alterações na vegetação
SB-0114		
SB-0115		Alterações na vegetação
SB-0116		Alterações na vegetação
SB-0117		Alterações na vegetação
SB-0118		Alterações na vegetação
SB-0119		
SB-0120		Alterações na vegetação
SB-0122		Alterações na vegetação
SB-0123		Alterações na vegetação
SB-0124		Alterações na vegetação
SB-0125		Alterações na vegetação
SB-0126		Alterações na vegetação
SB-0127		Alterações na vegetação e estrada
SB-0128		Alterações na vegetação e estrada
SB-0129		Alterações na vegetação e estrada
SB-0130		Alterações na vegetação e estrada
SB-0131		Alterações na vegetação e estrada
SB-0132		Alterações na vegetação
SB-0133		Alterações na vegetação
SB-0134		
SB-0135		Alterações na vegetação
SB-0136		Alterações na vegetação

SB-0137		
SB-0138		Alterações na vegetação
SB-0139		Alterações na vegetação
SB-0140	Caverna com lixo: saco plástico e espuma	Alterações na vegetação e estrada
SB-0141		Alterações na vegetação
SB-0142		Alterações na vegetação e estrada
SB-0143	Lixo	Entorno desmatado com casas e rodovia.
SB-0144		Entorno com casas, rodovia, pasto e linha de transmissão.
SB-0145		Entorno com casas, rodovia, desmatamento e lixo no piso.
SB-0146	Lixo e restos de fogueira no interior	Entorno com casas, rodovia, desmatamento.
SB-0147		Alterações na vegetação e estrada
SB-0149		Alterações na vegetação
SB-0150		Alterações na vegetação
SB-0151		Alterações na vegetação
SB-0152		Alterações na vegetação
SB-0153		Alterações na vegetação
SB-0154		Alterações na vegetação
SB-0155	Blocos foram empilhados na entrada	Alterações na vegetação
SB-0156		Alterações na vegetação
SB-0157		Alterações na vegetação
SB-0159		Alterações na vegetação
SB-0160		Alterações na vegetação
SB-0161		Alterações na vegetação
SB-0162		
SB-0163		
SB-0164		
SB-0165		
SB-0166		
SB-0167		
SB-0168		
SB-0169		
SB-0170		Alterações na vegetação
SB-0171		
SB-0172		
SB-0173		
SB-0174		
SB-0175		
SB-0176		
SB-0177		
SB-0178		
SB-0179		
SB-0180		
SB-0181		
SB-0182		
SB-0183		
SB-0184		
SB-0185		Alterações na vegetação
SB-0186		Alterações na vegetação
SB-0187		Alterações na vegetação
SB-0188		
SB-0189		
SB-0190		
SB-0191		
SB-0192		
SB-0193		
SB-0194		
SB-0195		
SB-0196		
SB-0197		
SB-0198		Alterações na vegetação
SB-0199		Alterações na vegetação

SB-0200		
SB-0201		
SB-0202		
SB-0203		
SB-0204		
SB-0206		Alterações na vegetação
SB-0207		
SB-0208		
SB-0209		
SB-0210		
SB-0211		
SB-0212		
SB-0213		
SB-0214		Alterações na vegetação
SB-0215		Alterações na vegetação
SB-0216		Alterações na vegetação
SB-0217		Alterações na vegetação
SB-0218		Alterações na vegetação
SB-0219		Alterações na vegetação
SB-0220		Alterações na vegetação
SB-0221		Estrada
SB-0222		Alterações na vegetação
SB-0223		Alterações na vegetação
SB-0224		Alterações na vegetação
SB-0225		Estrada
SB-0226		Alterações na vegetação
SB-0227		Alterações na vegetação
SB-0228		Alterações na vegetação
SB-0229		Alterações na vegetação
SB-0230		Alterações na vegetação
SB-0231		Alterações na vegetação
SB-0232		Alterações na vegetação
SB-0233		Alterações na vegetação
SB-0234		Alterações na vegetação
SB-0235		Alterações na vegetação
SB-0236		Alterações na vegetação
SB-0237	Impactos no interior da cavidade (roupas e restos de fogueiras)	Alterações na vegetação
SB-0238		Alterações na vegetação
SB-0239		Alterações na vegetação
SB-0240		Alterações na vegetação
SB-0241		Alterações na vegetação e estrada
SB-0242		Alterações na vegetação
SB-0243		
SB-0244		

BIOESPELEOLOGIA

AMBIENTE CAVERNÍCOLA

As características ambientais das cavidades podem ser observadas nas fichas de campo disponíveis no Anexo III.

De todas as 235 cavidades estudadas nas áreas do projeto Bocaina, em 71 (52,6%) foi observada apenas zona de entrada. Cavidades com presença de zona afótica correspondem a 12,8% (30 cavidades). Considerando a litologia em que essas cavidades naturais subterrâneas estão inseridas, os resultados obtidos estão dentro do esperado. As cavernas em minério de ferro são reconhecidas por serem superficiais e apresentarem reduzidos tamanho, área e volume, quando comparadas às carbonáticas. Esse fato proporciona a formação de feições com predominância de zona de entrada e com penumbra. A existência de zona afótica em áreas penetráveis pelo ser humano em cavidades de minério de ferro pode ser considerada menos frequente.

Apesar da coerência dos resultados acima apresentados, uma ressalva deve ser considerada. A área de insolação na superfície terrestre varia consideravelmente ao longo do dia e do ano. Tal fato faz da zonação uma variável extremamente oscilante e de pouca repetibilidade. A distribuição na incidência de luz solar obtida no interior de uma cavidade em determinado horário e época do ano será, provavelmente, diferente da obtida, na mesma cavidade, em outra oportunidade. Por esse motivo, vale reforçar que os resultados aqui apresentados e discutidos são referentes apenas aos dados obtidos no momento em que estavam sendo realizadas as coletas no interior de cada cavidade.

Considerando-se a quantidade total de cavidades amostradas na área, 30,2% (71 cavidades) experimentou um acréscimo na presença de umidade do piso entre as estações seca e a chuvosa. Apenas em 3,8% (nove cavidades) houve um decréscimo nesse parâmetro.

Em 31% das cavidades (73) foram registradas regiões com água estagnada ao menos em uma campanha, representada, em sua maior parte, por poças no sedimento ou sobre a rocha. Destas, em 33 cavidades foi encontrado corpo d'água em apenas uma das campanhas e em 40 cavidades, em ambas as campanhas. Drenagens foram observadas em 25% das cavidades em ao menos uma das 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.

Ao se tratar da ocorrência de organismos fotossintetizantes (líquen, musgo, alga, pteridófito, broto e árvore) e fungos no interior das cavidades, considerou-se comum a existência, 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 (Figura 80). Devido à pequena dimensão e predomínio de zona de entrada, algumas cavernas possuem grande parte de sua área recoberta por vegetação. 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 fungos recobrendo parte de parede e teto de algumas cavidades.

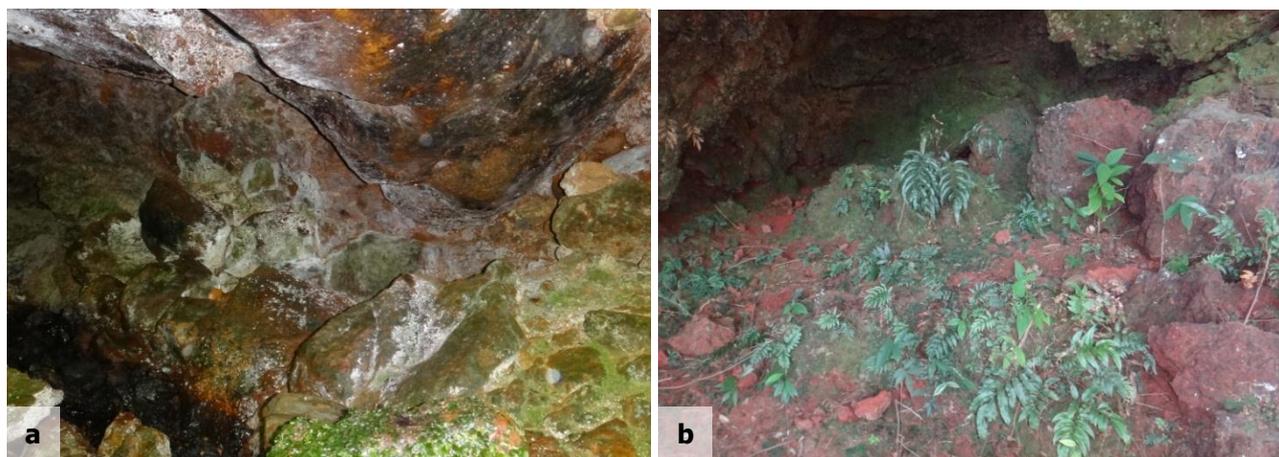


FIGURA 80 - A- MICRO-ORGANISMOS FOTOSSINTETIZANTES NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0167, DURANTE A CAMPANHA SECA. B- VEGETAÇÃO DE PEQUENO PORTE NA ENTRADA DA CAVIDADE SB-0203, NA CAMPANHA SECA.

Em quase todas as cavidades naturais subterrâneas amostradas durante as campanhas bioespeleológicas foi possível constatar pelo menos um tipo de substrato orgânico, das sete possibilidades atualmente consideradas nesse tipo de estudo: material vegetal, detrito, raízes, guano, fezes de vertebrados não-voadores, bolotas de regurgitação e carcaça (Quadro 6). A exceção ficou por conta das cavidades SB-0144, SB-0165, SB-0173, nas quais não se observou nenhum tipo de substrato orgânico, em ambas campanhas de amostragem.

QUADRO 6 - SUBSTRATOS ORGÂNICOS PRESENTES NAS CAVIDADES ESTUDADAS NO PROJETO SERRA DA BOCAINA. LEGENDA: 1 - MATERIAL VEGETAL; 2 - DETRITO; 3 - RAÍZES; 4 - GUANO; 5 - FEZES DE VERTEBRADOS NÃO-VOADORES; 6 - BOLOTAS DE REGURGIÇÃO; 7 - CARÇAÇA.

Cavidade	1	2	3	4	5	6	7	Total
SB-0001	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0002	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0003	X	-	X	X	-	-	-	3
SB-0004	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0005	X	-	X	X	-	-	-	3
SB-0006	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0007	X	X	X	X	X	-	-	5
SB-0008	X	X	X	X	X	-	-	5
SB-0009	X	-	X	X	-	-	X	4
SB-0010	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0011	X	-	X	X	X	-	X	5
SB-0012	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0013	X	-	X	-	X	X	-	4
SB-0014	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0015	X	-	X	X	-	-	-	3
SB-0016	X	X	X	X	X	-	-	5
SB-0017	X	-	X	X	-	-	-	3
SB-0018	X	-	X	X	-	-	-	3
SB-0019	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0020	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0021	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0022	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0023	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0024	-	-	X	X	-	-	-	2
SB-0025	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0026	X	X	X	X	X	-	-	5
SB-0027	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0028	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0029	X	-	X	X	-	-	-	3
SB-0030	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0031	X	-	X	X	-	-	-	3
SB-0032	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0033	X	-	X	-	X	-	-	3
SB-0034	X	-	X	X	-	-	-	3

Cavidade	1	2	3	4	5	6	7	Total
SB-0124	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0125	-	-	X	-	X	-	-	2
SB-0126	X	-	X	-	X	-	-	3
SB-0127	X	-	X	-	X	-	X	4
SB-0128	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0129	X	-	X	-	X	-	-	3
SB-0130	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0131	-	-	X	-	-	-	-	1
SB-0132	X	X	X	-	-	-	-	3
SB-0133	X	-	-	X	-	-	-	2
SB-0134	X	X	X	X	X	-	-	5
SB-0135	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0136	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0137	X	X	X	X	X	-	-	5
SB-0138	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0139	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0140	X	X	X	X	X	X	X	7
SB-0141	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0142	X	X	X	X	-	-	-	4
SB-0143	X	-	X	-	X	-	X	4
SB-0144	-	-	-	-	-	-	-	0
SB-0145	X	X	X	X	X	-	-	5
SB-0146	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0147	X	X	X	X	X	-	X	6
SB-0149	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0150	X	X	X	X	X	-	-	5
SB-0151	X	X	X	-	-	-	-	3
SB-0152	X	X	X	X	X	-	X	6
SB-0153	X	-	X	-	X	-	X	4
SB-0154	X	X	-	-	-	-	-	2
SB-0155	X	-	X	-	X	-	-	3
SB-0156	X	X	X	X	X	-	-	5
SB-0157	X	X	X	-	X	-	-	4
SB-0159	X	-	X	X	X	-	-	4

SB-0035	X	X	X	-	-	-	-	3
SB-0036	X	-	X	X	-	-	-	3
SB-0037	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0038	X	X	X	X	-	-	-	4
SB-0039	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0040	X	X	X	X	X	-	-	5
SB-0041	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0042	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0043	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0044	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0045	X	-	X	-	X	-	-	3
SB-0046	X	X	X	X	-	-	-	4
SB-0047	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0048	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0049	X	X	X	X	X	-	-	5
SB-0050	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0051	X	X	X	X	X	-	-	5
SB-0052	X	X	X	X	X	-	-	5
SB-0053	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0054	X	-	X	X	-	-	-	3
SB-0055	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0056	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0057	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0058	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0059	X	-	X	X	-	-	-	3
SB-0060	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0061	X	-	X	X	-	-	-	3
SB-0063	X	-	X	X	-	-	-	3
SB-0064	X	X	X	-	X	-	-	4
SB-0065	X	-	X	X	-	-	-	3
SB-0066	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0067	X	-	X	-	X	-	-	3
SB-0068	X	-	X	-	X	-	-	3
SB-0069	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0070	X	X	X	X	-	-	-	4
SB-0071	X	-	X	X	-	-	X	4
SB-0072	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0073	X	-	X	-	X	-	-	3
SB-0074	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0075	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0076	X	X	X	X	X	-	X	6
SB-0077	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0078	X	X	X	X	X	-	-	5
SB-0079	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0080	X	X	X	X	-	-	-	4
SB-0081	X	-	X	X	-	-	-	3
SB-0082	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0083	X	-	X	X	-	-	-	3
SB-0084	X	X	X	X	X	-	X	6
SB-0085	X	-	X	X	X	-	X	5
SB-0086	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0087	X	X	X	X	X	-	-	5
SB-0088	X	X	X	X	X	-	-	5
SB-0089	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0090	X	-	X	X	X	-	X	5
SB-0091	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0092	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0094	X	X	X	X	X	-	-	5
SB-0095	X	X	X	X	X	-	X	6
SB-0096	X	X	X	X	X	-	-	5
SB-0097	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0098	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0099	X	-	X	X	-	-	-	3
SB-0100	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0101	X	-	X	X	-	-	-	3
SB-0102	X	-	X	X	-	-	-	3
SB-0103	X	-	X	X	-	X	X	5

SB-0160	X	X	X	-	-	-	-	3
SB-0161	X	-	X	-	X	-	-	3
SB-0162	X	-	X	-	X	-	-	3
SB-0163	X	X	X	X	-	-	-	4
SB-0164	-	-	X	-	X	-	-	2
SB-0165	-	-	-	-	-	-	-	0
SB-0166	X	X	-	X	-	-	-	3
SB-0167	-	-	X	-	-	-	-	1
SB-0168	-	-	X	-	X	-	X	3
SB-0169	-	-	X	-	-	-	-	1
SB-0170	-	-	X	-	X	-	-	2
SB-0171	-	-	X	-	-	-	-	1
SB-0172	X	X	X	-	-	-	-	3
SB-0173	-	-	-	-	-	-	-	0
SB-0174	-	X	X	-	X	-	-	3
SB-0175	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0176	-	X	X	X	-	-	-	3
SB-0177	X	X	X	-	-	-	-	3
SB-0178	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0179	-	-	X	-	-	-	X	2
SB-0180	-	-	X	-	-	X	-	2
SB-0181	-	-	X	-	-	-	-	1
SB-0182	-	X	X	X	-	-	X	4
SB-0183	-	-	X	-	X	-	-	2
SB-0184	-	-	X	X	X	-	-	3
SB-0185	X	-	X	X	-	-	-	3
SB-0186	-	-	X	X	X	-	-	3
SB-0187	-	-	X	-	-	-	-	1
SB-0188	X	X	X	-	-	-	-	3
SB-0189	X	X	X	-	-	-	-	3
SB-0190	X	X	X	-	-	-	-	3
SB-0191	-	X	X	-	-	-	-	2
SB-0192	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0193	-	-	X	-	-	-	-	1
SB-0194	-	-	X	X	-	-	-	2
SB-0195	-	-	X	X	-	-	-	2
SB-0196	-	-	X	X	-	-	-	2
SB-0197	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0198	-	-	X	-	X	-	-	2
SB-0199	-	-	X	-	X	-	-	2
SB-0200	-	-	X	-	-	-	-	1
SB-0201	X	-	X	-	-	-	X	3
SB-0202	X	X	X	X	-	-	-	4
SB-0203	X	X	X	-	-	-	-	3
SB-0204	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0206	-	X	X	-	-	-	-	2
SB-0207	X	-	X	-	X	-	-	3
SB-0208	-	-	X	-	-	-	-	1
SB-0209	-	-	X	-	-	-	-	1
SB-0210	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0211	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0212	-	-	X	-	-	X	X	3
SB-0213	-	-	X	X	X	-	-	3
SB-0214	-	X	X	-	X	-	-	3
SB-0215	X	-	X	-	X	-	-	3
SB-0216	X	X	X	-	-	-	-	3
SB-0217	-	X	X	-	-	-	-	2
SB-0218	-	X	X	-	-	-	-	2
SB-0219	-	-	X	-	-	-	-	1
SB-0220	-	-	X	X	-	-	-	2
SB-0221	-	-	X	X	-	-	-	2
SB-0222	X	-	X	-	X	-	-	3
SB-0223	-	-	X	-	-	-	-	1
SB-0224	-	X	X	-	-	-	-	2
SB-0225	X	-	X	-	X	X	-	4
SB-0226	-	-	X	-	X	-	-	2
SB-0227	-	-	X	X	-	-	-	2

SB-0104	X	-	X	X	-	-	-	3
SB-0106	X	-	X	X	X	-	-	4
SB-0107	X	-	X	-	X	-	-	3
SB-0110	-	X	X	-	-	-	-	2
SB-0111	-	X	X	X	-	-	-	3
SB-0112	-	-	X	-	X	-	-	2
SB-0244	X	-	X	-	-	-	-	2
SB-0113	-	-	X	-	-	-	-	1
SB-0114	-	-	X	-	X	-	-	2
SB-0115	X	X	X	-	-	-	-	3
SB-0116	X	X	X	X	-	-	-	4
SB-0117	X	X	X	X	X	-	-	5
SB-0118	X	-	X	X	-	-	-	3
SB-0119	-	-	X	-	-	-	-	1
SB-0120	-	-	X	X	X	-	-	3
SB-0122	-	X	X	-	-	-	-	2
SB-0123	X	-	X	-	-	-	-	2

SB-0228	-	-	X	-	X	-	-	2
SB-0229	-	X	X	-	-	-	-	2
SB-0230	X	-	X	-	X	-	-	3
SB-0231	X	-	X	X	-	-	-	3
SB-0232	-	-	X	-	-	-	-	1
SB-0233	-	-	X	-	-	-	-	1
SB-0234	X	X	X	-	-	-	-	3
SB-0235	-	-	X	-	-	-	-	1
SB-0236	-	-	X	-	-	-	-	1
SB-0237	X	-	X	X	-	-	-	3
SB-0238	-	-	X	-	-	-	-	1
SB-0239	X	X	X	X	-	-	-	3
SB-0240	X	X	X	X	-	-	-	4
SB-0241	-	-	X	-	-	-	-	1
SB-0242	-	-	X	-	-	-	-	1
SB-0243	-	-	X	-	-	-	-	1

Os substratos orgânicos mais frequentes, registrados em praticamente todas as cavidades, foram raízes e material vegetal (97% e 73% das cavidades, respectivamente) constituído predominantemente de folhiço, provenientes da vegetação do entorno, que se acumulam na região de entrada próximos à linha d'água (Figura 82). Alguns acúmulos isolados foram detectados em regiões mais profundas de algumas poucas cavidades, como em SB-0041, SB-0049, SB-0070, SB-0071, SB-0114, SB-0165, SB-0168, SB-0169, SB-0178, SB-0199, SB-0214, SB-0217, SB-0229, SB-0236 e SB-0239. Manchas de detrito foram detectadas em 28% das cavidades. Ocasionalmente, foram registrados sementes e frutos deixados por animais troglótenos, como morcegos.

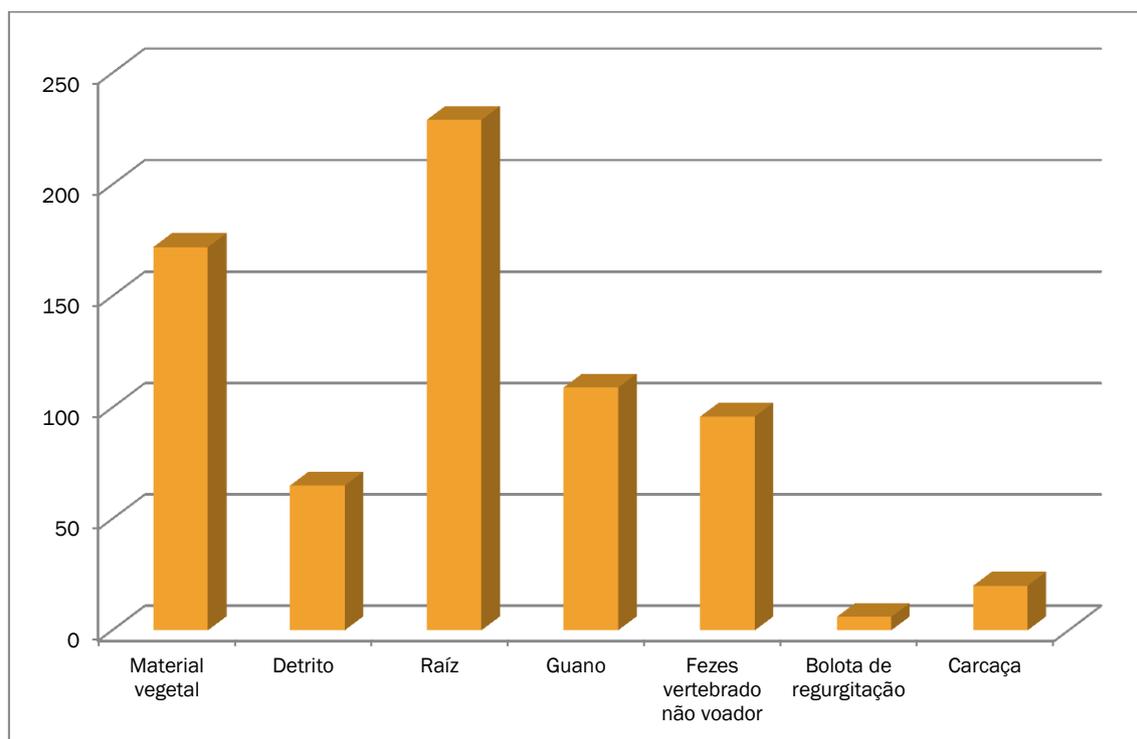


FIGURA 81 - QUANTIDADE DE CAVIDADES AMOSTRADAS POR TIPO DE SUBSTRATO ORGÂNICO.

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. 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. Rizotemas (crescimento de raízes em

locais com gotejamento) foram registrados em 17% das cavidades. Geralmente associados às raízes são encontrados opiliões Escadabiidae, ninfas de homópteros Cixiidae, Symphylla, moluscos *Happia* sp.1, ácaros Astigmata sp.4 e colêmbolos diversos (Figura 82).



FIGURA 82 - A- RAÍZES SUB-SUPERFICIAIS DE CALIBRE FINO NA CAVIDADE SB-0167, NA CAMPANHA SECA. B- RAÍZES VERTICAIS DE CALIBRES FINO E GROSSO NA CAVIDADE SB-0168, NA CAMPANHA SECA. C-RIZOTEMA NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0192, REGISTRADO NA CAMPANHA SECA. D- MOLUSCO DO GÊNERO HAPPIA, OBSERVADO NA CAVIDADE SB-0114, DURANTE A CAMPANHA SECA.

Guano foi observado em 110 cavidades (47% das cavidades estudadas). Foram identificados guanos de morcegos com dieta frugívora, insetívora, hematófaga e, mais raramente, nectarívora e carnívora. No geral, esses depósitos estão representados por pontos esparsos e manchas localizadas. Depósitos maiores, ocupando áreas relativamente grandes, foram observados nas cavidades SB-0004, SB-0007, SB-0009, SB-0012, SB-0016, SB-0025, SB-0026, SB-0030, SB-0046, SB-0061, SB-0071, SB-0072, SB-0076, SB-0084, SB-0085, SB-0088, SB-0092, SB-0094, SB-0095, SB-0103, SB-0114, SB-0129, SB-0134, SB-0137, SB-0140, SB-0147, SB-0149, SB-0152, SB-0168, SB-0199, SB-0212, SB-0215, SB-0219, SB-0229, SB-0239 e SB-0242. Guano de morcegos é um importante recurso trófico disponível para a fauna cavernícola da área. Associados a acúmulos de guano de morcegos, foram encontrados heterópteros Cydnidae, Largidae, Lygaeidae e Velidae, minhocas, homópteros Cixiidae, micro-lepidópteros Tineidae, dípteros Cecidomyiidae, Ceratopogonidae, Dolichopodidae, Drosophilidae, Muscidae, Phoridae, Psychodidae, Sciaridae e Streblidae, Thysanura, baratas, colêmbolos, dipluros, ácaros, aranhas, diplópodos Pyrgodesmidae e larvas em geral (Figura 83), além de outros organismos atraídos pela presença do recurso trófico. Especificamente para a cavidade SB-0058, uma colônia numerosa de morcegos insetívoros do gênero *Pteronotus* associada a outras colônias, também numerosas, de morcegos frugívoros (*Carollia perspicillata*) e nectarívoros (*Anoura geoffroyi* e *Lionycteris spurrelli*), são responsáveis por grande quantidade de guano acumulado no piso. Nesta cavidade foram registradas populações densas de *Phalangopsis* sp., Tineoidea, *Hydrophilidae* sp.1, *Scydmaenidae*

sp.2 e *Heterophrynus longicornis*. Populações elevadas em cavidades com grande quantidade de guano são esperadas (Gnaspini, 2004).



FIGURA 83 - A- GUANO DE MORCEGO COM DIETA FRUGÍVORA REGISTRADO NA CAVIDADE SB-0183, DURANTE A CAMPANHA SECA. B- PONTO ESPARSO DE GUANO DE MORCEGOS COM DIETA INSETÍVORA NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0169, NA CAMPANHA SECA. C- MANCHA DE GUANO DE MORCEGOS HEMATÓFAGOS NA CAVIDADE SB-0164, NA CAMPANHA SECA. D- LARVAS ASSOCIADAS A ACÚMULO DE GUANO FRUGÍVORO, REGISTRADAS NA CAVIDADE SB-0181, DURANTE A CAMPANHA SECA.

Fezes de vertebrados não voadores foram registradas em 96 cavidades (41%), em pontos esparsos, sem ocorrência de acúmulos ou locais com abundância desse recurso. Na maioria das vezes, constituem-se de fezes de vertebrado insetívoro, originadas de anuros que se abrigam na cavidade. Carcaças foram observadas em 20 cavidades (9%), e correspondiam a roedores, morcegos, aves, anuros e animais invertebrados, como grilos, coleópteros, decápodos, aranhas, amblipígijs, entre outros.

Bolotas de regurgitação de coruja foram registradas na região de entrada das cavidades SB-0013, SB-0103, SB-0140 e SB-0225 e na região de penumbra das cavidades SB-0180 e SB-0212. Uma coruja suindara (*Tyto alba*) foi avistada deixando a cavidade SB-0140. Destaca-se a presença de cogumelos (frutificações de determinados fungos), registrados na cavidade SB-0087, como um oitavo tipo de recurso trófico (Figura 84).

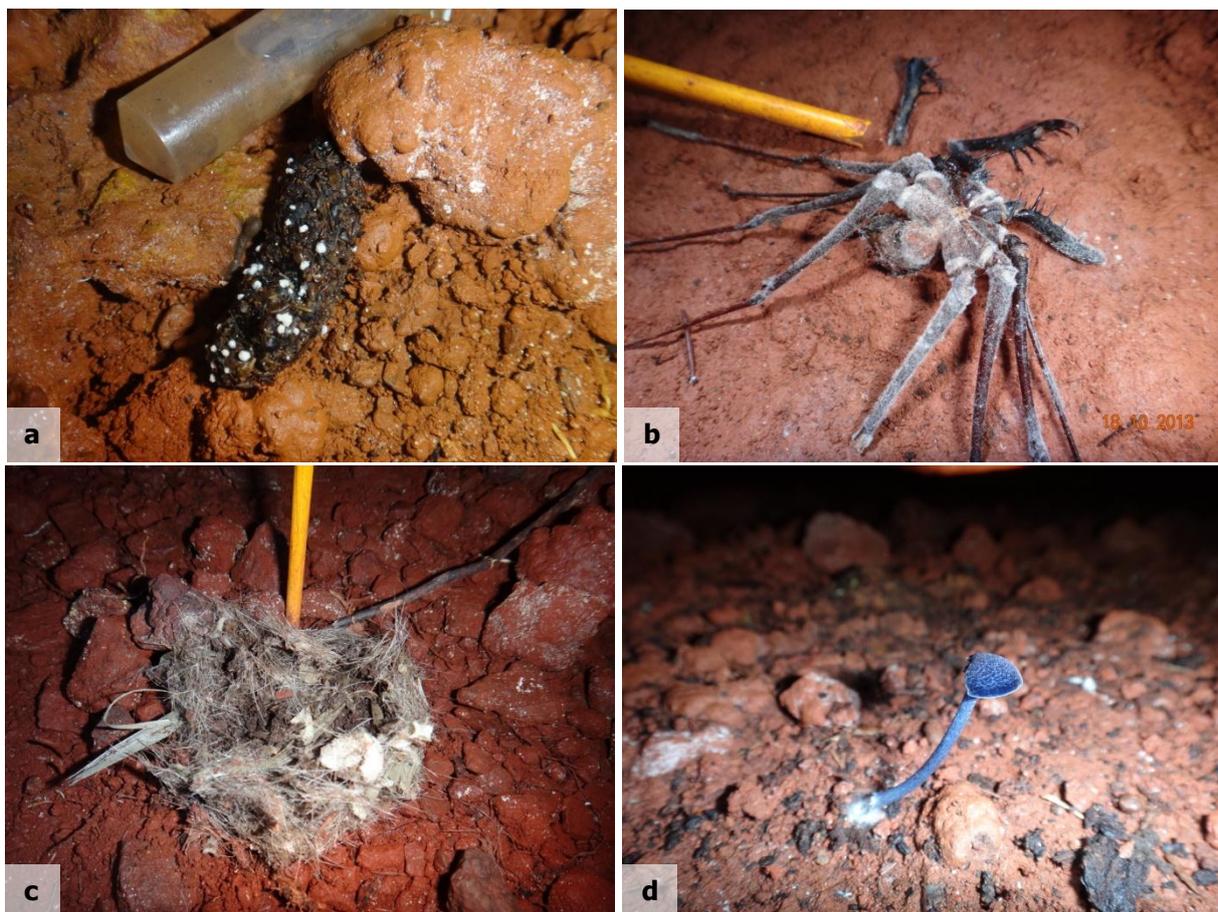


FIGURA 84 - A- FEZES DE VERTEBRADO INSETÍVORO (ANURO) OBSERVADOS NA CAVIDADE SB-0170, DURANTE A CAMPANHA ÚMIDA. B- CARÇA DE AMBLIPÍGIO REGISTRADA NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0229, NA CAMPANHA SECA. C- BOLOTA DE REGURITAÇÃO DE CORUJA ENCONTRADA NA CAVIDADE SB-0212, DURANTE A CAMPANHA SECA. D- MICROORGANISMO NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0119, NA CAMPANHA ÚMIDA.

CONSIDERAÇÕES SOBRE A FAUNA INVENTARIADA

A ocorrência de táxons (considerando tanto os coletados como os observados) para cada cavidade está disposta no Anexo IV. 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 frequentes. Aliado à baixa frequência, 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 troglóxenos, 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.

Considerando os macro-invertebrados predadores, amblipígios *Heterophrynus longicornis* foram registrados com frequência (59 cavidades), ocupando diferentes profundidades. Durante o estudo, foram observadas fêmeas ovadas ou com filhotes de *Heterophrynus longicornis* em ambas as campanhas de campo. Ainda dentro dos amblipígios, foram registrados exemplares de *Charinus* sp.1 em sete cavidades (Figura 85).

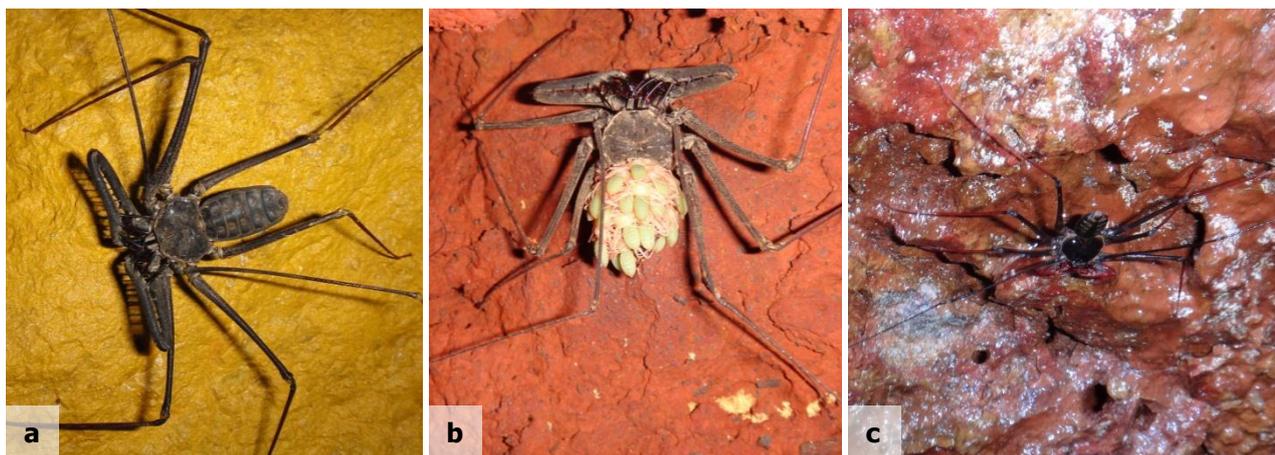


FIGURA 85 - A- AMBLIPÍGIO DA ESPÉCIE *HETEROPHRYNUS LONGICORNIS* REGISTRADO NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0169, DURANTE A CAMPANHA SECA. B- FÊMEA DE AMBLIPÍGIO DA ESPÉCIE *HETEROPHRYNUS LONGICORNIS* COM FILHOTES NO DORSO REGISTRADA NA CAVIDADE SB-0184, DURANTE A CAMPANHA SECA. C- AMBLIPÍGIO DO GÊNERO *CHARINUS* PRESENTE NA CAVIDADE SB-0241, REGISTRADO NA CAMPANHA ÚMIDA.

Considerando Acari, os mais comuns foram Mesostigmata sp.1 e Trombiculidae sp.1 (ambos em 60 cavidades), Oribatida sp.2 (38 cavidades), *Ornithodoros* sp.1 (37 cavidades), Trombiculidae sp.2 (36 cavidades) e Oribatida sp.1 (30 cavidades). De forma geral, os ácaros foram encontrados individualmente, esparsos em vários ambientes, e eventualmente foram observados aglomerados (Figura 86).



FIGURA 86 - ÁCARO DA FAMÍLIA IXODIDAE PRESENTE NA CAVIDADE SB-0235, REGISTRADO DURANTE A CAMPANHA SECA.

Dentre as aranhas, pode-se citar a ocorrência das famílias Theridiosomatidae em 161 cavidades (69% do valor total), representada predominantemente pela morfoespécie *Plato* sp.1; Salticidae em 140 cavidades (60% do valor total), com 18 morfoespécies, sendo Salticidae sp.3 a mais frequente; Ochyroceratidae em 133 cavidades (57% do valor total), com sete morfoespécies,

sendo *Speocera* sp.1 a mais frequente; Corinnidae em 125 cavidades (53% do valor total), com seis morfoespécies, sendo *Abapeba hoeferi* a principal; Ctenidae em 119 cavidades (51% do valor total), representada principalmente por exemplares jovens; Theridiidae registrada em 116 cavidades (49% do valor total), com 16 morfoespécies, sendo *Achaearanea* sp.1 a mais comum; Oonopidae registrada em 115 cavidades (49% do valor total), com 16 morfoespécies e *Oonopidae* sp.2 e *Oonopidae* sp.3 como principais representantes; Scytodidae registrada em 111 cavidades (47% do valor total), com três morfoespécies, sendo *Scytodes eleonora* a mais frequente; Araneidae em 109 cavidades (46% do valor total), com sete morfoespécies, sendo *Alpaida antonio* a mais comum; Pholcidae, com 14 morfoespécies, representada principalmente por *Mesabolivar aurantiacus* e *M. eberhardi*, ambas em 80 e 79 cavidades respectivamente (34% do valor total). Também foi frequente a ocorrência de aranhas da família Theraphosidae (amostrada em 88 cavidades - 37% do valor total), com registro de quatro morfoespécies, sendo a mais comum *Gyruita cerrado* (Figura 87).



FIGURA 87 - A- ARANHA COM OOTECA DA FAMÍLIA PHOLCIDAE, GÊNERO *MESABOLIVAR*, PRESENTE NA CAVIDADE SB-0170, REGISTRADA NA CAMPANHA ÚMIDA. B- ARANHA DA FAMÍLIA CTENIDAE, ESPÉCIE *ANCYLOMETES RUFUS*, REGISTRADA NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0173, NA CAMPANHA ÚMIDA. C- ARANHA DA FAMÍLIA CTENIDAE, REGISTRADA NA CAVIDADE SB-0123, DURANTE A CAMPANHA SECA. D-ARANHA MYGALOMORPHA, DA FAMÍLIA THERAPHOSIDAE (*GYRUITA CERRADO*) PRESENTE NA CAVIDADE SB-0213, DURANTE A CAMPANHA SECA.

Outras famílias de aranhas foram registradas com menor frequência, como Drymusidae e Trechaleidae (35 cavidades cada), Pisauridae (21 cavidades), Filistatidae (17 cavidades), Linyphiidae (12 cavidades), Segestriidae e Symphytognathiade (11 cavidades cada), Dipluridae, Nemesiidae, Paratropididae, Tetrablemmidae e Tetragnathidae (nove cavidades cada), Mysmenidae e Palpimanidae (oito cavidades cada), Barychaelidae (seis cavidades), Anapidae e Nesticidae (cinco cavidades cada), Mimetidae e Uloboridae (três cavidades cada), Amaurobiidae, Anyphaenidae, Oxyopidae e Philodromidae (duas cavidades cada) e Thomisidae e Zodariidae representados em apenas uma cavidade cada.

Foram observadas 22 morfoespécies de opiliões, pertencentes a sete famílias. A mais comum, encontrada em 88 cavidades (37% das cavidades estudadas), foi *Prionostema* sp.1 (Sclerosomatidae). Também foram frequentes *Roquettea carajas* (Cosmetidae) e Escadabiidae sp.1, com distribuição em 68 e 39 cavidades, respectivamente (29 e 17% das cavidades estudadas). Foram registradas outras seis morfoespécies de Cosmetidae, distribuídas em menos de 20% das cavidades; seis outras espécies de Escadabiidae, com distribuição máxima de 14% das cavidades; uma espécie de Neogoveidae (*Canga renatae*) com registro em 8% das cavidades amostradas; três morfoespécies de Stygnidae distribuídas entre 6 e 9% das cavidades; e uma morfoespécie de Manaosbiidae e outra de Zalmoxidae, registrada em 5% e 2% das cavidades estudadas. Ocasionalmente esta última família era encontrada em aglomerados em reentrâncias no teto ou parede das cavidades (Figura 88).

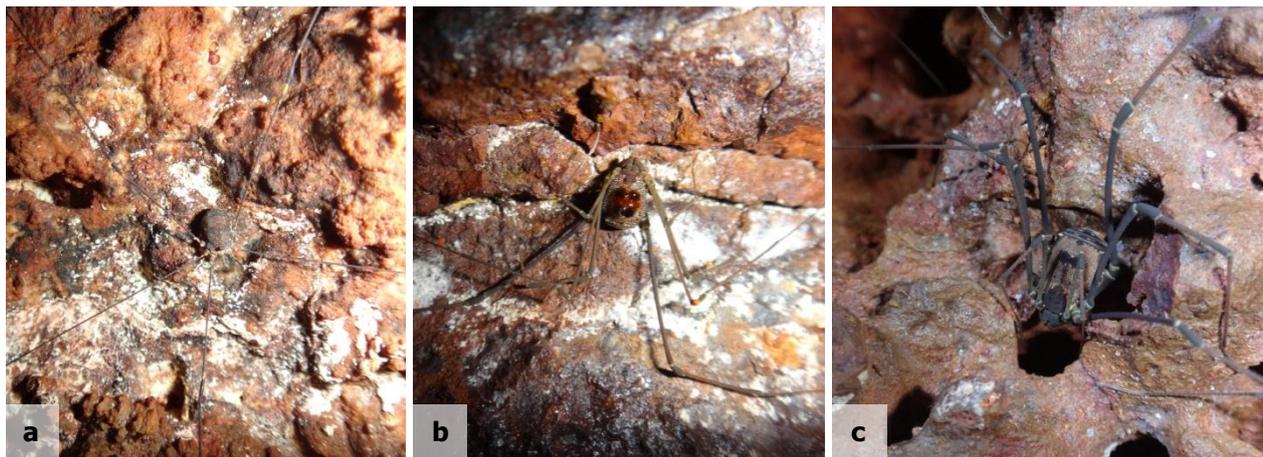


FIGURA 88 - EXEMPLARES DA ORDEM OPILIONES. A- OPILIÃO DA FAMÍLIA SCLEROSOMATIDAE REGISTRADO NA CAVIDADE SB-0185, NA CAMPANHA SECA. B- OPILIÃO DA ESPÉCIE *ROQUETTEA CARAJAS* (COSMETIDAE) ENCONTRADO NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0186, DURANTE A CAMPANHA ÚMIDA. C- OPILIÃO DO GÊNERO *PRIONOSTEMMA* OBSERVADO NA CAVIDADE SB-0170, DURANTE A CAMPANHA ÚMIDA.

Considerando pseudo-escorpiões, pode-se destacar os táxons *Spelaeochernes* sp.1 (Chernetidae), registrado em 179 cavidades (76% das cavidades), e *Pseudochthonius* sp.2 (Chthonidae), com registro em 95 cavidades (40% das cavidades estudadas) (Figura 89). Foram observados vários exemplares da primeira espécie com ovos durante estudos ocorridos em setembro de 2012 (estação seca), sugerindo período reprodutivo da espécie. Foram registradas mais duas morfoespécies da família Chernetidae, com ocorrência em apenas uma cavidade cada, e quatro morfoespécies de Chthonidae, duas com registro em três cavidades, uma com registro em quatro e outra com registro em 15. Também foram inventariados exemplares de *Nannobisium* sp.1, em 15 cavidades, *Pachyolpium* sp.1, em seis cavidades, Olpiidae sp.1, *Neocheiridium* sp.1 e *Tyrannochthonius* sp.1, em três cavidades cada, Cheliferoidea sp.1, em duas cavidades, e Cheliferoidea sp.2, com ocorrência em apenas uma cavidade. As famílias Chernetidae e Chthoniidae possuem representantes cavernícolas comuns em diferentes regiões do país (Mahnert, 2001).

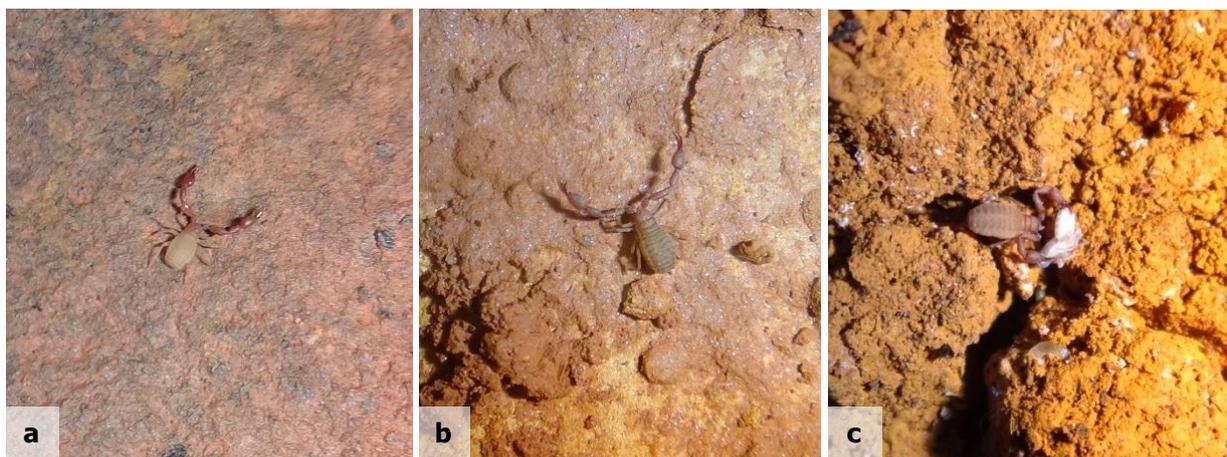


FIGURA 89 - PSEUDOESCORPIÕES DA CHERNETIDAE REGISTRADOS NA CAMPANHA SECA. A- INDIVÍDUO PRESENTE NA CAVIDADE SB-0219. B- EXEMPLAR REGISTRADO NA CAVIDADE SB-0176. C- PSEUDOESCORPIÃO PREDANDO HOMOPTERA NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0172.

Ainda considerando os aracnídeos, Scorpiones adultos e jovens da família Buthidae (*Ananteris luciae*, *Ananteris* sp.2, *Ananteris* sp.3 e *Tityus tucurui*) e jovens das famílias Chactidae e Liochelidae (gênero *Opisthacanthus*) foram observados, respectivamente, em 37, e uma cavidade. Ricinulei pertencente à espécie *Cryptocellus tarsilae* foi observado em oito cavidades; os pertencentes à espécie *Cryptocellus canga* em uma cavidade e indivíduos jovens em quatro cavidades. Schizomida (*Rowlandius* sp.1 e jovens) foi registrado em 23 cavidades e Palpigradi (*Eukoenenia* sp.1 e jovens) em 13. Solífuga (*Mummucia* sp.1) foi encontrado em apenas uma cavidade (Figura 90).



FIGURA 90 - OUTROS ARACNÍDEOS. A- ESCORPIÃO DA FAMÍLIA BUTHIDAE (GÊNERO ANANTERIS) OBSERVADO NA CAVIDADE SB-0225, NA CAMPANHA SECA B- EXEMPLAR DE RICINULEI DA ESPÉCIE *CRIPTOCELLUS TARSILAE* OBSERVADO NA CAVIDADE SB-0231, DURANTE A CAMPANHA SECA. C- SCHIZOMIDA DA FAMÍLIA HURBADIIDAE (GÊNERO *ROWLANDIUS*) REGISTRADI NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0229, NA CAMPANHA SECA.

Quilópodos Psellioididae foram inventariados, na sua maioria, a partir de jovens, em 34 cavidades (14% das cavidades estudadas). Os adultos correspondentes (*Sphendononema guildingii*), frequentes em cavidades da Serra dos Carajás, foram amostrados em 23 cavidades. O segundo quilópodo inventariado com maior frequência foi *Newportia* sp.2 (Scolopocryptopidae), registrado em 18 cavidades (8%), seguido de *Cryptops* sp.1, registrado em 14 cavidades, e *Dinocryptops miersii*, em 12 cavidades. Além destas, outras 34 morfoespécies de quilópodos foram registradas, com ocorrências entre uma e 12 cavidades. Dentre os diplópodos, foram frequentes Pyrgodesmidae sp.1 e Fuhrmanodesmidae sp.1, com ocorrências em 54 e 39 cavidades, respectivamente (23 e 17% das cavidades), seguidos de Chelodesmidae sp.1 (29 cavidades), Pseudonannolenidae sp.1 (28 cavidades) e Glomeridesmidae sp.1 (20 cavidades). Ainda

considerando os miriápodos, Symphyla foi um grupo pouco frequente, com principal representante (*Hanseniella* sp.1) observado em 56 cavidades (24%) (Figura 91).



FIGURA 91 - MIRIÁPODOS. A- CHILOPODA DA FAMÍLIA PSELLIODIDAE (*SPHENDONONEMA GUILDINGII*) OBSERVADO NA CAVIDADE SB-0188, DURANTE A CAMPANHA SECA.. B- CHILOPODA DA FAMÍLIA SCOLOPOCRYPTOPIIDAE REGISTRADO NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0212, NA CAMPANHA SECA. C- DIPLOPODA PERTENCENTE À FAMÍLIA PYRGODESMIDAE OBSERVADO NA CAVIDADE SB-0218, NA CAMPANHA SECA. D- DIPLOPODA DA FAMÍLIA PSEUDONANNOLENIDAE PRESENTE NA CAVIDADE SB-0236, DURANTE A CAMPANHA ÚMIDA.

Considerando colêmbolos, foram mais frequentes *Paronellidae* sp.1, observado em 183 cavidades (78%), *Symphyleona* sp.2, encontrados em 69 cavidades (29% das cavidades estudadas), *Isotomidae* sp.1, em 42 cavidades (18%), e *Cyphoderus javanus* e *C. agnotus*, em 35 e 32 cavidades cada (15% e 14%). As demais morfoespécies (13 pertencentes à família *Paronellidae*, sete à família *Entomobryidae*, duas às famílias *Onychiuridae* e *Sminthuridae* cada, uma às famílias *Pachytullbergiidae* e *Tomoceridae* cada, duas à superfamília *Poduromorpha* e uma à superfamília *Symphyleona*) foram registradas em, no máximo, 9% das cavidades estudadas. *Dipluros* *Campodeidae* sp.1 e *Zygentoma Nicoletiinae* sp.1 (jovens e adultos) foram comuns, observados em 127 e 77 cavidades, respectivamente (54% e 33% das cavidades). Também ocorreram registros, com menor frequência, de dipluros *Japygidae* sp.1 (18 cavidades), *Projapygidae* sp.1 (16 cavidades) e jovens e adultos de *zygentomas Atelurinae* sp.1 (24 cavidades).

Baratas foram registradas principalmente a partir de jovens. A mais comum foi a família *Blaberidae*, observada em 76 cavidades (32% das cavidades estudadas). Adultos de *Blaberus* sp.1 foram registrados em 14 cavidades. Também foram observadas três outras morfoespécies de *Blaberus*, além de duas morfoespécies de *Blattellidae*, quatro de *Blattidae*, duas de *Polyphagidae* e um jovem de *Pseudophyllodromiidae*, todas registradas em menos que 15% das cavidades estudadas (Figura 92).

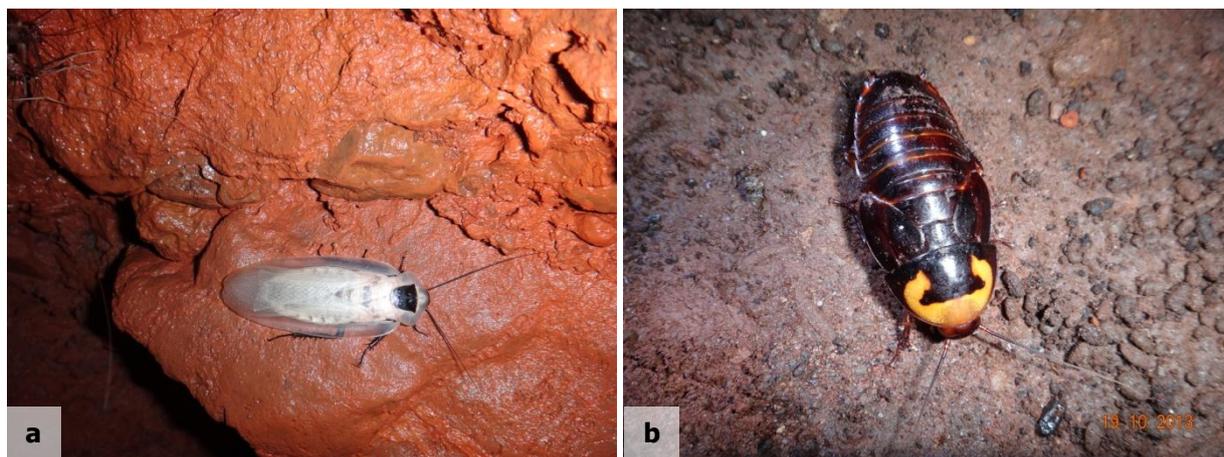


FIGURA 92 - A- BARATA DA FAMÍLIA BLABERIDAE (GÊNERO *BLABERUS*) PRESENTE NA CAVIDADE SB-0229, DURANTE A CAMPANHA ÚMIDA. B- EXEMPLAR DA FAMÍLIA BLATTELIDAE REGISTRADO NA CAVIDADE SB-0199, NA CAMPANHA SECA.

Coleoptera foi um grupo diversificado no inventário, com 176 morfoespécies distribuídas em 32 famílias, podendo-se destacar a família Staphylinidae, com 58 morfoespécies identificadas, 14 delas na subfamília Pselaphinae. Ressalta-se que os besouros correspondem, em sua maioria, a organismos epígeos encontrados ocasionalmente nas cavidades.

Comuns em cavidades da área e presentes também em zonas afóticas estão os dípteros pertencentes à subfamília Phlebotominae (mosquitos-palha), observados em 138 cavidades (59%).

Adultos de cinco morfoespécies de Drosophilidae e de cinco morfoespécies de Tipulidae foram frequentes e registrados, ambos, em 117 cavidades (50%), especialmente em grutas com guano recente de morcego ou em regiões de entrada das cavidades. Sciaridae e Cecidomyiidae foram outras duas famílias bem representadas no levantamento faunístico, possuindo morfoespécies presentes em 53 e 48 cavidades respectivamente (26 e 20%). Outras 50 morfoespécies de dípteros foram registradas, com baixas frequências de ocorrências.

Dentre os hemípteros destaca-se a família Cydnidae, com registro em 131 cavidades (56%), apresentando maior frequência de ocorrência a morfoespécie *Cydnidae* sp.1, observada em 72 cavidades (31%). Outra família frequente corresponde à Reduviidae, com registro em 128 cavidades (54%); sendo o gênero *Zelurus* registrado em 100 cavidades (43%) (Figura 93).



FIGURA 93 - NINFA DE REDUVIIDAE (GÊNERO: *ZELURUS*) PRESENTE NA CAVIDADE SB-0225, REGISTRADA NA CAMPANHA ÚMIDA.

Formicidae foi um grupo diversificado, com 111 espécies registradas, sendo comuns as espécies *Pachycondyla constricta*, em 117 cavidades (50%), *Paratrechina* sp.1, com ocorrência em 44

cavidades (19%), *Solenopsis invicta*, registrada em 65 cavidades (28%), *Dolichoderus bispinosus* (39 cavidades - 17%), *Camponotus* sp.2 (81 cavidades - 34%), entre outras com menor frequência. A superficialidade apresentada pelas cavidades, bem como sua pequena extensão favorecem a ocupação por formigas, que a utilizam para forrageio ou mesmo nidificação; Gnaschini & Trajano (1994) citam que formigas podem apresentar diversidade alta em cavidades superficiais, dentre elas formigas dos gêneros *Solenopsis*, *Paratrechina*, *Labidus*, *Pachycondyla* e *Hypopponera*, todos registrados neste estudo. Inclusive uma população elevada de formigas *Labidus* sp.1 foi observada durante estudo na cavidade SB-0140 no período seco, quando a coleta teve que ser interrompida devido ao ataque desses animais, os quais foram observados capturando grilos e mariposas no interior da cavidade. Foi observada uma fileira desses exemplares entrando na cavidade, sugerindo uma correição.

Além de formigas, outros himenópteros foram registrados, porém com baixas frequências. Pode-se citar, como mais frequentes, *Vespidae* sp.1, registrada em 11 cavidades (5% das cavidades estudadas). Cupins do gênero *Nasutitermes*, comuns em cavidades de regiões tropicais, foram frequentes e inventariados em 140 cavidades, com principal representante a espécie *Nasutitermes* sp.1, com ocorrência em 91 cavidades (39% das cavidades estudadas). Além de sete morfoespécies do gênero citado de cupins, foram inventariados exemplares de uma morfoespécie de *Heterotermes*, *Crepititermes*, *Coptotermes*, *Cornitermes*, *Embriatermes*, *Neocapritermes* e *Termes* e duas de *Coatitermes*, todos com frequência baixa.

Mariposas não foram muito frequentes no presente estudo e os principais representantes foram Noctuoidea e micro-lepidópteros Tineoidea. Pode-se destacar as mariposas Noctuoidea sp.1, com ocorrência em 25 cavidades (11%) e Tineoidea sp.3 em 20 cavidades (9%). Psocópteros, registrados na sua maioria em regiões iluminadas, foram diversificados, mas pouco comuns. A morfoespécie mais frequente (*Troctopsocidae* sp.1) ocorreu em 18 cavidades (8% das cavidades). As demais 29 morfoespécies foram representadas em menos que 30% das cavidades estudadas.

Os ortópteros foram representados por cinco famílias: *Gryllotalpidae*, *Myrmecophilidae*, *Phalangopsidae*, *Phalangopsidae* e *Tettigoniidae*. *Paraclodes* sp.1 foi o morfótipo mais frequente, sendo amostrado em 131 cavidades (56% do total). *Phalangopsidae* sp.1, segundo morfótipo mais amostrado, esteve presente em 123 cavidades (52% do total). *Phalangopsis* sp.1 e *Eidimanacris* sp.1, foram, respectivamente, o terceiro e o quarto morfótipos mais amostrados. *Phalangopsis* sp.1 esteve presente em 47 cavidades (20%) e o *Eidimanacris* sp.1 em 31 (13%). Os demais morfótipos estiveram presentes em menos de 5% das cavidades.

Entre os crustáceos, foram frequentes isópodos *Philosciidae* sp.1 e sp.2, e *Armadillidae* sp.1 (94, 108 e 95 cavidades, respectivamente - 40, 46 e 40% das cavidades estudadas). Também foram observados, com relativa frequência, Decapoda *Macrobrachium* sp.1 e *Pseudothelphusidae* sp.1, registrados em 16 e 21 cavidades, respectivamente (7 e 9%). Moluscos *Gastropoda* *Systrophiidae* (*Happia* sp.1) foram registrados em 52 cavidades (22%) e *Subulinidae* (*Lamelaxis* sp.1) em 42 cavidades (18% das cavidades), sendo estes os mais frequentes e encontrados em locais de maior umidade.

Outros invertebrados registrados no presente estudo correspondem a minhocas, com 21 morfoespécies pouco frequentes, incluindo espécies terrestres e aquáticas. *Archaeognata*, representado por *Meinertellidae* sp.1 em 13 cavidades. *Dermaptera*, representado por quatro morfoespécies com apenas um ou dois registros cada. *Embioptera*, *Plecoptera* e *Odonata*, representados apenas por exemplares jovens e baixa frequência. *Neuroptera* com quatro morfoespécies, sendo a mais representativa *Myrmeleontidae* sp.1 com jovens observados em 22 cavidades. *Trichoptera*, representado principalmente por *Philopotamidae* sp.1 em 12 cavidades. *Paupoda* adultos pertencentes a duas morfoespécies foram encontradas em uma cavidade cada

e indivíduos jovens em outras duas cavidades. Ephemeroptera, representado por apenas um indivíduo da morfoespécie *Leptophlebiidae* sp.1, amostrado em uma cavidade. Siphonaptera, também representado por apenas um indivíduo da morfoespécie *Pulicidae* sp.1, amostrado em uma cavidade.

Onychophora, com um único representante adulto (*Peripatidae* sp.1), foi observado em região de entrada e de penumbra clara de três cavidades. Nematoda e Platyhelminthes, com seis e sete morfoespécies, respectivamente, todos com baixa frequência de ocorrência.

Considerando os vertebrados, foram comuns anuros *Pristimantis* cf. *fenestratus*, registrados no interior de 120 cavidades (51% das cavidades estudadas), com maior frequência e abundância no período seco. Embora em menor frequência, pode-se citar ainda anfíbios *Leptodactylus* cf. *vastus*, geralmente encontrados em cavidades úmidas e com guano, e *Rhinella* sp., registrados em 22 e 19 cavidades (9 e 8% das cavidades estudadas), respectivamente (Figura 94).



FIGURA 94 - EXEMPLARES DE ANUROS. A- *PRISTIMANTIS* CF. *FENESTRATUS* PRESENTE NA CAVIDADE SB-0169, DURANTE A CAMPANHA SECA. B- *PRISTIMANTIS* CF. *FENESTRATUS* NA CAVIDADE SB-0169, NA CAMPANHA ÚMIDA. C- *PRISTIMANTIS* CF. *FENESTRATUS* NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0190, NA CAMPANHA SECA. D- ANURO DA FAMÍLIA BUFONIDAE (ESPÉCIE: *RHAEO GUTTATUS*) REGISTRADO NA CAVIDADE SB-0221, DURANTE A CAMPANHA ÚMIDA.

Lagartos *Thecadactylus rapicauda* e *Neusticurus* sp. foram registrados em 12 e oito cavidades respectivamente (5 e 3%), além da ocorrência de outras cinco morfoespécies de lagartos pouco comuns. Cobras foram ocasionais e registradas em quatro cavidades (Figura 95). Ossada de cobra foi observada na cavidade SB-0156. Ainda considerando os répteis, um quelônio foi observado no interior da cavidade SB-0100. Aves foram pouco frequentes e avistadas em quatro ocasiões: uma coruja *Tyto alba* na cavidade SB-0140, campanha seca; filhotes de urubu (*Coragyps* sp.) na cavidade SB-0010, campanha seca; e duas sabiás (*Turdus* sp.), uma na entrada da cavidade SB-0116 na campanha seca, e outra na entrada da cavidade SB-0032, na campanha úmida.

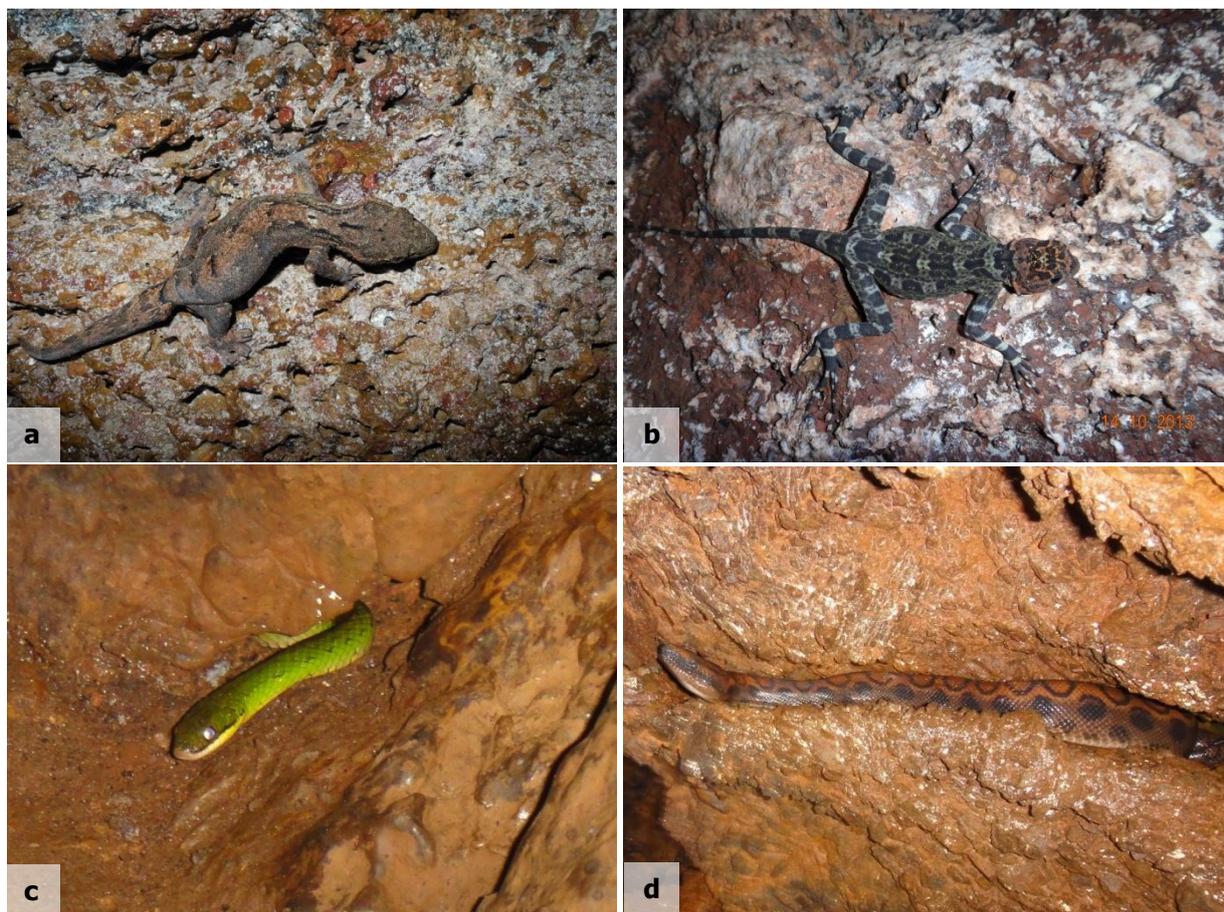


FIGURA 95 - A- LAGARTO DA ESPÉCIE *THECADACTYLUS RAPICAUDA* (GEKKONIDAE) REGISTRADO NO INTERIOR DA CAVIDADE SB-0288, DURANTE A CAMPANHA ÚMIDA. B- LAGARTO DO GÊNERO *NEUSTICURUS* PRESENTE NA CAVIDADE SB-0186, NA CAMPANHA SECA. C- SERPENTE REGISTRADA NA CAVIDADE SB-0177, NA CAMPANHA SECA. D- COBRA DA ESPÉCIE *EPICRATES* SP. (BOIDAE) NA CAVIDADE SB-0025.

Roedores *Rhipidomys* sp. (Figura 96) foram registrados em 23 cavidades (10% das cavidades estudadas), embora vestígios de ninhos apareceram em maior frequência. Tal roedor usa a cavidade para abrigo e reprodução. Ainda considerando mamíferos não-voadores, isoladamente foi encontrada uma paca em região afótica (campanha úmida) na cavidade SB-0085.



FIGURA 96 - ROEDOR DO GÊNERO *RHIPIDOMYS* PRESENTE NA CAVIDADE SB-0114, REGISTRADO NA CAMPANHA ÚMIDA.

Morcegos, que utilizam as cavidades como abrigo, foram observados na maioria das cavidades estudadas. Foram identificadas ao menos 15 espécies. A espécie predominante foi *Carollia perspicillata* (Phyllostomidae), de dieta frugívora, observada em 85 cavidades (36% das cavidades estudadas). Foram observados grupos de diferentes tamanhos, variando de um até

aproximadamente 700 indivíduos. Foram avistadas fêmeas grávidas e recém-nascidos agarrados ao corpo da mãe. A espécie insetívora da família Emballonuridae, *Peropteryx kappleri*, foi a segunda espécie mais frequente, com ocorrência em 58 cavidades (25%), geralmente em pequenos grupos. Interessante notar, entretanto, que a cavidade SB-0042 apresentou a população mais elevada da espécie na campanha seca (44 exemplares), em oposição à campanha úmida, quando nenhum exemplar de *Peropteryx kappleri* foi encontrado. A terceira espécie com maior frequência de captura foi *Glossophaga soricina* (Phyllostomidae), observada em 42 cavidades (18%), variando de um até 250 indivíduos aproximadamente (Figura 97). Foram observadas muitas fêmeas com filhotes recém-nascidos e algumas grávidas. Trata-se de um dos nectarívoros mais frequentes em inventários, ocorrendo em todos os biomas brasileiros (Peracchi et al. 2006).



FIGURA 97 - CHIROPTERA. A- *CAROLLIA PERSPICILLATA* (PHYLLOSTOMIDAE) NA CAVIDADE SB-0049. B- *PEROPTERYX KAPPLERI* (EMBALLONURIDAE) NA CAVIDADE SB-0077. C- *GLOSSOPHAGA SORICINA* (PHYLLOSTOMIDAE) NA CAVIDADE SB-0011.

Colônias numerosas, com centenas de indivíduos, foram detectadas nas cavidades SB-0085, SB-0137, SB-0168, SB-0071, SB-0095, SB-0229, SB-0152, SB-0012, SB-0076 (Figura 98), SB-0026, SB-0049, SB-0147, SB-0072, SB-0194, SB-0092, SB-0212, SB-0199, SB-0025, SB-0069, SB-0140, SB-0004, SB-0077, SB-0207, SB-0051, SB-0007, SB-0010, SB-0088 e SB-0185. Merece destaque a cavidade SB-0085, onde foram detectadas colônias numerosas de quatro espécies: já citado frugívoro *Carollia perspicillata*, os nectarívoros *Anoura geoffroyi* e *Lionycteris spurrelli* e morcegos insetívoros do gênero *Pteronotus*, com predominância de *P. parnellii*. 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 98 - COLÔNIA DE *CAROLLIA PERSPICILLATA* ENCONTRADA NA CAVIDADE SB-0076.

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, Carste Consultores Associados, 2010). 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 amblipídeos), 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 guano de morcegos e fezes de 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 endógeno (como alongamento relativo de apêndices ou estruturas sensoriais). Dentre esses, podem ser mencionados: Palpigradi e Symphyla. Ressalta-se que 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 Quadro 7.

QUADRO 7 - TÁXONS TROGLOMÓRFICOS NA SERRA DA BOCAINA E RESPECTIVAS CAVIDADES DE REGISTRO. PARA ALGUNS MORFÓTIPOS, ESTÃO INDICADOS AO LADO DOS TÁXONS OS TROGLOMORFISMOS DETECTADOS (1) REDUÇÃO/AUSÊNCIA OCULAR; (2) REDUÇÃO DE PIGMENTAÇÃO; (3) ALCONGAMENTO DE APÊNDICES; (4) ALCONGAMENTO DE CERDAS SENSORIAIS

Táxon	Cavidades	Ocorrência
Araneae		
Amaurobiidae ^{1,2}	SB-0019, SB-0152	-
Speocera sp. ^{2,1,2}	SB-0139	-
Oonopidae ^{1,2}	SB-0028, SB-0049, SB-0063, SB-0073, SB-0096, SB-0137, SB-0119, SB-0114, SB-0168, SB-0175, SB-0223	Serra Norte
Oonopidae sp. ^{1,1,2}	SB-0012, SB-0026, SB-0042, SB-0071, SB-0099	-
Oonopidae sp. ^{2,1,2}	SB-0012, SB-0090, SB-0219, SB-0198	-
Tetrablemmidae sp. ^{1,1,2}	SB-0085, SB-0090, SB-0212, SB-0112, SB-0174, SB-0176, SB-0178, SB-0202, SB-0222	Serra Norte Serra Sul
Creugas sp. ²	SB-0169	-
Corinnidae	SB-0129, SB-0207	-
Anapistula sp. ²	SB-0213	-
Opiliones		
Escadabiidae sp.nov. ⁷	SB-0169	-
Pseudoscorpiones		
Cheliferoidea sp. ^{2,1,2,3}	SB-0077	-
Pseudochthonius sp. ^{3,1,2}	SB-0123, SB-0131, SB-0177, SB-0219	
Pseudochthonius sp. ^{4,1,2,3}	SB-0046, SB-0047, SB-0076, SB-0114, SB-0124, SB-0164, SB-0168, SB-0169, SB-0171, SB-0177, SB-0179, SB-0197, SB-0199, SB-0210, SB-0214, SB-0231, SB-0236, SB-0244	Serra Sul
Chilopoda		
Lamyctes sp. ^{2,1,2}	SB-0090, SB-0102, SB-0142	-
Newportia sp. ^{5,3}	SB-0016, SB-0150	-
Collembola		
Pseudosinella sp. ¹	SB-0050, SB-0067, SB-0120, SB-0122, SB-0152, SB-0168	Serra Norte
Cyphoderus sp.nov. ²	SB-0202	-
Cyphoderus sp.nov. ⁵	SB-0169	-

	<i>Trogolaphysa sp.2</i>	SB-0007, SB-0016, SB-0052, SB-0070, SB-0077, SB-0090, SB-0099, SB-0163, SB-0214, SB-0216, SB-0219, SB-0229	Serra Norte Serra Sul
	<i>Pararrhopalites sp.c</i>	SB-0007	-
	<i>Lepidonella sp.1</i>	SB-0076	Serra Norte Serra Sul
	<i>Lepidonella sp.2</i>	SB-0040, SB-0090	-
Coleoptera			
	Carabidae sp.7	SB-0152, SB-0229	-
	Carabidae sp.8	SB-0155	-
	Dytiscidae sp.1 ^{1, 2}	SB-0161	Serra Norte
	Dytiscidae sp.2 ^{1, 2}	SB-0147, SB-0212	-
	Pselaphinae sp.1 ^{1, 2}	SB-0046, SB-0050, SB-0068, SB-0070, SB-0071	-
	Pselaphinae sp.8	SB-0164, SB-0172	-
Isopoda	Dubioniscidae sp.3 ^{1, 2, 3}	SB-0069	-
	Scleropactidae sp.2 ^{1, 2, 3}	SB-0007, SB-0012, SB-0041, SB-0049, SB-0061, SB-0070, SB-0076, SB-0164, SB-0169, SB-0207, SB-0212, SB-0218, SB-0229	Serra Norte

Considerando os aracnídeos, foram amostrados nove morfótipos de aranhas troglomórficas (Figura 99, Figura 100, Figura 101, Figura 102 e Figura 103). *Speocera sp.2* foi registrada apenas a partir de exemplar fêmea na cavidade SB-0139. Possivelmente, trata-se da mesma espécie encontrada em Serra Sul e Serra Norte, entretanto ainda é necessário o pareamento por parte do especialista. Oonopidae sp.1 e Oonopidae sp.2 foram amostrados por indivíduos adultos registrados em cinco e quatro cavidades, respectivamente (exemplares jovens foram observados em outras onze cavidades, entretanto não é possível saber a qual espécie pertencem). Ambos morfótipos não possuem registros em outras áreas da Serra dos Carajás. Tetrablemmidae sp.1 (anteriormente identificada como *Matta sp.1*) é um morfótipo com registro em nove cavidades. Destaca-se que essa espécie tem sido frequentemente observada em outras localidades. Amaurobiidae foi registrada apenas a partir de exemplares jovens em duas cavidades, não tendo sido registradas espécies troglomórficas desta família anteriormente na Serra dos Carajás. *Anapistula sp.2* foi um morfótipo presente em apenas uma cavidade do projeto Bocaina. Apesar do nome do morfótipo ser semelhante ao de outros projetos de Carajás, não se trata da mesma morfoespécie. *Creugas sp.2*, após análise do especialista, foi considerado o primeiro registro de um organismos troglomórfico na família Corinnidae. Vale destacar que, na cavidade onde foi amostrado (SB-0169), houve o registro de um indivíduo adulto e um jovem. No entanto, em outras duas cavidades da região (SB-0129 e SB-207), foram coletados outros dois jovens indivíduos dessa mesma família.

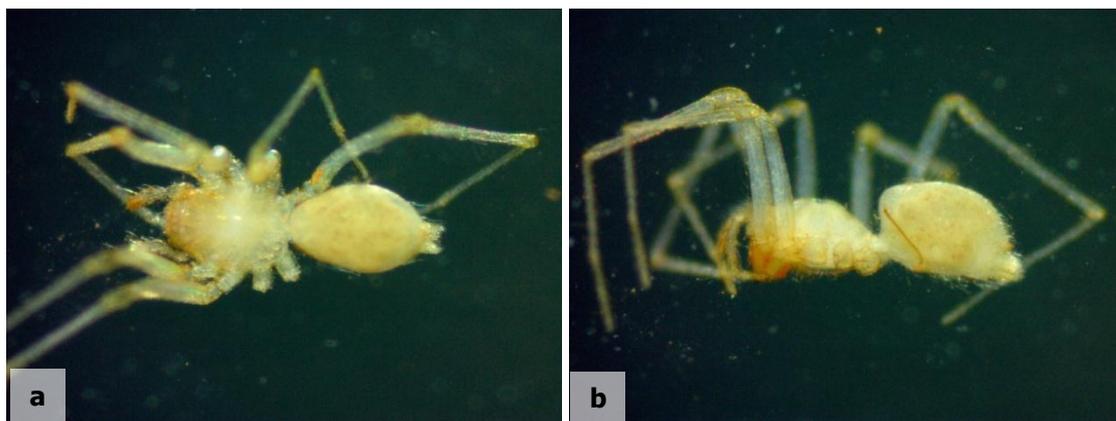


FIGURA 99 - ARANHA SPEOCERA SP.2 EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) VISTA DORSAL; B) VISTA LATERAL.

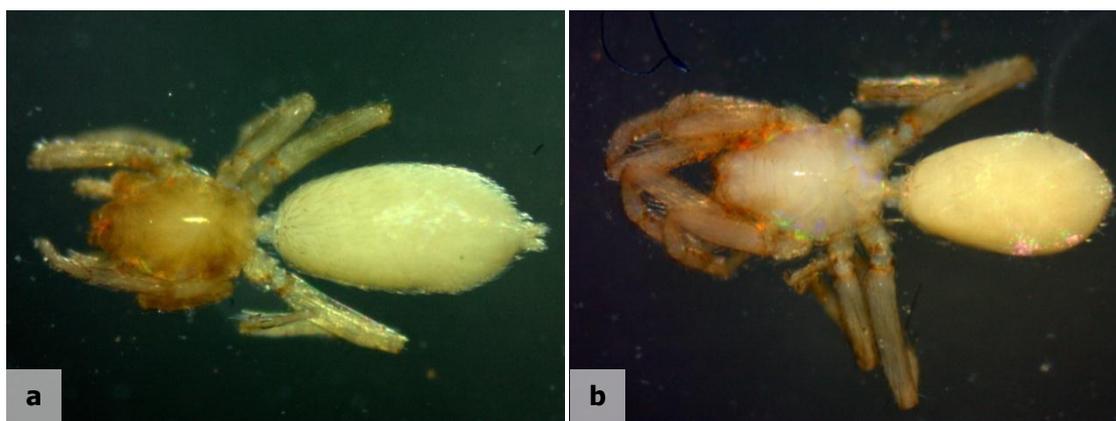


FIGURA 100 - ARANHAS EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) OONOPIDAE SP.1; B) OONOPIDAE SP.2.

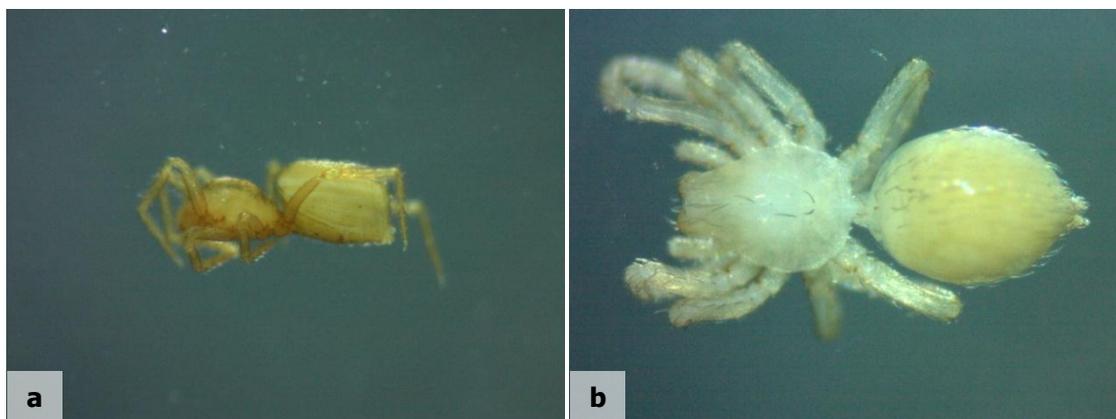


FIGURA 101 - ARANHAS EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) TETRABLEMMIDAE SP.1 B) AMAUROBIIDAE JOVEM.



FIGURA 102 - CREUGAS SP.1 EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) VITA DORSAL; B) VISTA FRONTAL.

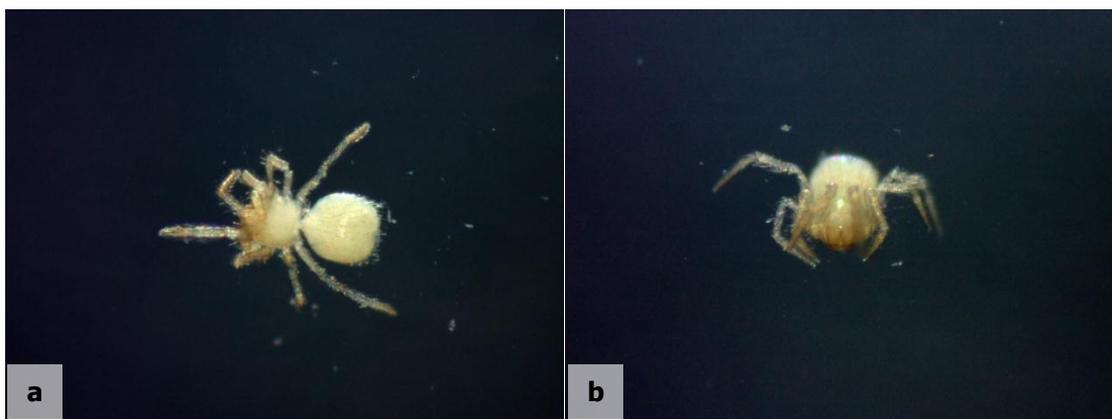


FIGURA 103 - ANAPISTULA SP.2 EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) VITA DORSAL; B) VISTA FRONTAL.

Um único morfótipo de opilião troglomórfico, pertencente à família Escadabiidae, foi registrado no levantamento faunístico do projeto Bocaina (Escadabiidae sp.nov.7). Esse morfótipo foi representado por sete indivíduos, sendo um adulto e seis jovens, todos presentes na cavidade SB-0169 (Figura 104). Até o presente momento, não temos registros dessa morfoespécie em outras cavidades da região.



FIGURA 104 - OPILIÃO ESCADABIIDAE SP.NOV.7 EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) VITA DORSAL; B) VISTA LATERAL.

Pseudo-escorpiões com troglomorfismos foram registrados na família Chthoniidae (*Pseudochthonius* sp.3 e *Pseudochthonius* sp.4) e na superfamília Cheliferoidea (Cheliferoidea sp.2, anteriormente identificado como Cheliferidae sp.2). Destes, até o momento, apenas *Pseudochthonius* sp.4 foi registrado em outras regiões fora da Serra da Bocaina (Figura 105 e Figura 106).

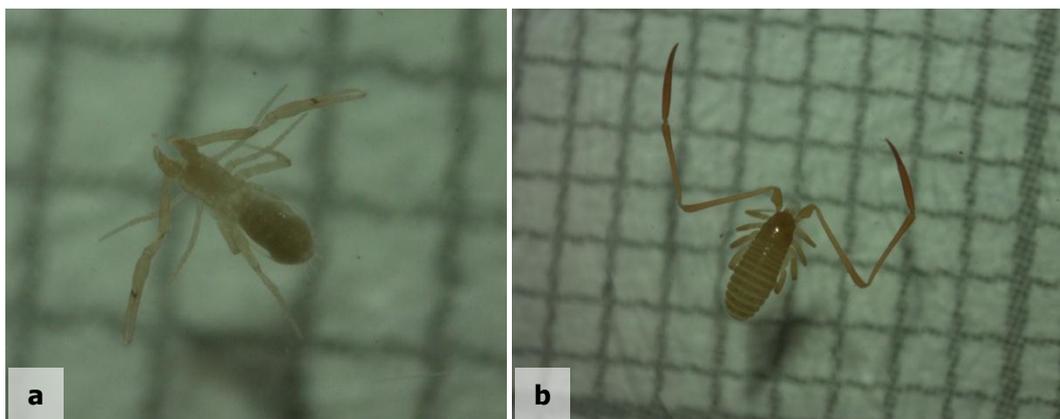


FIGURA 105 - PSEUDO-ESCORPIÃO EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) PSEUDOCHTHONIUS SP.4; B) CHELIFEROIDEA SP.2. ESCALA EM PAPEL MILIMETRADO.

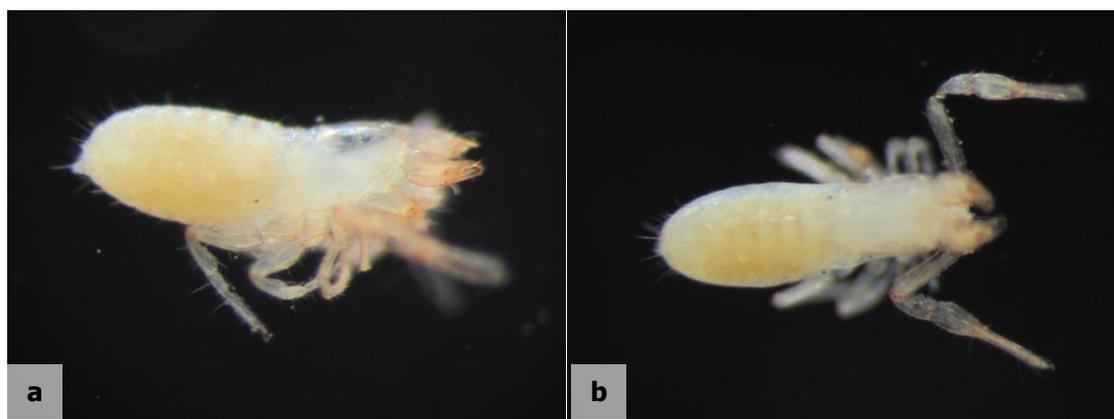


FIGURA 106 - PSEUDOCHTHONIUS SP.3 EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) VITA LATERAL; B) VISTA DORSAL.

Considerando quilópodos, *Lamyctes* sp.2 foi observado em três cavidades e *Newportia* sp.5 em duas cavidades. Destaca-se que é o primeiro registro na Serra dos Carajás para ambas as espécies (Figura 107).



FIGURA 107 - CHILOPODA EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) LAMYCTES SP.2; B) NEWPORTIA SP.5. ESCALA COMPLETA DE 1 CM (EM B).

Considerando os colêmbolos, foram registradas sete morfoespécies troglomórficas: três comuns a outras áreas da Serra dos Carajás (*Pseudosinella* sp.1, *Trogolaphysa* sp.2 e *Lepidonella* sp.1) e

quatro restritas à área de Bocaina (*Cyphoderus* sp.nov.2, *Cyphoderus* sp.nov.5, *Pararrhopalites* sp.c, *Lepidonella* sp.2) (Figura 108).

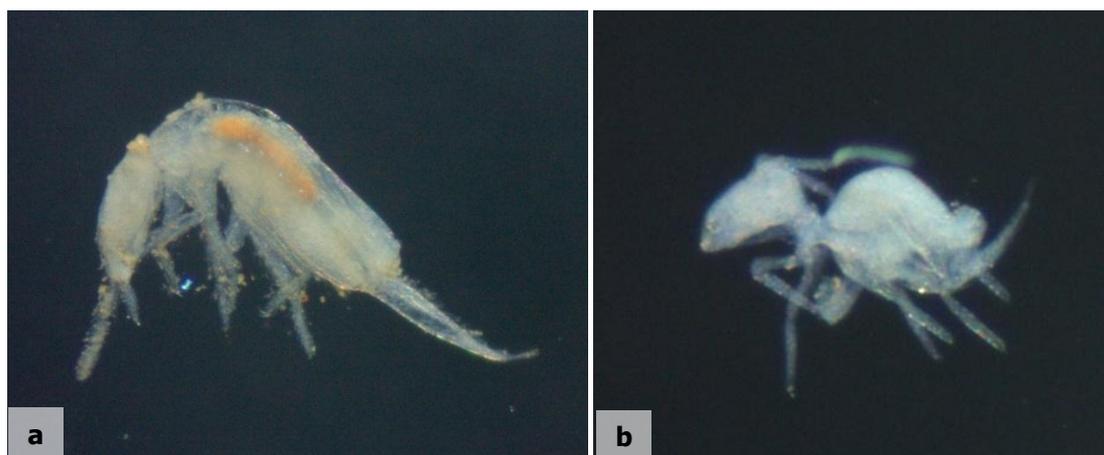


FIGURA 108 - COLLEMBOLA EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) PSEUDOSINELLA SP.1; B) PARARRHOPALITES SP.C.

Em relação aos Besouros, inicialmente foram identificadas as morfoespécies Dytiscidae sp.1, Dytiscidae sp.2, registrados em locais úmidos incluindo corpos d'água, e Pselaphinae sp. 1 (Figura 109 e Figura 110). Posteriormente, com a atualização nas identificações deste grupo, foram identificadas novas morfoespécies com indícios de troglomorfismos: Carabidae sp.7, Carabidae sp.8, Pselaphinae sp.8, Todas essas morfoespécies foram enviadas para especialista para confirmação do troglomorfismo e pareamento com morfoespécies troglomórficas de outros projetos da região. No entanto, devido à reforma do Museu de Zoologia da USP (São Paulo), não houve tempo hábil para o especialista realizar as atividades necessárias. Assim, pelo princípio da precaução e pela baixa frequência de ocorrência, tais morfoespécies foram consideradas troglomórficas na elaboração deste relatório.



FIGURA 109 - BESOURO EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) DYTISCIDAE SP.1; B) DYTISCIDAE SP.2.



FIGURA 110 - BESOURO PSELAPHINAE SP.1 EM ESTEREOMICROSCÓPIO.

Foram considerados troglomórficos os isópodos Dubioniscidae sp.3 e Scleropactidae sp.2 com registros em uma e 13 cavidades, respectivamente (Figura 111). Exemplos da família Scleropactidae foram registrados em Serra Sul (*Circoniscus carajasensis*) e Serra Norte (*C. buckupi*). É possível que a espécie encontrada na Serra da Bocaina seja uma das duas mencionadas, entretanto o contato com especialista não foi possível a tempo para este relatório. Em relação à morfoespécie *Trichorhina* sp.2, anteriormente apontada como troglóbia, destaca-se que, após avaliação da especialista professora Doutora Leila Aparecida Souza (Universidade Estadual do Ceará/UECE), constatou-se que os caracteres troglomórficos identificados na verdade não são decorrentes do isolamento no ambiente subterrâneo. Segundo a especialista, “...não são troglomórficas/troglóbias, já que no meio epígeo ocorrem espécies despigmentadas e anoftalmas de *Trichorhina* (além de pigmentadas e com olhos em diferentes graus de desenvolvimento), inclusive em hábitat endógeo, ou seja, dentro do sedimento (terra frouxa), sendo necessário cavar para encontrá-las (não muito, a uns poucos centímetros de profundidade) e também podem ser encontradas associadas a ninhos de formigas e cupins e até debaixo de cascas de árvores, no tronco da árvore viva”. Dessa maneira, desconsiderou-se essa morfoespécie como troglóbia neste relatório.



FIGURA 111 - ISÓPODOS EM ESTEREOMICROSCÓPIO: A) SCLEROPACTIDAE SP.2; B) DUBIONISCIDAE SP.3.

Pode-se destacar as cavidades SB-0169 (registro de quatro morfoespécies troglomórficas: opilião Escadabiidae sp.nov.7, pseudoescorpião *Pseudochthonius* sp.1, colêmbola *Cyphoderus* sp.nov.5 e isopoda Scleropactidae sp.2) e as cavidades SB-0007 (registro de três morfoespécies troglomórficas: colêmbolas *Trogolaphysa* sp.2 e *Pararrhopalites* sp.c e isopoda Scleropactidae sp.2), SB-0076 (registro de três morfoespécies troglomórficas: pseudoescorpião *Pseudochthonius* sp.4, colêmbola *Lepidonella* sp.1 e isopoda Scleropactidae sp.2) e SB-0090 (registro de três

morfoespécies troglomórficas: Chilopoda *Lamyctes* sp.2 e colêmbolas *Trogolaphysa* sp.2 e *Lepidonella* sp.2).

ANÁLISES

A curva de acumulação de espécies coletadas considerando a totalidade de amostras (cavidades) pode ser observada na Figura 112. 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 235 amostras.

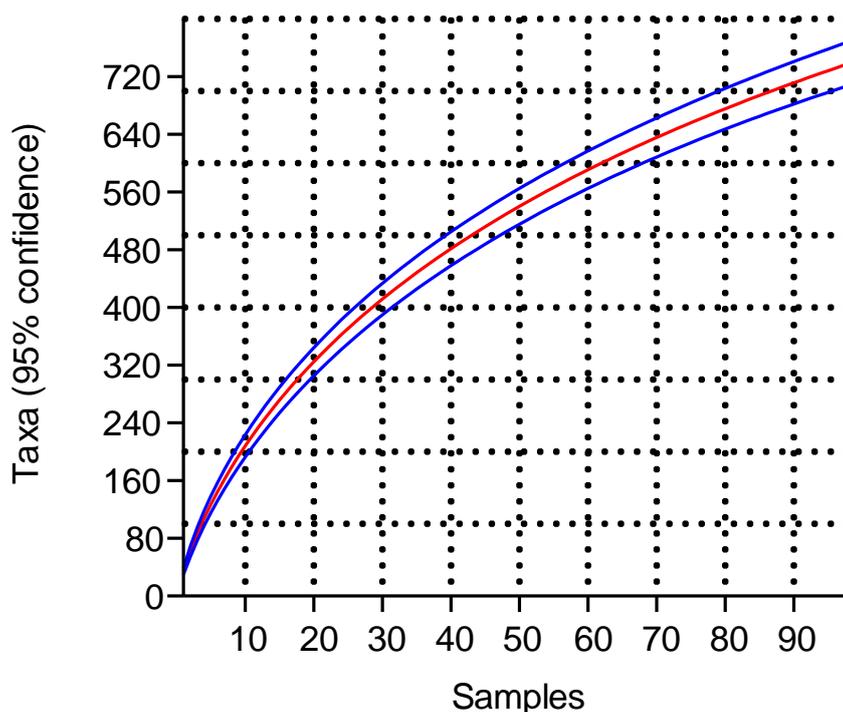


FIGURA 112 - CURVA DE ACUMULAÇÃO DE ESPÉCIES CONSIDERANDO A TOTALIDADE DAS CAVIDADES ESTUDADAS EM SERRA DA BOCAINA, CARAJÁS (N=235).

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.

A riqueza média de morfoespécies, considerando-se cada estação de coleta, foi de $32,87 \pm 20,73$ (estação seca) e $31,76 \pm 21,50$ (estação úmida). Analisando-se os dados da estação seca,

constata-se que 35 cavidades foram consideradas com riqueza de morfoespécies alta, 182 com riqueza de morfoespécies média e 18 com riqueza de morfoespécies baixa. Em relação aos dados da estação úmida, 37 cavidades foram consideradas com riqueza de morfoespécies alta, 172 com riqueza de morfoespécies média e 26 com riqueza de morfoespécies baixa (Anexo V).

Em relação à abundância relativa de morfoespécies para organismos maiores de 1 centímetro, 36,2% das cavidades amostradas no projeto Bocaina apresentaram alta abundância relativa de morfoespécies: SB-0005, SB-0007, SB-0008, SB-0016, SB-0023, SB-0026, SB-0031, SB-0033, SB-0034, SB-0035, SB-0042, SB-0043, SB-0049, SB-0053, SB-0056, SB-0063, SB-0066, SB-0068, SB-0072, SB-0073, SB-0075, SB-0076, SB-0085, SB-0094, SB-0095, SB-0096, SB-0100, SB-0111, SB-0114, SB-0116, SB-0117, SB-0120, SB-0126, SB-0127, SB-0128, SB-0136, SB-0137, SB-0139, SB-0141, SB-0142, SB-0147, SB-0150, SB-0151, SB-0152, SB-0153, SB-0155, SB-0157, SB-0160, SB-0161, SB-0162, SB-0165, SB-0168, SB-0169, SB-0170, SB-0172, SB-0173, SB-0174, SB-0175, SB-0178, SB-0182, SB-0185, SB-0186, SB-0188, SB-0189, SB-0193, SB-0194, SB-0196, SB-0199, SB-0206, SB-0207, SB-0210, SB-0211, SB-0212, SB-0213, SB-0214, SB-0217, SB-0219, SB-0221, SB-0224, SB-0225, SB-0229, SB-0235, SB-0236, SB-0240 e SB-0242. Tendo em vista que algumas cavidades inventariadas apresentam pequeno número de espécies cujos adultos possuem 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 maiores números de espécies apresentam proporções melhor distribuídas de abundância relativa (Anexo V).

ANÁLISE DE RELEVÂNCIA

A análise de relevância foi efetuada através dos procedimentos definidos no Decreto Federal Nº 6.640, de 07 de novembro de 2008. Este decreto alterou significativamente o status jurídico referente à proteção das cavernas brasileiras e passou a prever a classificação das cavernas segundo quatro graus de relevância - máximo, alto, médio e baixo - determinados pela análise de atributos geológicos, hidrológicos, ecológicos, faunísticos, paleontológicos, cênicos, histórico-culturais e socioeconômicos.

MÉTODO

A determinação das cavernas de relevância máxima é realizada através de parâmetros definidos pelo próprio decreto, que prevê conservação integral da cavidade inserida neste contexto. Os parâmetros dos demais graus de relevância foram apenas esboçados, estando remetidos à Instrução Normativa Nº 2 (IN 2), publicada no dia 20 de agosto de 2009 pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA. As cavidades classificadas como de relevância média ou 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).

DISCRIMINAÇÃO LITOLÓGICA

De acordo com o Decreto 6.640 em seu Artigo 1º “A análise dos atributos geológicos, para a determinação do grau de relevância, deverá ser realizada comparando cavernas da mesma litologia”. O primeiro passo envolve a determinação da litologia das cavernas.

As cavidades da Serra da Bocaina foram agrupadas segundo três grupos litológicos distintos, apresentados aqui em ordem de maior ocorrência.

- Formação ferrífera – grupo composto por cavernas inseridas em minério de ferro, canga e jaspilito, incluindo as possíveis variações oriundas do grau de alteração desses litotipos. Cavernas nos contatos litológicos: canga/jaspilito; jaspilito/máfica e canga/máfica também foram incluídas neste grupo.
- Ferricretes – grupo composto por cavidades inseridas em depósitos coluvionares com variado grau de ferruginização (ferricretes). Também estão incluídas cavernas no contato litológico ferricrete/máfica, com predomínio do primeiro litotipo.
- Máficas – cavernas em rochas máficas (metabasaltos/canga com clastos de máfica) com diferentes graus de alteração intempérica. Cavernas no contato litológico máfica/ferricrete foram incluídas, nos casos em que a máfica é o litotipo predominante.

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.

A escala regional para a formação ferrífera, metabasaltos e ferricretes abrange toda a Região de Carajás, PA. Esta unidade espeleológica incluiu 1081 cavernas no grupo denominado de formação ferrífera/canga, abrangendo 587 cavernas na Serra Norte, 205 em Serra Leste, 133 em Serra Sul, 14 cavernas na Serra do Rabo, 19 em Serra Arqueada e 123 na Serra da Bocaina. A escala regional para os metabasaltos (máficas) incluiu 25 cavernas, sendo 11 em Serra Norte, duas em Serra Sul, duas em Serra do Rabo-Estrela e 10 na Serra da Bocaina. Para as cavernas inseridas em ferricrete a escala regional de análise foi composta por 158 cavidades, sendo 39 cavernas na Serra do Rabo-Estrela, 17 cavernas da Serra Sul e 102 cavernas da Serra da Bocaina.

A escala local de análise é limitada à Serra da Bocaina (Figura 113), que incluiu 10 cavidades em metabasaltos, 123 em rochas do grupo denominado formação ferrífera/canga e 102 cavernas no ferricrete.

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

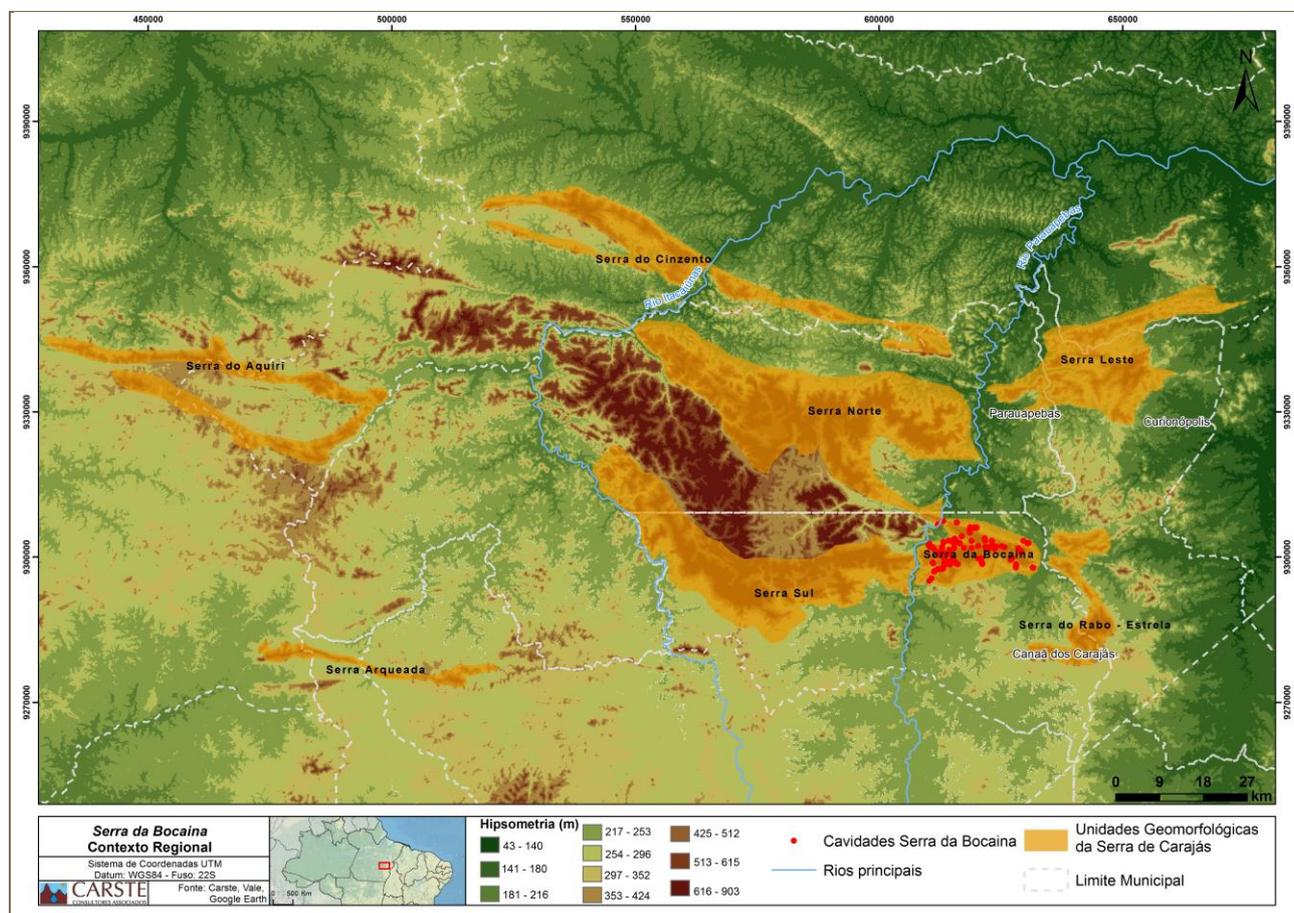


FIGURA 113 - MAPA HIPSOMÉTRICO COM A LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS QUE COMPÕEM A ESCALA REGIONAL.

GRAUS 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 sofrer 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 114.

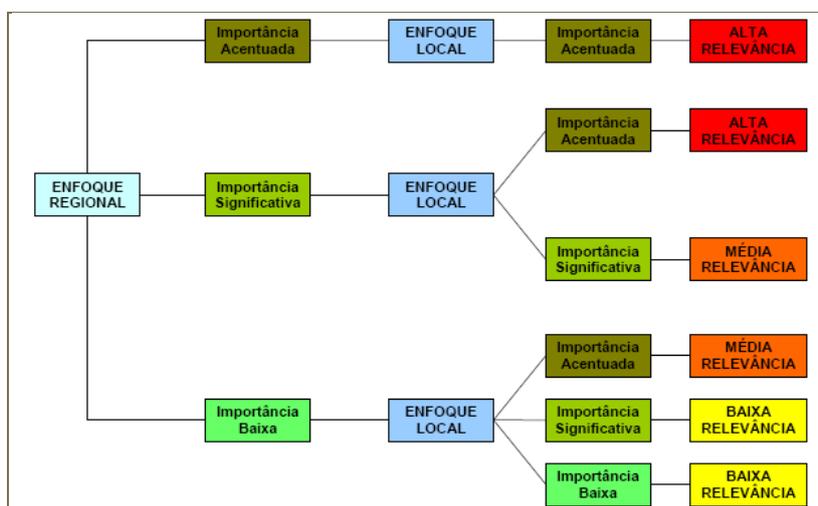


FIGURA 114 - FLUXOGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO DO GRAU DE RELEVÂNCIA DE CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS, SEGUNDO A INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 2, DO MMA.

RESULTADOS DA ANÁLISE DE RELEVÂNCIA DAS CAVERNAS DA SERRA DA BOCAINA

A análise contempla 235 cavidades nos três grupos litológicos anteriormente descritos.

RELEVÂNCIA MÁXIMA

A listagem das cavernas cuja relevância é máxima e os atributos que as classificaram como tal encontram-se no Quadro 8 e serão explicados ao longo deste item.

QUADRO 8 - CLASSIFICAÇÃO DAS CAVERNAS DE RELEVÂNCIA MÁXIMA

ART. 3º CRITÉRIOS DE RELEVÂNCIA MÁXIMA	CAVIDADES
I - Gênese única ou rara	SB-0169
II - Morfologia única;	SB-0169
III - Dimensões notáveis em extensão, área ou volume	SB-0016, SB-0026, SB-0070, SB-0085, SB-0114, SB-0199, SB-0212

IV - Espeleotemas únicos	SB-0055, SB-0070, SB-0087, SB-0088
V - Isolamento geográfico	-
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	SB-0007, SB-0012, SB-0016, SB-0019, SB-0026, SB-0040, SB-0042, SB-0046, SB-0050, SB-0068, SB-0069, SB-0070, SB-0071, SB-0077, SB-0090, SB-0099, SB-0102, SB-0123, SB-0129, SB-0131, SB-0139, SB-0142, SB-0147, SB-0150, SB-0152, SB-0155, SB-0164, SB-0169, SB-0172, SB-0177, SB-0198, SB-0202, SB-0207, SB-0212, SB-0213, SB-0219, SB-0229
VIII - Habitat de troglóbrio raro	SB-0007, SB-0016, SB-0019, SB-0040, SB-0076, SB-0077, SB-0090, SB-0102, , SB-0129, SB-0139, SB-0142, SB-0147, SB-0150, SB-0152, SB-0155, SB-0161, SB-0164, SB-0169, SB-0172, SB-0202, SB-0207, SB-0213, SB-0229.
IX - Interações ecológicas únicas	-
X - Cavidade testemunho	SB-0002, SB-0004, SB-0005, SB-0007, SB-0008, SB-0009, SB-0010, SB-0011, SB-0013, SB-0014, SB-0015, SB-0017, SB-0018, SB-0020, SB-0021, SB-0022, SB-0023, SB-0025, SB-0028, SB-0031, SB-0032, SB-0033, SB-0034, SB-0035, SB-0039, SB-0040, SB-0041, SB-0043, SB-0044, SB-0045, SB-0047, SB-0049, SB-0051, SB-0052, SB-0053, SB-0054, SB-0056, SB-0057, SB-0058, SB-0059, SB-0060, SB-0061, SB-0065, SB-0066, SB-0067, SB-0072, SB-0076, SB-0081, SB-0082, SB-0083, SB-0086, SB-0087, SB-0088, SB-0097, SB-0101, SB-0104, SB-0106, SB-0117, SB-0134, SB-0136, SB-0137, SB-0138, SB-0140, SB-0141, SB-0142, SB-0143, SB-0154, SB-0160, SB-0162
XI - Destacada relevância histórica, cultural ou religiosa	-

Gênese única ou rara

O atributo Gênese Única ou Rara se aplica, segundo o anexo I da In 2/2009 a “cavidades que, no universo de seu entorno (escala local ou regional) e litologia apresenta algum diferencial, com relação ao seu processo de formação e dinâmica evolutiva”.

No estudo diagnóstico de Serra da Bocaina constatou-se que a gênese da grande maioria das cavidades se está associada a processos endógenos, tendo sido geradas pelo fluxo d'água a partir de zonas de recarga na superfície. Estas cavernas foram influenciadas em diferentes graus por agentes exógenos durante sua evolução, destacando-se a ação erosiva d eáguas pluviais que ainda atua (através da percolação) na ampliação de canalículos, de condutos e em processos de abatimento. Estes processos mais recentes alteram significativamente a forma original da caverna. Condutos afunilados terminados em canalículos, declives ajustados ao gradiente da vertente, entre outras, são formas típicas de cavernas alteradas por processos erosivos tardios. Neste contexto, a gruta CAV-0169 não apresenta feições típicas de processos pluviais mais recentes, ao contrário, a caverna possui em abundância bolsões possivelmente de dissolução, remanescentes de processo espeleogenéticos iniciais. Sua forma geral seja em planta baixa ou seções (aspecto de bolha) destoam das formas tipicamente moldadas por processos erosivos tardios.

Morfologia única

Segundo o anexo I da In 2/2009, apresenta morfologia única a “cavidade que, no universo de seu entorno (escala local ou regional) e sua litologia apresenta algum diferencial em relação à forma, organização espacial das galerias e/ou feições morfológicas internas (espeleogens), considerando

o *todo ou parte da cavidade*". No conjunto estudado apenas a CAV-0169 apresentou atributo morfológico que pudesse ser considerado raro. A gruta se destaca por apresentar feições diferenciadas das demais cavernas da escala regional. Ao contrário das demais cavernas de Bocaina e mesmo da região de Carajás, essa caverna possui morfologia mais próxima às cavernas carbonáticas, com salão amplo globular, diferentes níveis de piso (pelo menos três níveis foram mapeados) em nítida desconexão com o gradiente externo. Também é notório o desenvolvimento da gruta em declive para o interior do maciço e o espesso pacote rochoso acima da pequena entrada. Bolsões, possivelmente de dissolução ainda estão presentes nas paredes internas, preservados de processos de colapso mais recentes.

Outro exemplo de morfologia única ocorre em Carajás (Serra Norte). Na gruta N4WS-0067 foi identificado um paleopiso corroído que abrange grande parte do setor distal. O rebaixamento do nível de base da caverna, fez com que se preservasse o antigo piso (suspensão) repleto de depressões subcirculares (provavelmente antigas marmitas de dissolução) com fundo erodido. A forma e a abrangência desse grande paleopiso, não foram registradas em nenhuma outra cavidade em rocha ferrífera até o momento e foi, portanto, classificada como morfologia única.

Dimensões notáveis em extensão, área ou volume

Para a classificação de relevância máxima das cavernas, com base nos valores espeleométricos, o termo "dimensões notáveis" foi aqui definido pelo valor médio da amostra regional multiplicado por cinco. Assim, para conferir o grau máximo de relevância, as cavidades inseridas na formação ferrífera/canga devem apresentar um valor maior que 163,7 m (projeção horizontal), 619,1 m² (área da projeção horizontal) e 1.162,5 m³ (volume). As cavidades em ferricrete devem ter valores superiores a 179,4 m (projeção horizontal), 599,4 m² (área da projeção horizontal) e 705,2 m³ (volume). Já as cavidades alojadas em rochas máficas, devem se apresentar maiores do que 122,8 m, ou ter área e volume superiores a 716 m² e 1.675,8 m³, respectivamente (Tabela 11).

TABELA 11 - VALORES ESPELEOMÉTRICOS DE CORTE PARA CAVERNAS DE MÁXIMA RELEVÂNCIA.

Litotipo	PH (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
Formação ferrífera	163,7	619,1	1.162,5
Ferricrete	179,4	599,4	705,2
Máfica	122,8	716	1.675,8

As cavidades SB-0016, SB-0026, SB-0070, SB-0085, SB-0114, SB-0199, SB-0212 apresentaram valores espeleométricos superiores a cinco vezes a Média Regional:

- SB-0016 (Formação ferrífera/canga) – área (749,6 m²);
- SB-0026 (Ferricrete) – PH (189,6 m), área (750,8 m²) e volume (881 m³);
- SB-0070 (Formação ferrífera/canga) – área (661,1 m²);
- SB-0085 (Formação ferrífera/canga) – área (655,3 m²);
- SB-0114 (Ferricrete) – área (749,6 m²) e volume (708 m³);
- SB-0199 (Formação ferrífera/canga) – PH (188,7 m), área (828,5 m²) e volume (1.220 m³);
- SB-0212 (Formação ferrífera/canga) – PH (176,2 m).

Espeleotemas únicos

De acordo com o Anexo I da In 2/2009, deve ser considerada de relevância máxima a caverna que apresente "espeleotemas, individualmente ou em conjunto, pouco comuns ou excepcionais, em tamanho, mineralogia, tipologia, beleza ou profusão, especialmente se considerados frente à litologia dominante da cavidade sob os enfoques territoriais considerados local ou regional".

As cavidades SB-0055, SB-0070, SB-0087, SB-0088 se destacaram na amostra por apresentar espeleotemas pouco comuns. Na SB-0055 foi registrado pela primeira vez na região de Carajás um espeleotema fibroso, muito provavelmente de gipsita (sulfato de cálcio). Na caverna SB-0070 foi registrado um conjunto de espeleotemas raros, incluindo estalactites e estalagmites. Formas menores do tipo coralóides e micropingentes não menos raras também estão presentes. A estrutura concêntrica de deposição de alguns desses espeleotemas pode ser observada nas pontas quebradas de algumas dessas estalactites. Alguns pingentes possuem morfologia anelar e localmente possuem furos irregulares nas pontas. Esses espeleotemas, em maior abundância que na Serra da Bocaina, já foram registrados nas serras Sul (S11D-83) e Norte (N4WS-67). Nessas cavernas a composição mineralógica desses espeleotemas é constituída por minerais fosfáticos. Nas cavernas SB-0087 e SB-0088 ocorrem formas raras de crostas, com aspecto esferoidal quando erodidas. São feições deposicionais raras, possivelmente de exsudação da rocha, sendo merecedoras de estudos específicos.

Nenhuma outra cavidade da área de estudo destacou-se por apresentar espeleotemas únicos. Foram registrados espeleotemas triviais aos litotipos estudados, como: crostas (de óxidos/hidróxidos de ferro e crostas brancas) de dimensões e formatos distintos, embora extremamente comuns considerando a escala local e regional. Também foram observados coralóides de dimensões milimétricas a centimétricas e formas restritas. Escorrimentos, alguns contendo pingentes, cortinas e textura microtravertínica também foram registrados. Trata-se de tipos de espeleotemas amplamente observados nas diversas cavidades da região de Carajás.

Isolamento geográfico / cavidade testemunho

As cavidades da Serra da Bocaina não se enquadram na definição de isolamento geográfico, tendo em vista a concentração de cavidades na região. Cavidades testemunho somam até o momento 69 na Serra da Bocaina. Estas cavidades (Quadro 8) apresentadas na primeira versão dos estudos relevância da Serra da Bocaina, em abril de 2013, foram utilizadas na compensação espeleológica do Projeto S11D.

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

Os profissionais responsáveis pela identificação dos indivíduos amostrados nas cavidades do projeto Bocaina não apontaram a existência de nenhuma espécie constante de lista oficial de espécies brasileiras ameaçadas de extinção (MMA, 2008) nas cavidades inventariadas.

Habitat essencial para preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de troglóbios endêmicos ou relictos

Foram considerados os organismos citados no Quadro 7, potenciais endêmicos, registrados até o momento apenas em cavidades da área da Serra da Bocaina: Amaurobiidae (SB-0019 e SB-0152), Speocera sp.2 (será tratada como endêmica da Serra da Bocaina até a confirmação do especialista - SB-0139), Oonopidae sp.1 (SB-0012, SB-0026, SB-0042, SB-0071 e SB-0099), Oonopidae sp.2 (SB-0012, SB-0090, SB-0219 e SB-0198), Creugas sp.2 e Corinnidae (SB-0129, SB-0169 e SB-0207), Anapistula sp.2 (SB-0213), Escadabiidae sp.nov.7 (SB-0169), Cheliferoidea sp.2 (SB-0077), Pseudochthonius sp.3 (SB-0123, SB-0131, SB-0177 e SB-0219), Lamyctes sp.2 (SB-0090, SB-0102 e SB-0142), Newportia sp.5 (SB-0016, SB-0150), Cyphoderus sp.nov.2 (SB-0202), Cyphoderus sp.nov.5 (SB-0169), Parrhopalites sp.c (SB-0007), Lepidonella sp.2 (SB-0040, SB-0090), Dytiscidae sp.2 (SB-0147), Pselaphinae sp.1 (SB-0046, SB-0050, SB-0068, SB-0070, SB-0071) e Dubioniscidae sp.3 (SB-0069).

Ressalta-se que os morfótipos de coleoptera Carabidae sp.7 (SB-0152 e SB-0229), Carabidae sp.8 (SB-0155), Pselaphinae sp.8 (SB-0164 e SB-0172), , que não foram analisados por especialista

devido à impossibilidade de acesso ao Museu de Zoologia da USP, serão considerados troglomórficos endêmicos da Serra da Bocaina, até o a devida análise seja realizada.

Habitat de troglóbio raro

Segundo os resultados obtidos a partir das discussões realizadas no Workshop Técnico Científico “Troglóbios Raros”, foi considerado raro aquele troglóbio presente em até três cavidades. Dessa maneira, seguindo os critérios acima apresentados, 26 morfoespécies troglomórficas amostradas foram consideradas raras na presente análise (Quadro 9).

QUADRO 9 - TROGLÓBIOS RAROS AMOSTRADOS EM SERRA DA BOCAINA.

	Táxon	Cavidades
Araneae	Amaurobiidae	SB-0019, SB-0152
	<i>Speocera</i> sp.2	SB-0139
	<i>Creugas</i> sp.2	SB-0169
	Corinnidae	SB-0129, SB-0207
	<i>Anapistula</i> sp.2	SB-0213
Opiliones	Escadabiidae sp.nov.7	SB-0169
Pseudoscorpiones	Cheliferoidea sp.2	SB-0077
Chilopoda	<i>Lamyctes</i> sp.2	SB-0090, SB-0102, SB-0142
	<i>Newportia</i> sp.5	SB-0016, SB-0150
Collembola	<i>Cyphoderus</i> sp.nov.2	SB-0202
	<i>Cyphoderus</i> sp.nov.5	SB-0169
	<i>Pararrhopalites</i> sp.c	SB-0007
	<i>Lepidonella</i> sp.1	SB-0076
	<i>Lepidonella</i> sp.2	SB-0040, SB-0090
Coleoptera	Carabidae sp.7	SB-0152, SB-0229
	Carabidae sp.8	SB-0155
	Dytiscidae sp.1	SB-0161
	Dytiscidae sp.2	SB-0147, SB-0212
	Pselaphinae sp.8	SB-0164, SB-0172
Isopoda	Dubioniscidae sp.3	SB-0069

Ressalta-se, novamente, que os morfótipos de coleoptera ainda não foram analisados por especialista, devido à impossibilidade de acesso ao Museu de Zoologia da USP.

Diante desse resultado, em 25 cavidades estudadas o atributo em discussão foi considerado presente: SB-0007, SB-0016, SB-0019, SB-0040, SB-0069, SB-0076, SB-0077, SB-0090, SB-0102, SB-0129, SB-0139, SB-0142, SB-0147, SB-0150, SB-0152, SB-0155, SB-0161, SB-0164, SB-0169, SB-0172, SB-0202, SB-0207, SB-0212, SB-0213 e SB-0229.

Interações ecológicas únicas

Não foram observadas interações ecológicas únicas nas cavidades estudadas na área da Serra da Bocaina.

Destacada relevância histórica, cultural ou religiosa

Não foram registrados vestígios de uso religioso em nenhuma das cavernas estudadas. Vestígios arqueológicos (pré-históricos) foram encontrados em 59 cavernas, entretanto a avaliação de relevância deste atributo cabe ao especialista arqueólogo, de acordo com a Portaria 230 do IPHAN, de 17 de dezembro de 2002.

IMPORTÂNCIA ACENTUADA SOB ENFOQUE LOCAL E REGIONAL

O Quadro 10 apresenta a síntese dos atributos analisados em termos de importância acentuada sob enfoque local e regional.

QUADRO 10 - CLASSIFICAÇÃO DAS CAVERNAS DE IMPORTÂNCIA ACENTUADA SOB ENFOQUE LOCAL E REGIONAL.

ART. 7º IMPORTÂNCIA ACENTUADA SOB ENFOQUE LOCAL E REGIONAL	CAVIDADES
I - Localidade-tipo	-
II - Presença de populações estabelecidas de espécies com função ecológica importante	SB-0012, SB-0026, SB-0049, SB-0051, SB-0071, SB-0076, SB-0077, SB-0085, SB-0092, SB-0095, SB-0137, SB-0147, SB-0152, SB-0194, SB-0198, SB-0199, SB-0207, SB-0212, SB-0229
III - Presença de táxons novos	SB-0007, SB-0040, SB-0090, SB-0169 e SB-0202
IV - Alta riqueza de espécies	SB-0002, SB-0007, SB-0010, SB-0011, SB-0012, SB-0016, SB-0025, SB-0026, SB-0031, SB-0032, SB-0046, SB-0049, SB-0051, SB-0054, SB-0069, SB-0070, SB-0071, SB-0072, SB-0076, SB-0077, SB-0085, SB-0090, SB-0092, SB-0094, SB-0095, SB-0098, SB-0106, SB-0137, SB-0147, SB-0152, SB-0161, SB-0114, SB-0129, SB-0168, SB-0170, SB-0177, SB-0194, SB-0199, SB-0207, SB-0212, SB-0214, SB-0219, SB-0222, SB-0229, SB-0239, SB-0241
V - Alta abundância relativa de espécies	SB-0005, SB-0007, SB-0008, SB-0016, SB-0023, SB-0026, SB-0031, SB-0033, SB-0034, SB-0035, SB-0042, SB-0043, SB-0049, SB-0053, SB-0056, SB-0063, SB-0066, SB-0068, SB-0072, SB-0073, SB-0075, SB-0076, SB-0085, SB-0094, SB-0095, SB-0096, SB-0100, SB-0111, SB-0114, SB-0116, SB-0117, SB-0120, SB-0126, SB-0127, SB-0128, SB-0136, SB-0137, SB-0139, SB-0141, SB-0142, SB-0147, SB-0150, SB-0151, SB-0152, SB-0153, SB-0155, SB-0157, SB-0160, SB-0161, SB-0162, SB-0165, SB-0168, SB-0169, SB-0170, SB-0172, SB-0173, SB-0174, SB-0175, SB-0178, SB-0182, SB-0185, SB-0186, SB-0188, SB-0189, SB-0193, SB-0194, SB-0196, SB-0199, SB-0206, SB-0207, SB-0210, SB-0211, SB-0212, SB-0213, SB-0214, SB-0217, SB-0219, SB-0221, SB-0224, SB-0225, SB-0229, SB-0235, SB-0236, SB-0240, SB-0242
VI - Presença de composição singular da fauna	-
VII - Presença de troglóbios que não sejam considerados raros, endêmicos ou relictos.	SB-0007, SB-0012, SB-0016, SB-0026, SB-0028, SB-0041, SB-0042, SB-0046, SB-0047, SB-0049, SB-0050, SB-0052, SB-0061, SB-0063, SB-0067, SB-0068, SB-0070, SB-0071, SB-0073, SB-0076, SB-0077, SB-0085, SB-0090, SB-0096, SB-0099, SB-0112, SB-0114, SB-0119, SB-0120, SB-0122, SB-0123, SB-0124, SB-0131, SB-0137, SB-0152, SB-0163, SB-0164, SB-0168, SB-0169, SB-0171, SB-0174, SB-0175, SB-0176, SB-0177, SB-0178, SB-0179, SB-0197, SB-0198, SB-0199, SB-0202, SB-0207, SB-0210, SB-0212, SB-0214, SB-0216, SB-0218, SB-0219, SB-0223, SB-0222, SB-0229, SB-0231, SB-0236, SB-0244
VIII - Presença de espécies troglomórficas	SB-0007, SB-0012, SB-0016, SB-0019, SB-0026, SB-0028, SB-0040, SB-0041, SB-0042, SB-0046, SB-0047, SB-0049, SB-0050, SB-0052, SB-0061, SB-0063, SB-0067, SB-0068, SB-0069, SB-0070, SB-0071, SB-0073, SB-0076, SB-0077, SB-0085, SB-0090, SB-0096, SB-0099, SB-0102, SB-0112, SB-0114, SB-0119, SB-0120, SB-0122, SB-0123, SB-0124, SB-0129, SB-0131, SB-0137, SB-0139, SB-0142, SB-0147, SB-0150, SB-0152, SB-0155, SB-0161, SB-0163, SB-0164, SB-0168, SB-0169,

	SB-0171, SB-0172, SB-0174, SB-0175, SB-0176, SB-0177, SB-0178, SB-0179, SB-0197, SB-0198, SB-0199, SB-0202, SB-0207, SB-0210, SB-0212, SB-0213, SB-0214, SB-0216, SB-0218, SB-0219, SB-0223, SB-0222, SB-0229, SB-0231, SB-0236, SB-0244
IX - Presença de troglóxico obrigatório	-
X - Presença de população excepcional em tamanho	SB-0229
XI - Presença de espécie rara	-
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 da Instrução Normativa 2	SB-0007, SB-0016, SB-0025, SB-0049, SB-0069, SB-0070, SB-0085
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 da Instrução Normativa 2	SB-0012, SB-0025, SB-0049, SB-0051, SB-0069, SB-0071, SB-0137, SB-0212
XIV - Alto volume da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica, conforme definido no § 3o do art. 14 da Instrução Normativa 2	SB-0016, SB-0051, SB-0065, SB-0070, SB-0071, SB-0085, SB-0212
XV - Presença significativa de estruturas espeleogenéticas raras	SB-0001, SB-0007, SB-0017, SB-0034, SB-0035, SB-0042, SB-0049, SB-0051, SB-0070, SB-0071, SB-0076, SB-0081, SB-0083, SB-0085, SB-0087, SB-0088, SB-0090, SB-0091, SB-0095, SB-0099, SB-0113, SB-0114, SB-0115, SB-0134, SB-0140, SB-0141, SB-0147, SB-0152, SB-0163, SB-0166, SB-0168, SB-0169, SB-0178, SB-0179, SB-0181, SB-0183, SB-0199, SB-0212, SB-0229, SB-0237, SB-0239
XVI - Lago ou drenagem subterrânea perene com influência acentuada sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos deste artigo	SB-0007, SB-0026, SB-0032, SB-0046, SB-0047, SB-0049, SB-0056, SB-0068, SB-0070, SB-0076, SB-0085, SB-0088, SB-0092, SB-0116, SB-0118, SB-0147, SB-0161, SB-0165, SB-0167, SB-0168, SB-0173, SB-0177, SB-0179, SB-0180, SB-0182, SB-0185, SB-0193, SB-0194, SB-0196, SB-0212, SB-0217, SB-0221, SB-0239, SB-0242
XVII - Diversidade da sedimentação química com muitos tipos de espeleotemas e processos de deposição	SB-0007, SB-0012, SB-0032, SB-0049, SB-0052, SB-0069, SB-0070, SB-0076, SB-0112, SB-0119, SB-0188, SB-0212, SB-0244
XVIII - Configuração notável dos espeleotemas	SB-0007, SB-0012, SB-0015, SB-0026, SB-0032, SB-0047, SB-0049, SB-0051, SB-0055, SB-0064, SB-0069, SB-0074, SB-0076, SB-0087, SB-0088, SB-0097, SB-0101, SB-0102, SB-0114, SB-0117, SB-0118, SB-0119, SB-0125, SB-0163, SB-0167, SB-0168, SB-0174, SB-0175, SB-0179, SB-0180, SB-0184, SB-0199, SB-0202, SB-0212, SB-0215, SB-0216, SB-0220, SB-0229, SB-0244
XIX - Alta influência da cavidade sobre o sistema cárstico	-
XX - Presença de inter-relação da cavidade com alguma de relevância máxima	SB-0001, SB-0003, SB-0006, SB-0024, SB-0027, SB-0030, SB-0036, SB-0037, SB-0038, SB-0048, SB-0063, SB-0064, SB-0073, SB-0074, SB-0075, SB-0080, SB-0091, SB-0092, SB-0095, SB-0100, SB-0103, SB-0110, SB-0111, SB-0112, SB-0113, SB-0115, SB-0116, SB-0118, SB-0119, SB-0120, SB-0122, SB-0124, SB-0125, SB-0126, SB-0127, SB-0128, SB-0130, SB-0132, SB-0135, SB-0144, SB-0145, SB-0146, SB-0149, SB-0151, SB-0153, SB-0156, SB-0157, SB-0159, SB-0165, SB-0166, SB-0167, SB-0168, SB-0170, SB-0171, SB-0173, SB-0174, SB-0175, SB-0176, SB-0178, SB-0179, SB-0180, SB-0181, SB-0188, SB-0189, SB-0190, SB-0191, SB-0192, SB-0193, SB-0197, SB-0203, SB-0204, SB-0208, SB-0209, SB-0210, SB-0211, SB-0214, SB-0215, SB-0216, SB-0230, SB-0231, SB-0232, SB-0244
XXI - Reconhecimento nacional ou mundial do valor estético/cênico da	-

cavidade	
XXII - Visitação pública sistemática na cavidade, com abrangência regional ou nacional	-

Localidade-tipo

Não há localidade-tipo entre as cavidades estudadas na Serra da Bocaina.

População estabelecida de espécies 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 a SB-0012, SB-0026, SB-0049, SB-0071, SB-0076, SB-0085, SB-0092, SB-0095, SB-0137, SB-0147, SB-0152, SB-0194 e SB-0229. 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 SB-0051, SB-0077, SB-0198, SB-0199, SB-0207 e SB-0212.

Táxons novos

Até o momento, táxon novo a ser confirmado por especialista (Prof. Dr. Douglas Zeppelini - UFPB) a partir de estudos comparativos inclui apenas *Pararrhopalites* sp.n.c (Collembola – Sminthuridae), com ocorrência na cavidade SB-0007. Destaca-se que os morfótipos *Cyphoderus* sp.n.2 (SB-0202), *Cyphoderus* sp.n.5 (SB-0169) e *Lepidonella* sp.2 (SB-0040 e SB-0090) já foram confirmadas como espécies novas pelo mesmo especialista.

Além dos morfótipos citados, há indicativo de espécie nova para o opilião *Escadabiidae* sp.nov.7 (SB-0169) e para a aranha *Creugas* sp.2 (SB-0169).

Alta riqueza de espécies

Os valores de riqueza absoluta de espécies para as cavidades foram obtidos considerando o número de morfoespécies registrado em cada campanha de campo. A média da riqueza absoluta e respectivo desvio padrão ($32,87 \pm 20,73$ – estação seca; $31,76 \pm 21,50$ – estação úmida) foram utilizados como base para fim de classificação das riquezas das cavidades em alta, média e baixa. As cavidades com alta riqueza de espécie em pelo menos uma campanha foram: SB-0002, SB-0007, SB-0010, SB-0011, SB-0012, SB-0016, SB-0025, SB-0026, SB-0031, SB-0032, SB-0046, SB-0049, SB-0051, SB-0054, SB-0069, SB-0070, SB-0071, SB-0072, SB-0076, SB-0077, SB-0085, SB-0090, SB-0092, SB-0094, SB-0095, SB-0098, SB-0106, SB-0137, SB-0147, SB-0152, SB-0161, SB-0114, SB-0129, SB-0168, SB-0170, SB-0177, SB-0194, SB-0199, SB-0207, SB-0212, SB-0214, SB-0219, SB-0222, SB-0229, SB-0239 e SB-0241.

Alta abundância relativa de espécies

Para esse atributo, os resultados indicaram alta abundância relativa (30% ou mais de espécies abundantes) para 44 cavidades: SB-0005, SB-0007, SB-0008, SB-0016, SB-0023, SB-0026, SB-0031, SB-0033, SB-0034, SB-0035, SB-0042, SB-0043, SB-0049, SB-0053, SB-0056, SB-0063, SB-0066, SB-0068, SB-0072, SB-0073, SB-0075, SB-0076, SB-0085, SB-0094, SB-0095, SB-0096, SB-0100, SB-0111, SB-0114, SB-0116, SB-0117, SB-0120, SB-0126, SB-0127, SB-0128, SB-0136, SB-0137, SB-0139, SB-0141, SB-0142, SB-0147, SB-0150, SB-0151, SB-0152, SB-0153, SB-0155, SB-0157, SB-0160, SB-0161, SB-0162, SB-0165, SB-0168, SB-0169, SB-0170, SB-0172, SB-0173, SB-0174, SB-0175, SB-0178, SB-0182, SB-0185, SB-0186, SB-0188, SB-0189, SB-0193, SB-0194, SB-0196, SB-0199, SB-0206, SB-0207, SB-0210, SB-0211, SB-0212,

SB-0213, SB-0214, SB-0217, SB-0219, SB-0221, SB-0224, SB-0225, SB-0229, SB-0235, SB-0236, SB-0240 e SB-0242.

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

Não foram detectadas populações estabelecidas de espécies de grupos pouco comuns ao ambiente cavernícola.

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

Segundo os resultados obtidos a partir das discussões realizadas no Workshop Técnico Científico “Troglóbios Raros”, não é raro aquele troglóbio presente em mais de três cavidades. Dessa maneira, seguindo os critérios apresentados, 10 morfoespécies troglomórficas amostradas foram consideradas não raras na presente análise (Quadro 11).

QUADRO 11 - TROGLÓBIOS NÃO RAROS AMOSTRADOS EM SERRA DA BOCAINA.

	Táxon	Cavidades
Araneae	Oonopidae ^{1,2}	SB-0028, SB-0049, SB-0063, SB-0073, SB-0096, SB-0137, SB-0119, SB-0114, SB-0168, SB-0175, SB-0223
	Oonopidae sp. ^{1,2}	SB-0012, SB-0026, SB-0042, SB-0071, SB-0099
	Oonopidae sp. ^{2,2}	SB-0012, SB-0090, SB-0219, SB-0198
	Tetrablemmidae sp. ^{1,2}	SB-0085, SB-0090, SB-0212, SB-0112, SB-0174, SB-0176, SB-0178, SB-0202, SB-0222
Pseudoscorpiones	<i>Pseudochthonius</i> sp. ^{3,1,2}	SB-0123, SB-0131, SB-0177, SB-0219
	<i>Pseudochthonius</i> sp. ^{4,1,2,3}	SB-0046, SB-0047, SB-0076, SB-0114, SB-0124, SB-0164, SB-0168, SB-0169, SB-0171, SB-0177, SB-0179, SB-0197, SB-0199, SB-0210, SB-0214, SB-0231, SB-0236, SB-0244
Collembola	<i>Pseudosinella</i> sp. ¹	SB-0050, SB-0067, SB-0120, SB-0122, SB-0152, SB-0168
	<i>Trogolaphysa</i> sp. ²	SB-0007, SB-0016, SB-0052, SB-0070, SB-0077, SB-0090, SB-0099, SB-0163, SB-0214, SB-0216, SB-0219, SB-0229
Coleoptera	Pselaphinae sp. ^{1,2}	SB-0046, SB-0050, SB-0068, SB-0070, SB-0071
Isopoda	Scleropactidae sp. ^{2,1,2,3}	SB-0007, SB-0012, SB-0041, SB-0049, SB-0061, SB-0070, SB-0076, SB-0164, SB-0169, SB-0207, SB-0212, SB-0218, SB-0229

Diante desse resultado, em 63 cavidades estudadas o atributo em discussão foi considerado presente: SB-0007, SB-0012, SB-0016, SB-0026, SB-0028, SB-0041, SB-0042, SB-0046, SB-0047, SB-0049, SB-0050, SB-0052, SB-0061, SB-0063, SB-0067, SB-0068, SB-0070, SB-0071, SB-0073, SB-0076, SB-0077, SB-0085, SB-0090, SB-0096, SB-0099, SB-0112, SB-0114, SB-0119, SB-0120, SB-0122, SB-0123, SB-0124, SB-0131, SB-0137, SB-0152, SB-0163, SB-0164, SB-0168, SB-0169, SB-0171, SB-0174, SB-0175, SB-0176, SB-0177, SB-0178, SB-0179, SB-0197, SB-0199, SB-0198, SB-0202, SB-0207, SB-0210, SB-0212, SB-0214, SB-0216, SB-0218, SB-0219, SB-0223 SB-0222, SB-0229, SB-0231, SB-0236 e SB-0244.

Presença de espécies troglomórficas

Neste atributo foram enquadradas as cavidades com presença de todos os organismos troglomórficos listados no Quadro 7.

Presença de troglóxeno obrigatório

Não foram encontradas populações com indícios de obrigatoriedade de utilização das cavidades para completar seu ciclo de vida, a partir das observações e inventários efetuados.

Presença de população excepcional em tamanho

De maneira geral, não foram registradas populações com densidade elevada de forma excepcional nas cavidades amostradas no projeto Bocaina. Apesar de algumas populações terem apresentado abundância absoluta alta em algumas cavidades, como grilos Phalangopsis, por exemplo, tal fato é esperado quando cavidades com grandes extensões e/ou ocorrência de quantidade elevada de recursos tróficos, como guano, são consideradas.

No entanto, vale o destaque para a cavidade SB-0229, onde foi amostrada grande população da aranha *Abapeba hoeferi* (família Corinnidae). Na ocasião da campanha úmida, cerca de 200 indivíduos dessa espécie foram avistados no interior dessa cavidade, o que configurou o atributo em discussão, uma vez que tal espécie é considerada errante e de comportamento individualista.

Espécie rara

Até o momento, o atributo não foi constatado.

Parâmetros espeleométricos

Para a classificação de relevância alta das cavernas, com base nos valores espeleométricos, observam-se três atributos: projeção horizontal, área e volume. As cavidades devem apresentar valores superiores à média adicionada ao desvio padrão das cavernas no enfoque regional, que estão apresentados na Tabela 12 (formação ferrífera/canga), na Tabela 13 (ferricrete) e Tabela 14 (máfica).

TABELA 12 - VALORES ESPELEOMÉTRICOS SOB O ENFOQUE LOCAL E REGIONAL PARA CAVERNAS DA FORMAÇÃO FERRÍFERA/CANGA.

Cavernas da amostra regional:	1081	PH	Desnível	Área	Volume
Média		32,7	4,1	123,8	232,5
Desvio Padrão		41,4		188,0	412,6
Alto ($> \mu + \sigma$)		74,1	> 4,1	311,9	645,1
Médio - Intervalo entre ($\mu - \sigma$) e ($\mu + \sigma$)		-8,6 e 74,1		-64,2 e 311,9	-180,1 e 645,1
Baixo ($< \mu - \sigma$)		-8,6		-64,2	-180,1

* valores negativos são resultantes de problema estatístico da metodologia

TABELA 13 - VALORES ESPELEOMÉTRICOS SOB O ENFOQUE LOCAL E REGIONAL PARA CAVERNAS EM FERRICRETE.

Cavernas da amostra regional:	158	PH	Desnível	Área	Volume
Média		35,9	1,8	119,9	141,0
Desvio Padrão		126,2		356,0	374,5
Alto ($> \mu + \sigma$)		162,0	> 1,8	475,8	515,6
Médio - Intervalo entre ($\mu - \sigma$) e ($\mu + \sigma$)		-90,3 e 162,0		-236,1 e 475,8	-233,5 e 515,6
Baixo ($< \mu - \sigma$)		-90,3	$< 1,8$	-236,1	-233,5

* valores negativos são resultantes de problema estatístico da metodologia

TABELA 14 - VALORES ESPELEOMÉTRICOS SOB O ENFOQUE LOCAL E REGIONAL PARA CAVERNAS EM ROCHA MÁFICA.

Cavernas da amostra regional:	25	PH	Desnível	Área	Volume
Média		24,6	3,9	143,2	335,2
Desvio Padrão		35,7		320,3	884,8
Alto ($> \mu + \sigma$)		60,3	> 3,9	463,5	1.219,9
Médio - Intervalo entre ($\mu - \sigma$) e ($\mu + \sigma$)		-11,2 e 60,3		-177,1 e 463,5	-549,6 e 1.219,9
Baixo ($< \mu - \sigma$)		-11,2	$< 3,9$	-177,1	-549,6

* valores negativos são resultantes de problema estatístico da metodologia

Projeção horizontal

As cavidades SB-0016, SB-0025, SB-0049, SB-0069, SB-0070 e SB-0085 da formação ferrífera apresentaram PH superior à soma da média e o desvio padrão: 74,1 m. Nenhuma caverna em

ferricrete foi classificada neste atributo e, apenas a caverna SB-0007 em máfica foi incluída (PH superior a 60,3 m).

Área da projeção horizontal

Oito cavernas da formação ferrífera apresentaram alta área da projeção horizontal: SB-0012, SB-0025, SB-0049, SB-0051, SB-0069, SB-0071, SB-0137 e SB-0212, com valores superiores à média acrescida do desvio padrão (311,9 m²). Nenhuma caverna em ferricrete ou máfica foi classificada neste atributo.

Volume

As cavidades SB-0016, SB-0051, SB-0065, SB-0070, SB-0071, SB-0085 e SB-0212 apresentaram volumes superiores à média somada ao desvio padrão: 645,1 m³ (formação ferrífera). Nenhuma caverna em ferricrete foi classificada com este atributo, que para o litotipo deve ter volume superior a 515,6 m³. Também não houve classificação para este atributo entre as cavernas em rocha máfica.

Presença significativa de estruturas espeleogenéticas raras

De acordo com o Anexo I da In 2/2009, devem ser consideradas estruturas espeleogenéticas: “Estruturas na rocha herdadas do processo de formação da cavidade (ex. *scallops*, *bell holes*, marmitas, meandros de teto, anastomoses pendentes, meios tubos, *Box work* e assemelhados), padrões morfológicos ou seções geométricas, sob enfoque regional”.

Nas cavernas de Serra da Bocaina foram identificadas as seguintes estruturas, consideradas raras: *Box work*, marmitas, bolsões, biotúbulos, ranhuras (estes dois últimos de provável origem biológica). A presença significativa destas estruturas não pode ser identificada a partir das anotações de campo, desse modo e de forma conservadora, adotou-se a presença como parâmetro classificatório. Ao todo, 41 cavernas foram classificadas nesse atributo (Quadro 10).

Lago ou drenagem subterrânea perene com influência acentuada sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos deste artigo

Lago (poça) ou drenagem subterrânea perene foram considerados como de influência acentuada sob enfoque local e regional quando da ocorrência da configuração dos seguintes atributos relacionados no artigo 7: configuração notável dos espeleotemas; diversidade da sedimentação química com muitos tipos de espeleotemas e processos de deposição, presença de populações estabelecidas de espécies com função ecológica importante, alta riqueza de espécies, alta abundância relativa de espécies e, presença de espécies troglóbias/troglomórficas e composição singular da fauna quando da presença do táxon quando associado ao corpo d'água.

Embora não se saiba qual o grau de influência desses componentes hidrológicos (lago ou drenagem subterrânea perene) nos atributos citados, a influência acentuada foi considerada como precaução. As cavernas com a presença desses componentes e sua influência sobre os atributos citados são apresentadas no Quadro 10.

Diversidade da sedimentação química

Diz respeito a cavernas que apresentam muitos tipos de espeleotemas e processos de deposição. Para que se possa quantificar este atributo, nas cavernas estudadas, é necessária uma descrição detalhada sobre os processos de deposição e os tipos de espeleotemas a eles associados:

- Depósitos de Águas Circulantes – são espeleotemas depositados através de águas meteóricas que se infiltram verticalmente a partir da superfície ou fluem pelo interior da cavidade. Entre os exemplos existentes em escala regional estão crosta ferruginosa; crosta fosfática; escorrimento; estalactite; cortina; pingente; estalagmite; travertino e coluna.

- Depósitos de Águas de Esxudação – são formados por soluções hídras que ocorrem na porosidade (tanto primária quanto secundária) da rocha e exsudam (suam) para a superfície, gerando formas que não dependem de gotejamentos ou infiltração de água. Na escala regional estão os coraloídes e alguns tipos de crostas, tais como crostas brancas e crostas negras (possivelmente manganêsíferas).
- Depósitos de Águas Estagnadas – formados em bacias no piso ou sobre patamares e palepisos onde há acúmulo intermitente de água. A evaporação resulta na precipitação dos minerais contidos na água, formando os espeleotemas. Exemplos deste tipo na escala regional são as crostas de óxido-hidróxido de ferro, que podem dar origem a formas denominadas “bateias” identificadas em algumas cavernas de Serra Norte, e as crostas fosfáticas. Note que estes tipos de crosta podem também se formar por águas circulantes.

Como referencial para classificação dos espeleotemas, utilizou-se o trabalho de Guimarães (1966). Através da contabilização dos espeleotemas presentes nas cavernas, a amostra foi dividida em poucos ou muitos tipos, sendo: menos de 50% dos tipos considerado pouco e, a partir de 50% dos tipos, considerado muito. Nas cavernas de Serra da Bocaina e região de Carajás, foram identificados pelo menos 12 tipos de espeleotemas: crosta ferruginosa (óxido-hidróxido de ferro), crosta fosfática (águas circulantes e estagnadas); escorrimento, estalactite, cortina, pingente, estalagmite, travertino e coluna (águas circulantes) e; crostas brancas, coraloídes e crostas negras (águas de esxudação). Aplicado o método de Guimarães (1966), acima de seis tipos de espeleotemas e na presença de dois ou mais tipos de processo de deposição configura-se o atributo “muitos tipos de espeleotemas e processos de deposição”.

Desse modo, considerando a amostra estudada, 13 cavernas apresentaram muitos tipos de espeleotemas e processos de deposição: SB-0007, SB-0012, SB-0032, SB-0049, SB-0052, SB-0069, SB-0070, SB-0076, SB-0112, SB-0119, SB-0188, SB-0212 e SB-0244. A cavidade SB-0070 já é considerada de máxima relevância por possuir espeleotemas raros.

Configuração notável de espeleotemas

Este item abrange o aspecto, maturidade ou abundância de espeleotemas, quando comparadas com suas congêneres em escala local e regional. A IN. 2 não estabelece parâmetros para a distinção entre o que é notável e o que é significativo. Desse modo, foram considerados notáveis os espeleotemas cuja forma apresentou destaque em relação aos observados no conjunto de cavernas estudadas, assim como no que se conhece de espeleotemas em escala regional. Também foram classificados os espeleotemas ou conjuntos de espeleotemas que apresentaram abundância, beleza cênica e dimensão. Trinta e nove cavidades apresentaram este atributo, elas estão listadas no Quadro 10.

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, o que não foi identificado na área de estudo.

Inter-relação da cavidade com caverna de relevância máxima

Este atributo contempla cavidades cujas áreas de influência se sobrepõem às de cavernas de máxima relevância. Estudos específicos para a definição da área de influência não foram realizados nas cavernas da Serra da Bocaina, em função disso, a análise se baseou no perímetro de proteção preliminar de 250 m. Ao todo, cento e trinta cavernas apresentaram interseção de seus perímetros de 250 m com o de cavernas de máxima relevância, a lista consta no Quadro 10.

Reconhecimento mundial ou nacional do valor estético ou cênico

As cavernas estudadas não apresentam esse tipo de reconhecimento.

Visitação pública sistemática

Nenhuma das cavernas estudadas apresentou visitação pública regular.

IMPORTÂNCIA ACENTUADA SOB ENFOQUE LOCAL

O Quadro 12 apresenta a síntese dos atributos analisados em termos de importância acentuada sob enfoque local.

QUADRO 12 - CLASSIFICAÇÃO DAS CAVERNAS DE IMPORTÂNCIA ACENTUADA SOB ENFOQUE LOCAL.

ART. 8º IMPORTÂNCIA ACENTUADA SOB ENFOQUE LOCAL	CAVIDADES
I - População residente de quirópteros	SB-0012, SB-0026, SB-0049, SB-0051, SB-0071, SB-0076, SB-0077, SB-0085, SB-0092, SB-0095, SB-0137, SB-0147, SB-0152, SB-0194, SB-0198, SB-0199, SB-0207, SB-0212, SB-0229
II - Constatação de uso da cavidade por aves silvestres como local de nidificação	SB-0007, SB-0010, SB-0011, SB-0013, SB-0017, SB-0025, SB-0029, SB-0032, SB-0035, SB-0045, SB-0046, SB-0061, SB-0077, SB-0082, SB-0084, SB-0098, SB-0120, SB-0122, SB-0136, SB-0137, SB-0145, SB-0165, SB-0170, SB-0175, SB-0185, SB-0192, SB-0201, SB-0203, SB-0206, SB-0207, SB-0209, SB-0210, SB-0213, SB-0215, SB-0222, SB-0227, SB-0228, SB-0231, SB-0238, SB-0241
III - Alta diversidade de substratos orgânicos	SB-0002, SB-0004, SB-0007, SB-0008, SB-0009, SB-0010, SB-0011, SB-0012, SB-0013, SB-0016, SB-0019, SB-0020, SB-0025, SB-0026, SB-0030, SB-0032, SB-0038, SB-0039, SB-0040, SB-0041, SB-0043, SB-0046, SB-0048, SB-0049, SB-0051, SB-0052, SB-0064, SB-0069, SB-0070, SB-0071, SB-0072, SB-0075, SB-0076, SB-0077, SB-0078, SB-0080, SB-0084, SB-0085, SB-0087, SB-0088, SB-0090, SB-0091, SB-0092, SB-0094, SB-0095, SB-0096, SB-0097, SB-0098, SB-0103, SB-0106, SB-0116, SB-0117, SB-0124, SB-0127, SB-0130, SB-0134, SB-0137, SB-0139, SB-0140, SB-0141, SB-0142, SB-0143, SB-0145, SB-0147, SB-0149, SB-0150, SB-0152, SB-0153, SB-0156, SB-0157, SB-0159, SB-0163, SB-0182, SB-0197, SB-0202, SB-0225, SB-0240
IV - Média riqueza de espécies	SB-0001, SB-0003, SB-0004, SB-0005, SB-0006, SB-0008, SB-0009, SB-0013, SB-0014, SB-0015, SB-0017, SB-0018, SB-0019, SB-0020, SB-0021, SB-0022, SB-0023, SB-0024, SB-0028, SB-0029, SB-0030, SB-0033, SB-0034, SB-0035, SB-0036, SB-0037, SB-0038, SB-0039, SB-0040, SB-0041, SB-0042, SB-0043, SB-0045, SB-0047, SB-0048, SB-0050, SB-0052, SB-0053, SB-0055, SB-0056, SB-0057, SB-0058, SB-0059, SB-0060, SB-0061, SB-0063, SB-0064, SB-0065, SB-0066, SB-0067, SB-0068, SB-0073, SB-0074, SB-0075, SB-0078, SB-0079, SB-0080, SB-0081, SB-0082, SB-0083, SB-0084, SB-0086, SB-0087, SB-0088, SB-0089, SB-0091, SB-0096, SB-0097, SB-0099, SB-0100, SB-0101, SB-0102, SB-0103, SB-0104, SB-0107, SB-0110, SB-0112, SB-0113, SB-0115, SB-0116, SB-0117, SB-0118, SB-0119, SB-0120, SB-0122, SB-0123, SB-0124, SB-0125, SB-0126, SB-0127, SB-0128, SB-0130, SB-0131, SB-0132, SB-0133, SB-0134, SB-0135, SB-0136, SB-0138, SB-0139, SB-0140, SB-0141, SB-0142, SB-0143, SB-0144, SB-0145, SB-0146, SB-0149, SB-0150, SB-0151, SB-0153, SB-0154, SB-0155, SB-0156, SB-0157, SB-0159, SB-0160, SB-0162, SB-0163, SB-0164, SB-0165, SB-0166, SB-0167, SB-0169, SB-0171, SB-0172, SB-0173, SB-0174, SB-0175, SB-0176,

	SB-0178, SB-0179, SB-0181, SB-0182, SB-0183, SB-0184, SB-0185, SB-0186, SB-0187, SB-0188, SB-0189, SB-0190, SB-0191, SB-0192, SB-0193, SB-0195, SB-0196, SB-0197, SB-0198, SB-0200, SB-0201, SB-0202, SB-0203, SB-0204, SB-0206, SB-0208, SB-0209, SB-0210, SB-0211, SB-0213, SB-0215, SB-0216, SB-0217, SB-0218, SB-0220, SB-0221, SB-0223, SB-0224, SB-0225, SB-0226, SB-0227, SB-0228, SB-0230, SB-0231, SB-0232, SB-0233, SB-0234, SB-0235, SB-0236, SB-0237, SB-0238, SB-0240, SB-0242, SB-0243, SB-0244
V - Média abundância relativa de espécies	SB-0001, SB-0002, SB-0003, SB-0004, SB-0010, SB-0012, SB-0013, SB-0020, SB-0022, SB-0025, SB-0027, SB-0030, SB-0032, SB-0037, SB-0038, SB-0039, SB-0041, SB-0045, SB-0046, SB-0047, SB-0048, SB-0050, SB-0051, SB-0052, SB-0054, SB-0057, SB-0059, SB-0061, SB-0064, SB-0065, SB-0067, SB-0069, SB-0070, SB-0071, SB-0077, SB-0081, SB-0086, SB-0087, SB-0088, SB-0089, SB-0090, SB-0092, SB-0097, SB-0098, SB-0099, SB-0101, SB-0102, SB-0106, SB-0110, SB-0112, SB-0115, SB-0122, SB-0123, SB-0124, SB-0125, SB-0129, SB-0131, SB-0134, SB-0135, SB-0140, SB-0143, SB-0145, SB-0149, SB-0154, SB-0156, SB-0159, SB-0163, SB-0164, SB-0167, SB-0171, SB-0176, SB-0177, SB-0180, SB-0181, SB-0183, SB-0184, SB-0187, SB-0190, SB-0191, SB-0192, SB-0195, SB-0197, SB-0198, SB-0200, SB-0203, SB-0209, SB-0215, SB-0218, SB-0222, SB-0226, SB-0227, SB-0228, SB-0230, SB-0231, SB-0232, SB-0233, SB-0234, SB-0237, SB-0239, SB-0241, SB-0243, SB-0244
VI - Constatação de uso da cavidade por espécies migratórias	-
VII - Presença de singularidade dos elementos faunísticos da cavidade sob enfoque local	-
VIII - Presença de estrutura geológica de interesse científico	SB-0007, SB-0035, SB-0042, SB-0049, SB-0051, SB-0073, SB-0081, SB-0083, SB-0085, SB-0087, SB-0088, SB-0099, SB-0140, SB-0152, SB-0163, SB-0166, SB-0168, SB-0178, SB-0179, SB-0183, SB-0186, SB-0198, SB-0207
IX - Presença de registros paleontológicos	SB-0001, SB-0017, SB-0087, SB-0090, SB-0091, SB-0113, SB-0115, SB-0134, SB-0140, SB-0141, SB-0199
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	SB-0001, SB-0002, SB-0003, SB-0004, SB-0005, SB-0007, SB-0009, SB-0010, SB-0011, SB-0012, SB-0013, SB-0014, SB-0015, SB-0017, SB-0018, SB-0019, SB-0020, SB-0021, SB-0022, SB-0024, SB-0025, SB-0026, SB-0029, SB-0030, SB-0031, SB-0032, SB-0033, SB-0034, SB-0035, SB-0036, SB-0039, SB-0040, SB-0041, SB-0042, SB-0043, SB-0045, SB-0046, SB-0047, SB-0048, SB-0049, SB-0050, SB-0051, SB-0052, SB-0053, SB-0054, SB-0057, SB-0059, SB-0060, SB-0061, SB-0063, SB-0064, SB-0065, SB-0066, SB-0067, SB-0068, SB-0069, SB-0070, SB-0071, SB-0072, SB-0073, SB-0074, SB-0075, SB-0076, SB-0077, SB-0078, SB-0079, SB-0080, SB-0081, SB-0082, SB-0083, SB-0084, SB-0085, SB-0086, SB-0087, SB-0088, SB-0089, SB-0090, SB-0091, SB-0094, SB-0095, SB-0096, SB-0097, SB-0098, SB-0101, SB-0102, SB-0103, SB-0106, SB-0107, SB-0110, SB-0112, SB-0113, SB-0114, SB-0115, SB-0116, SB-0117, SB-0118, SB-0119, SB-0120, SB-0122, SB-0124, SB-0125, SB-0126, SB-0127, SB-0128, SB-0129,

	SB-0130, SB-0131, SB-0132, SB-0133, SB-0134, SB-0135, SB-0136, SB-0137, SB-0138, SB-0139, SB-0140, SB-0141, SB-0142, SB-0143, SB-0145, SB-0147, SB-0149, SB-0150, SB-0152, SB-0155, SB-0156, SB-0159, SB-0160, SB-0161, SB-0162, SB-0164, SB-0166, SB-0167, SB-0168, SB-0169, SB-0171, SB-0172, SB-0173, SB-0177, SB-0179, SB-0180, SB-0181, SB-0184, SB-0185, SB-0186, SB-0187, SB-0192, SB-0193, SB-0195, SB-0197, SB-0198, SB-0199, SB-0200, SB-0202, SB-0203, SB-0204, SB-0207, SB-0208, SB-0209, SB-0212, SB-0214, SB-0217, SB-0218, SB-0228, SB-0233, SB-0239, SB-0240, SB-0241, SB-0244
XIII - Lago ou drenagem subterrânea intermitente com influência acentuada sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos deste artigo	SB-0005, SB-0010, SB-0011, SB-0012, SB-0023, SB-0025, SB-0034, SB-0035, SB-0036, SB-0041, SB-0045, SB-0053, SB-0060, SB-0061, SB-0063, SB-0071, SB-0073, SB-0095, SB-0101, SB-0106, SB-0107, SB-0114, SB-0115, SB-0117, SB-0120, SB-0122, SB-0135, SB-0137, SB-0138, SB-0139, SB-0140, SB-0159, SB-0181, SB-0197, SB-0199, SB-0244

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, correspondendo às cavidades: SB-0012, SB-0026, SB-0049, SB-0051, SB-0071, SB-0076, SB-0077, SB-0085, SB-0092, SB-0095, SB-0137, SB-0147, SB-0152, SB-0194, SB-0198, SB-0199, SB-0207, SB-0212 e SB-0229.

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

Ninhos vazios de aves foram encontrados nas cavidades SB-0007, SB-0010, SB-0011, SB-0017, SB-0025, SB-0029, SB-0035, SB-0045, SB-0046, SB-0061, SB-0077, SB-0082, SB-0084, SB-0098, SB-0120, SB-0122, SB-0136, SB-0137, SB-0145, SB-0165, SB-0170, SB-0175, SB-0185, SB-0192, SB-0201, SB-0203, SB-0206, SB-0207, SB-0209, SB-0210, SB-0213, SB-0215, SB-0222, SB-0227, SB-0228, SB-0231, SB-0238 e SB-0241. A presença de ninhos de aves foi considerada como indicativo de uso para nidificação de aves silvestres. Embora não tenha sido observado grande número 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 ovos e com filhotes indeterminados foram registrados nas cavidades SB-0013 e SB-0032.

Alta diversidade de substratos orgânicos

As cavidades mais diversificadas quanto aos substratos orgânicos (quatro ou mais recursos citados na IN) correspondem a: SB-0002, SB-0004, SB-0007, SB-0008, SB-0009, SB-0010, SB-0011, SB-0012, SB-0013, SB-0016, SB-0019, SB-0020, SB-0025, SB-0026, SB-0030, SB-0032, SB-0038, SB-0039, SB-0040, SB-0041, SB-0043, SB-0046, SB-0048, SB-0049, SB-0051, SB-0052, SB-0064, SB-0069, SB-0070, SB-0071, SB-0072, SB-0075, SB-0076, SB-0077, SB-0078, SB-0080, SB-0084, SB-0085, SB-0087, SB-0088, SB-0090, SB-0091, SB-0092, SB-0094, SB-0095, SB-0096, SB-0097, SB-0098, SB-0103, SB-0106, SB-0116, SB-0117, SB-0124, SB-0127, SB-0130, SB-0134, SB-0137, SB-0139, SB-0140, SB-0141, SB-0142, SB-0143, SB-0145, SB-0147, SB-0149, SB-0150, SB-0152, SB-0153, SB-0156, SB-0157, SB-0159, SB-0163, SB-0182, SB-0197, SB-0202, SB-0225 e SB-0240.

Média riqueza de espécies

Os valores de riqueza absoluta de espécies para as cavidades foram obtidos considerando o número de morfoespécies registrado em cada campanha de campo. A média da riqueza absoluta e respectivo desvio padrão ($32,87 \pm 20,73$ - estação seca; $31,76 \pm 21,50$ - estação úmida) foram utilizados como base para fim de classificação das riquezas das cavidades em alta, média e baixa. As cavidades com média riqueza de espécie foram: SB-0001, SB-0003, SB-0004, SB-0005, SB-0006, SB-0008, SB-0009, SB-0013, SB-0014, SB-0015, SB-0017, SB-0018, SB-0019, SB-0020, SB-0021, SB-0022, SB-0023, SB-0024, SB-0028, SB-0029, SB-0030, SB-0033, SB-0034, SB-0035, SB-0036, SB-0037, SB-0038, SB-0039, SB-0040, SB-0041, SB-0042, SB-0043, SB-0045, SB-0047, SB-0048, SB-0050, SB-0052, SB-0053, SB-0055, SB-0056, SB-0057, SB-0058, SB-0059, SB-0060, SB-0061, SB-0063, SB-0064, SB-0065, SB-0066, SB-0067, SB-0068, SB-0073, SB-0074, SB-0075, SB-0078, SB-0079, SB-0080, SB-0081, SB-0082, SB-0083, SB-0084, SB-0086, SB-0087, SB-0088, SB-0089, SB-0091, SB-0096, SB-0097, SB-0099, SB-0100, SB-0101, SB-0102, SB-0103, SB-0104, SB-0107, SB-0110, SB-0112, SB-0113, SB-0115, SB-0116, SB-0117, SB-0118, SB-0119, SB-0120, SB-0122, SB-0123, SB-0124, SB-0125, SB-0126, SB-0127, SB-0128, SB-0130, SB-0131, SB-0132, SB-0133, SB-0134, SB-0135, SB-0136, SB-0138, SB-0139, SB-0140, SB-0141, SB-0142, SB-0143, SB-0144, SB-0145, SB-0146, SB-0149, SB-0150, SB-0151, SB-0153, SB-0154, SB-0155, SB-0156, SB-0157, SB-0159, SB-0160, SB-0162, SB-0163, SB-0164, SB-0165, SB-0166, SB-0167, SB-0169, SB-0171, SB-0172, SB-0173, SB-0174, SB-0175, SB-0176, SB-0178, SB-0179, SB-0181, SB-0182, SB-0183, SB-0184, SB-0185, SB-0186, SB-0187, SB-0188, SB-0189, SB-0190, SB-0191, SB-0192, SB-0193, SB-0195, SB-0196, SB-0197, SB-0198, SB-0200, SB-0201, SB-0202, SB-0203, SB-0204, SB-0206, SB-0208, SB-0209, SB-0210, SB-0211, SB-0213, SB-0215, SB-0216, SB-0217, SB-0218, SB-0220, SB-0221, SB-0223, SB-0224, SB-0225, SB-0226, SB-0227, SB-0228, SB-0230, SB-0231, SB-0232, SB-0233, SB-0234, SB-0235, SB-0236, SB-0237, SB-0238, SB-0240, SB-0242, SB-0243 e SB-0244.

Média abundância relativa de espécies

As cavidades que apresentaram grau de relevância médio para este atributo (de 10 a 30% de espécies com abundância alta) são: SB-0001, SB-0002, SB-0003, SB-0004, SB-0010, SB-0012, SB-0013, SB-0020, SB-0022, SB-0025, SB-0027, SB-0030, SB-0032, SB-0037, SB-0038, SB-0039, SB-0041, SB-0045, SB-0046, SB-0047, SB-0048, SB-0050, SB-0051, SB-0052, SB-0054, SB-0057, SB-0059, SB-0061, SB-0064, SB-0065, SB-0067, SB-0069, SB-0070, SB-0071, SB-0077, SB-0081, SB-0086, SB-0087, SB-0088, SB-0089, SB-0090, SB-0092, SB-0097, SB-0098, SB-0099, SB-0101, SB-0102, SB-0106, SB-0110, SB-0112, SB-0115, SB-0122, SB-0123, SB-0124, SB-0125, SB-0129, SB-0131, SB-0134, SB-0135, SB-0140, SB-0143, SB-0145, SB-0149, SB-0154, SB-0156, SB-0159, SB-0163, SB-0164, SB-0167, SB-0171, SB-0176, SB-0177, SB-0180, SB-0181, SB-0183, SB-0184, SB-0187, SB-0190, SB-0191, SB-0192, SB-0195, SB-0197, SB-0198, SB-0200, SB-0203, SB-0209, SB-0215, SB-0218, SB-0222, SB-0226, SB-0227, SB-0228, SB-0230, SB-0231, SB-0232, SB-0233, SB-0234, SB-0237, SB-0239, SB-0241, SB-0243 e SB-0244.

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

Não foi observada nenhuma singularidade dos elementos faunísticos das cavidades analisadas quando comparadas com as outras presentes no mesmo enfoque local.

Presença de estrutura geológica de interesse científico

Estruturas na rocha matriz de importância científica, tais como contatos geológicos, registros de tectonismo, provável neotectonismo, estruturas do tipo *boxwork* e estruturas sedimentares provavelmente singenéticas foram registradas em 23 cavernas (Quadro 12). Entende-se que o estudo desse tipo de estrutura pode contribuir no entendimento da gênese e evolução de algumas cavidades.

Registros paleontológicos

Ranuras de provável origem biológica foram consideradas vestígios paleontológicos, tendo sido identificadas em 11 cavidades (Quadro 12).

Reconhecimento local do valor estético/cênico

Não há reconhecimento local do valor estético e/ou cênico das cavidades da Serra da Bocaina.

Visitação pública sistemática na cavidade, com abrangência local

Não ocorre visita pública, sistemática ou não, nas cavidades estudadas.

Água de percolação ou condensação com influência acentuada sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos deste artigo

Água de percolação ou condensação foram considerados como de influência acentuada sob enfoque local quando da ocorrência da configuração dos seguintes atributos relacionados no artigo 8 da IN 2: presença de estrutura geológica de interesse científico, presença de registros paleontológicos, reconhecimento local do valor estético/cênico da cavidade, visita pública sistemática, lago ou drenagem intermitente, população residente de quirópteros, média riqueza de espécies e média abundância relativa de espécies.

Embora não se saiba qual o grau de influência desses componentes hidrológicos nos atributos citados, a influência acentuada foi considerada como precaução. As cavernas com a presença desses componentes (águas de percolação ou condensação) e sua influência sobre os atributos citados constam no Quadro 12.

Lago ou drenagem intermitente com influência acentuada sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos deste artigo

Lago (poça) ou drenagem subterrânea intermitente foram considerados como de influência acentuada sob enfoque local quando da ocorrência da configuração dos seguintes atributos relacionados no artigo 8: presença de estrutura geológica de interesse científico; presença de registros paleontológicos; reconhecimento local do valor estético/cênico da cavidade e visita pública sistemática. As águas de percolação podem influenciar a presença do atributo, sendo listadas também neste inciso (Quadro 12).

IMPORTÂNCIA SIGNIFICATIVA SOB ENFOQUE LOCAL E REGIONAL

O Quadro 13 apresenta a síntese dos atributos analisados em termos de importância significativa sob os enfoques local e regional.

QUADRO 13 - CLASSIFICAÇÃO DAS CAVERNAS DE IMPORTÂNCIA SIGNIFICATIVA SOB ENFOQUES LOCAL E REGIONAL.

ART. 9º IMPORTÂNCIA SIGNIFICATIVA SOB ENFOQUE LOCAL E REGIONAL	CAVIDADES
I - Presença de singularidade dos elementos faunísticos sob enfoque regional	-

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

SB-0001, SB-0002, SB-0003, SB-0004, SB-0005, SB-0006, SB-0008, SB-0009, SB-0010, SB-0011, SB-0012, SB-0013, SB-0014, SB-0015, SB-0017, SB-0018, SB-0019, SB-0020, SB-0021, SB-0022, SB-0023, SB-0024, SB-0027, SB-0028, SB-0029, SB-0030, SB-0031, SB-0032, SB-0033, SB-0034, SB-0035, SB-0036, SB-0037, SB-0038, SB-0039, SB-0040, SB-0041, SB-0042, SB-0043, SB-0044, SB-0045, SB-0046, SB-0047, SB-0048, SB-0050, SB-0051, SB-0052, SB-0053, SB-0054, SB-0055, SB-0056, SB-0057, SB-0058, SB-0059, SB-0060, SB-0061, SB-0063, SB-0064, SB-0065, SB-0066, SB-0067, SB-0068, SB-0071, SB-0072, SB-0073, SB-0074, SB-0075, SB-0076, SB-0077, SB-0078, SB-0079, SB-0080, SB-0081, SB-0082, SB-0083, SB-0084, SB-0086, SB-0087, SB-0088, SB-0089, SB-0090, SB-0091, SB-0092, SB-0094, SB-0095, SB-0096, SB-0097, SB-0098, SB-0099, SB-0100, SB-0101, SB-0102, SB-0103, SB-0104, SB-0106, SB-0107, SB-0110, SB-0111, SB-0112, SB-0113, SB-0114, SB-0115, SB-0116, SB-0117, SB-0118, SB-0119, SB-0120, SB-0122, SB-0123, SB-0124, SB-0125, SB-0126, SB-0127, SB-0128, SB-0129, SB-0130, SB-0131, SB-0132, SB-0133, SB-0134, SB-0135, SB-0136, SB-0137, SB-0138, SB-0139, SB-0140, SB-0141, SB-0142, SB-0143, SB-0144, SB-0145, SB-0146, SB-0147, SB-0149, SB-0150, SB-0151, SB-0152, SB-0153, SB-0154, SB-0155, SB-0156, SB-0157, SB-0159, SB-0160, SB-0161, SB-0162, SB-0163, SB-0164, SB-0165, SB-0166, SB-0167, SB-0168, SB-0169, SB-0170, SB-0171, SB-0172, SB-0173, SB-0174, SB-0175, SB-0176, SB-0177, SB-0178, SB-0179, SB-0180, SB-0181, SB-0182, SB-0183, SB-0184, SB-0185, SB-0186, SB-0187, SB-0188, SB-0189, SB-0190, SB-0191, SB-0192, SB-0193, SB-0194, SB-0195, SB-0196, SB-0197, SB-0198, SB-0200, SB-0201, SB-0202, SB-0203, SB-0204, SB-0206, SB-0207, SB-0208, SB-0209, SB-0210, SB-0211, SB-0213, SB-0214, SB-0215, SB-0216, SB-0217, SB-0218, SB-0219, SB-0220, SB-0221, SB-0222, SB-0223, SB-0224, SB-0225, SB-0226, SB-0227, SB-0228, SB-0229, SB-0230, SB-0231, SB-0232, SB-0233, SB-0234, SB-0235, SB-0236, SB-0237, SB-0238, SB-0239, SB-0240, SB-0241, SB-0242, SB-0243, SB-0244

III - Média área da cavidade em relação às demais cavidades que se distribuem na mesma unidade espeleológica, conforme definido no § 3º do art. 14, desta Instrução Normativa

SB-0001, SB-0002, SB-0003, SB-0004, SB-0005, SB-0006, SB-0007, SB-0008, SB-0009, SB-0010, SB-0011, SB-0013, SB-0014, SB-0015, SB-0017, SB-0018, SB-0019, SB-0020, SB-0021, SB-0022, SB-0023, SB-0024, SB-0027, SB-0028, SB-0029, SB-0030, SB-0031, SB-0032, SB-0033, SB-0034, SB-0035, SB-0036, SB-0037, SB-0038, SB-0039, SB-0040, SB-0041, SB-0042, SB-0043, SB-0044, SB-0045, SB-0046, SB-0047, SB-0048, SB-0050, SB-0052, SB-0053, SB-0054, SB-0055, SB-0056, SB-0057, SB-0058, SB-0059, SB-0060, SB-0061, SB-0063, SB-0064, SB-0065, SB-0066, SB-0067, SB-0068, SB-0072, SB-0073, SB-0074, SB-0075, SB-0076, SB-0077, SB-0078, SB-0079, SB-0080, SB-0081, SB-0082, SB-0083, SB-0084, SB-0086, SB-0087, SB-0088, SB-0089, SB-0090, SB-0091, SB-0092, SB-0094, SB-0095, SB-0096, SB-0097, SB-0098, SB-0099, SB-0100, SB-0101, SB-0102, SB-0103, SB-0104, SB-0106, SB-0107, SB-0110,

	SB-0111, SB-0112, SB-0113, SB-0115, SB-0116, SB-0117, SB-0118, SB-0119, SB-0120, SB-0122, SB-0123, SB-0124, SB-0125, SB-0126, SB-0127, SB-0128, SB-0129, SB-0130, SB-0131, SB-0132, SB-0133, SB-0134, SB-0135, SB-0136, SB-0138, SB-0139, SB-0140, SB-0141, SB-0142, SB-0143, SB-0144, SB-0145, SB-0146, SB-0147, SB-0149, SB-0150, SB-0151, SB-0152, SB-0153, SB-0154, SB-0155, SB-0156, SB-0157, SB-0159, SB-0160, SB-0161, SB-0162, SB-0163, SB-0164, SB-0165, SB-0166, SB-0167, SB-0168, SB-0169, SB-0170, SB-0171, SB-0172, SB-0173, SB-0174, SB-0175, SB-0176, SB-0177, SB-0178, SB-0179, SB-0180, SB-0181, SB-0182, SB-0183, SB-0184, SB-0185, SB-0186, SB-0187, SB-0188, SB-0189, SB-0190, SB-0191, SB-0192, SB-0193, SB-0194, SB-0195, SB-0196, SB-0197, SB-0198, SB-0200, SB-0201, SB-0202, SB-0203, SB-0204, SB-0206, SB-0207, SB-0208, SB-0209, SB-0210, SB-0211, SB-0213, SB-0214, SB-0215, SB-0216, SB-0217, SB-0218, SB-0219, SB-0220, SB-0221, SB-0222, SB-0223, SB-0224, SB-0225, SB-0226, SB-0227, SB-0228, SB-0229, SB-0230, SB-0231, SB-0232, SB-0233, SB-0234, SB-0235, SB-0236, SB-0237, SB-0238, SB-0239, SB-0240, SB-0241, SB-0242, SB-0243, SB-0244
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	SB-0007, SB-0010, SB-0026, SB-0039, SB-0048, SB-0064, SB-0070, SB-0076, SB-0078, SB-0084, SB-0085, SB-0094, SB-0095, SB-0103, SB-0113, SB-0114, SB-0117, SB-0134, SB-0137, SB-0138, SB-0140, SB-0147, SB-0150, SB-0152, SB-0157, SB-0163, SB-0164, SB-0167, SB-0168, SB-0169, SB-0170, SB-0177, SB-0186, SB-0193, SB-0199, SB-0207, SB-0212, SB-0213, SB-0219, SB-0220, SB-0225, SB-0226, SB-0227, SB-0228, SB-0229, SB-0230, SB-0232, SB-0233, SB-0234, SB-0236, SB-0239, SB-0240, SB-0241
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	SB-0001, SB-0002, SB-0003, SB-0004, SB-0005, SB-0006, SB-0007, SB-0008, SB-0009, SB-0010, SB-0011, SB-0012, SB-0013, SB-0014, SB-0015, SB-0017, SB-0018, SB-0019, SB-0020, SB-0021, SB-0022, SB-0023, SB-0024, SB-0025, SB-0027, SB-0028, SB-0029, SB-0030, SB-0031, SB-0032, SB-0033, SB-0034, SB-0035, SB-0036, SB-0037, SB-0038, SB-0039, SB-0040, SB-0041, SB-0042, SB-0043, SB-0044, SB-0045, SB-0046, SB-0047, SB-0048, SB-0049, SB-0050, SB-0052, SB-0053, SB-0054, SB-0055, SB-0056, SB-0057, SB-0058, SB-0059, SB-0060, SB-0061, SB-0063, SB-0064, SB-0066, SB-0067, SB-0068, SB-0069, SB-0072, SB-0073, SB-0074, SB-0075, SB-0076, SB-0077, SB-0078, SB-0079, SB-0080, SB-0081, SB-0082, SB-0083, SB-0084, SB-0086, SB-0087, SB-0088, SB-0089, SB-0090, SB-0091, SB-0092, SB-0094, SB-0095, SB-0096, SB-0097, SB-0098, SB-0099, SB-0100, SB-0101, SB-0102, SB-0103, SB-0104, SB-0106, SB-0107, SB-0110, SB-0111, SB-0112, SB-0113, SB-0115, SB-0116, SB-0117, SB-0118, SB-0119, SB-0120, SB-0122, SB-0123, SB-0124, SB-0125, SB-0126, SB-0127, SB-0128, SB-0129, SB-0130, SB-0131, SB-0132, SB-0133, SB-0134, SB-0135, SB-0136, SB-0137, SB-0138, SB-0139, SB-0140, SB-0141, SB-0142, SB-0143, SB-0144, SB-0145, SB-0146, SB-0147, SB-0149, SB-0150,

	SB-0151, SB-0152, SB-0153, SB-0154, SB-0155, SB-0156, SB-0157, SB-0159, SB-0160, SB-0161, SB-0162, SB-0163, SB-0164, SB-0165, SB-0166, SB-0167, SB-0168, SB-0169, SB-0170, SB-0171, SB-0172, SB-0173, SB-0174, SB-0175, SB-0176, SB-0177, SB-0178, SB-0179, SB-0180, SB-0181, SB-0182, SB-0183, SB-0184, SB-0185, SB-0186, SB-0187, SB-0188, SB-0189, SB-0190, SB-0191, SB-0192, SB-0193, SB-0194, SB-0195, SB-0196, SB-0197, SB-0198, SB-0200, SB-0201, SB-0202, SB-0203, SB-0204, SB-0206, SB-0207, SB-0208, SB-0209, SB-0210, SB-0211, SB-0213, SB-0214, SB-0215, SB-0216, SB-0217, SB-0218, SB-0219, SB-0220, SB-0221, SB-0222, SB-0223, SB-0224, SB-0225, SB-0226, SB-0227, SB-0228, SB-0229, SB-0230, SB-0231, SB-0232, SB-0233, SB-0234, SB-0235, SB-0236, SB-0237, SB-0238, SB-0239, SB-0240, SB-0241, SB-0242, SB-0243, SB-0244
VI - Presença de estruturas espeleogenéticas raras	SB-0001, SB-0007, SB-0017, SB-0034, SB-0035, SB-0042, SB-0049, SB-0051, SB-0070, SB-0071, SB-0076, SB-0081, SB-0083, SB-0085, SB-0087, SB-0088, SB-0090, SB-0091, SB-0095, SB-0099, SB-0113, SB-0114, SB-0115, SB-0134, SB-0140, SB-0141, SB-0147, SB-0152, SB-0163, SB-0166, SB-0168, SB-0169, SB-0178, SB-0179, SB-0181, SB-0183, SB-0199, SB-0212, SB-0229, SB-0237, SB-0239
VII - Lago ou drenagem subterrânea intermitente com influência significativa sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos deste artigo	SB-0005, SB-0010, SB-0011, SB-0012, SB-0016, SB-0023, SB-0025, SB-0034, SB-0035, SB-0041, SB-0044, SB-0045, SB-0053, SB-0061, SB-0063, SB-0071, SB-0073, SB-0095, SB-0101, SB-0106, SB-0107, SB-0114, SB-0115, SB-0117, SB-0120, SB-0122, SB-0135, SB-0137, SB-0138, SB-0139, SB-0140, SB-0159, SB-0181, SB-0197, SB-0199, SB-0220, SB-0244
VIII - Diversidade da sedimentação química com muitos tipos de espeleotemas ou processos de deposição	SB-0001, SB-0002, SB-0003, SB-0004, SB-0005, SB-0006, SB-0007, SB-0008, SB-0009, SB-0010, SB-0011, SB-0012, SB-0013, SB-0014, SB-0015, SB-0016, SB-0017, SB-0018, SB-0019, SB-0020, SB-0021, SB-0022, SB-0023, SB-0024, SB-0025, SB-0026, SB-0029, SB-0032, SB-0033, SB-0034, SB-0035, SB-0037, SB-0038, SB-0039, SB-0040, SB-0041, SB-0042, SB-0043, SB-0044, SB-0045, SB-0046, SB-0047, SB-0048, SB-0049, SB-0050, SB-0051, SB-0052, SB-0053, SB-0054, SB-0055, SB-0056, SB-0057, SB-0059, SB-0061, SB-0063, SB-0064, SB-0065, SB-0066, SB-0067, SB-0068, SB-0069, SB-0070, SB-0071, SB-0072, SB-0073, SB-0074, SB-0075, SB-0076, SB-0077, SB-0078, SB-0079, SB-0080, SB-0081, SB-0083, SB-0084, SB-0085, SB-0086, SB-0087, SB-0088, SB-0089, SB-0090, SB-0091, SB-0095, SB-0096, SB-0097, SB-0098, SB-0099, SB-0101, SB-0102, SB-0103, SB-0104, SB-0106, SB-0107, SB-0110, SB-0111, SB-0112, SB-0113, SB-0114, SB-0115, SB-0116, SB-0117, SB-0118, SB-0119, SB-0120, SB-0122, SB-0123, SB-0124, SB-0125, SB-0126, SB-0127, SB-0128, SB-0129, SB-0130, SB-0131, SB-0132, SB-0133, SB-0134, SB-0135, SB-0136, SB-0137, SB-0138, SB-0139, SB-0140, SB-0141, SB-0142, SB-0143, SB-0144, SB-0145, SB-0146, SB-0147, SB-0149, SB-0150, SB-0151, SB-0152, SB-0153, SB-0154, SB-0155, SB-0156, SB-0157, SB-0159, SB-0160, SB-0161, SB-0162, SB-0163, SB-0164,

	SB-0165, SB-0166, SB-0168, SB-0170, SB-0171, SB-0172, SB-0173, SB-0174, SB-0175, SB-0176, SB-0177, SB-0178, SB-0179, SB-0180, SB-0181, SB-0182, SB-0183, SB-0184, SB-0185, SB-0186, SB-0187, SB-0188, SB-0189, SB-0190, SB-0191, SB-0192, SB-0193, SB-0194, SB-0195, SB-0196, SB-0197, SB-0198, SB-0199, SB-0200, SB-0201, SB-0202, SB-0203, SB-0204, SB-0206, SB-0207, SB-0208, SB-0209, SB-0210, SB-0211, SB-0212, SB-0213, SB-0214, SB-0215, SB-0216, SB-0217, SB-0218, SB-0219, SB-0220, SB-0221, SB-0222, SB-0223, SB-0224, SB-0225, SB-0226, SB-0227, SB-0228, SB-0229, SB-0230, SB-0231, SB-0232, SB-0233, SB-0234, SB-0235, SB-0236, SB-0237, SB-0238, SB-0239, SB-0240, SB-0241, SB-0242, SB-0243, SB-0244
IX - Sedimentação clástica ou química com valor científico	SB-0007, SB-0012, SB-0015, SB-0047, SB-0049, SB-0051, SB-0055, SB-0070, SB-0076, SB-0087, SB-0088, SB-0114, SB-0117, SB-0244
X - Reconhecimento regional do valor estético/cênico da cavidade	-
XI - Uso constante, periódico ou sistemático para fins educacionais, recreativos ou esportivos	-

Presença de singularidade dos elementos faunísticos da cavidade sob enfoque regional

Não foi observada nenhuma singularidade dos elementos faunísticos das cavidades analisadas quando comparadas com as outras presentes no mesmo enfoque regional.

Média projeção horizontal, média área e médio volume

As cavidades classificadas como de média relevância com base na projeção horizontal, área e volume possuem valores dimensionais situados entre a média subtraída do desvio padrão e a média somada ao desvio padrão $[(\mu - \sigma)$ e $(\mu + \sigma)]$. Devido a problemas estatísticos, os valores que se situam nestes intervalos podem abarcar números negativos (Tabela 12 (formação ferrífera/canga), na Tabela 13 (ferricrete) e Tabela 14 (máfica)). As cavernas classificadas nestes atributos são apresentadas no Quadro 13.

Alto desnível

Diz respeito às cavernas que apresentam desnível acima da média na escala regional, cujos valores de corte relativos a cada grupo litológico constam nas seguintes tabelas: Tabela 12 (formação ferrífera/canga), na Tabela 13 (ferricrete) e Tabela 14 (máfica). Cinqüenta e três cavernas apresentaram desnível acima dos valores de corte (Quadro 13).

Presença de estruturas espeleogenéticas raras

De acordo com o Anexo I da In 2/2009, devem ser consideradas estruturas espeleogenéticas: “Estruturas na rocha herdadas do processo de formação da cavidade (ex. *scallops*, *bell holes*, marmitas, meandros de teto, anastomoses pendentes, meios tubos, *boxwork* e assemelhados), padrões morfológicos ou seções geométricas, sob enfoque regional”.

Nas cavernas de Serra da Bocaina foram identificadas as seguintes estruturas, consideradas raras: *Boxwork*, marmitas, bolsões, biotúbulos, ranhuras (estes dois últimos de provável origem biológica). A presença destas estruturas foi registrada em 41 cavernas (Quadro 13).

Lago ou drenagem subterrânea intermitente com influência significativa sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos deste artigo

Lago (poça) ou drenagem subterrânea intermitente foram considerados como de influência significativa sob enfoque local e regional quando da ocorrência da configuração dos seguintes atributos relacionados no artigo 9: presença de estruturas espeleogenéticas raras, diversidade da sedimentação química com muitos tipos de espeleotemas ou processos de deposição; sedimentação clástica ou química com valor científico; reconhecimento regional do valor estético/cênico da cavidade, presença de singularidade dos elementos faunísticos quando a presença do táxon esteja associado ao corpo d`água.

Embora não se saiba qual o grau de influência desses componentes hidrológicos nos atributos citados, a influência significativa foi considerada como precaução. As cavernas classificadas neste inciso constam no Quadro 13.

Diversidade da sedimentação química

Diz respeito a cavernas que apresentam muitos tipos de espeleotemas ou processos de deposição. Como mencionado anteriormente, são registrados três tipos de processos de deposição química na região de Carajás:

- Depósitos de Águas Circulantes – são espeleotemas depositados através de águas meteóricas que se infiltram verticalmente a partir da superfície ou fluem pelo interior da cavidade. Entre os exemplos existentes em escala regional estão crosta ferruginosa; crosta fosfática; escorrimento; estalactite; cortina; pingente; estalagmite; travertino e coluna.
- Depósitos de Águas de Exsudação – são formados por soluções hídricas que ocorrem na porosidade (tanto primária quanto secundária) da rocha e exsudam (suam) para a superfície, gerando formas que não dependem de gotejamentos ou infiltração de água. Na escala regional estão os coraloides e alguns tipos de crostas, tais como crostas brancas e crostas negras (possivelmente manganesíferas).
- Depósitos de Águas Estagnadas – formados em bacias no piso ou sobre patamares e palepisos onde há acúmulo intermitente de água. A evaporação propicia a precipitação dos minerais contidos na água, formando os espeleotemas. Exemplos deste tipo na escala regional são as crostas de óxido-hidróxido de ferro, que podem dar origem a formas denominadas “bateias” identificadas em algumas cavernas de Serra Norte, e as crostas fosfáticas. Note que estes tipos de crosta podem também se formar por águas circulantes.

Como referencial para classificação dos espeleotemas, utilizou-se o trabalho de Guimarães (1966). Através da contabilização dos espeleotemas presentes nas cavernas, a amostra foi dividida em poucos ou muitos tipos, sendo: menos de 50% dos tipos considerado pouco e, a partir de 50% dos tipos, considerado muito. Nas cavernas de Serra da Bocaina e região de Carajás, foram identificados pelo menos 12 tipos de espeleotemas: crosta ferruginosa (óxido-hidróxido de ferro), crosta fosfática (águas circulantes e estagnadas); escorrimento, estalactite, cortina, pingente, estalagmite, travertino e coluna (águas circulantes) e; crostas brancas, coralóides e crostas negras (águas de exsudação). Aplicado o método de Guimarães (1966), acima de seis tipos de espeleotemas ou na presença de dois ou mais tipos de processo de deposição configura-se o atributo “muitos tipos de espeleotemas ou processos de deposição”.

Desse modo, considerando a amostra estudada, à exceção das cavernas SB-0027, SB-0028, SB-0030, SB-0031, SB-0036, SB-0058, SB-0060, SB-0082, SB-0092, SB-0094, SB-0100, SB-0167 e SB-0169, todas as demais foram classificadas com o atributo por apresentarem muitos tipos de processo de deposição.

Sedimentação clástica ou química com valor científico

Espeleotemas cuja deposição apresenta destacado valor científico foram observados nas cavernas SB-0007, SB-0012, SB-0015, SB-0047, SB-0049, SB-0051, SB-0055, SB-0070, SB-0076, SB-0087, SB-0088, SB-0114, SB-0117 e SB-0244.

Reconhecimento regional do valor estético e cênico

Nenhuma das cavidades de Bocaina é reconhecida 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 de Bocaina.

IMPORTÂNCIA SIGNIFICATIVA SOB ENFOQUE LOCAL

Os atributos adicionais que conferem importância significativa sob a ótica do enfoque local são apresentados no Quadro 14.

QUADRO 14 - CLASSIFICAÇÃO DAS CAVERNAS DE IMPORTÂNCIA SIGNIFICATIVA SOB ENFOQUE LOCAL.

ART. 10º IMPORTÂNCIA SIGNIFICATIVA SOB ENFOQUE LOCAL	CAVIDADES
I - Baixa diversidade de substratos orgânicos	SB-0001, SB-0003, SB-0005, SB-0006, SB-0014, SB-0015, SB-0017, SB-0018, SB-0021, SB-0022, SB-0023, SB-0024, SB-0027, SB-0028, SB-0029, SB-0031, SB-0033, SB-0034, SB-0035, SB-0036, SB-0037, SB-0042, SB-0044, SB-0045, SB-0047, SB-0050, SB-0053, SB-0054, SB-0055, SB-0056, SB-0057, SB-0058, SB-0059, SB-0060, SB-0061, SB-0063, SB-0065, SB-0066, SB-0067, SB-0068, SB-0073, SB-0074, SB-0079, SB-0081, SB-0082, SB-0083, SB-0086, SB-0089, SB-0099, SB-0100, SB-0101, SB-0102, SB-0104, SB-0107, SB-0110, SB-0111, SB-0112, SB-0244, SB-0113, SB-0114, SB-0115, SB-0118, SB-0119, SB-0120, SB-0122, SB-0123, SB-0125, SB-0126, SB-0128, SB-0129, SB-0131, SB-0132, SB-0133, SB-0135, SB-0136, SB-0138, SB-0144, SB-0146, SB-0151, SB-0154, SB-0155, SB-0160, SB-0161, SB-0162, SB-0164, SB-0165, SB-0166, SB-0167, SB-0168, SB-0169, SB-0170, SB-0171, SB-0172, SB-0173, SB-0174, SB-0175, SB-0176, SB-0177, SB-0178, SB-0179, SB-0180, SB-0181, SB-0183, SB-0184, SB-0185, SB-0186, SB-0187, SB-0188, SB-0189, SB-0190, SB-0191, SB-0192, SB-0193, SB-0194, SB-0195, SB-0196, SB-0198, SB-0199, SB-0200, SB-0201, SB-0203, SB-0204, SB-0206, SB-0207, SB-0208, SB-0209, SB-0210, SB-0211, SB-0212, SB-0213, SB-0214, SB-0215, SB-0216, SB-0217, SB-0218, SB-0219, SB-0220, SB-0221, SB-0222, SB-0223, SB-0224, SB-0226, SB-0227, SB-0228, SB-0229, SB-0230, SB-0231, SB-0232, SB-0233, SB-0234, SB-0235, SB-0236, SB-0237, SB-0238, SB-0239, SB-0241, SB-0242, SB-0243.
II - Baixa riqueza de espécies	SB-0027, SB-0044, SB-0111 e SB-0180.
III - Baixa abundância relativa de espécies	SB-0006, SB-0009, SB-0011, SB-0014, SB-0015, SB-0017, SB-0018, SB-0019, SB-0021, SB-0024, SB-0028, SB-0029, SB-0036, SB-0040, SB-0044, SB-0055, SB-0058, SB-0060, SB-0074, SB-0078, SB-0079, SB-0080, SB-0082, SB-0083, SB-0084, SB-0091, SB-0103, SB-0104, SB-0107, SB-0113, SB-0118, SB-0119, SB-0130, SB-0132, SB-0133, SB-0138, SB-0144, SB-0146, SB-0166, SB-0179, SB-0201, SB-0202, SB-0204, SB-0208, SB-0216, SB-0220, SB-0223 e SB-0238.

<p>IV - Presença de singularidade dos elementos faunísticos sob enfoque local</p>	<p>-</p>
<p>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;</p>	<p>SB-0001, SB-0002, SB-0003, SB-0004, SB-0005, SB-0006, SB-0008, SB-0009, SB-0010, SB-0011, SB-0013, SB-0014, SB-0015, SB-0017, SB-0018, SB-0019, SB-0020, SB-0021, SB-0022, SB-0023, SB-0024, SB-0027, SB-0028, SB-0029, SB-0030, SB-0031, SB-0032, SB-0033, SB-0034, SB-0035, SB-0036, SB-0037, SB-0038, SB-0039, SB-0040, SB-0041, SB-0042, SB-0043, SB-0044, SB-0045, SB-0047, SB-0048, SB-0050, SB-0052, SB-0053, SB-0054, SB-0055, SB-0056, SB-0057, SB-0058, SB-0059, SB-0060, SB-0061, SB-0063, SB-0064, SB-0065, SB-0066, SB-0067, SB-0068, SB-0071, SB-0072, SB-0073, SB-0074, SB-0075, SB-0077, SB-0078, SB-0079, SB-0080, SB-0081, SB-0082, SB-0083, SB-0084, SB-0086, SB-0087, SB-0088, SB-0089, SB-0091, SB-0092, SB-0095, SB-0096, SB-0097, SB-0098, SB-0099, SB-0100, SB-0101, SB-0102, SB-0103, SB-0104, SB-0106, SB-0107, SB-0110, SB-0111, SB-0112, SB-0113, SB-0115, SB-0116, SB-0117, SB-0118, SB-0119, SB-0120, SB-0122, SB-0123, SB-0124, SB-0125, SB-0126, SB-0127, SB-0128, SB-0129, SB-0130, SB-0131, SB-0132, SB-0133, SB-0134, SB-0135, SB-0136, SB-0137, SB-0139, SB-0140, SB-0141, SB-0142, SB-0143, SB-0144, SB-0145, SB-0146, SB-0149, SB-0150, SB-0151, SB-0152, SB-0153, SB-0154, SB-0155, SB-0156, SB-0157, SB-0159, SB-0160, SB-0161, SB-0162, SB-0163, SB-0164, SB-0165, SB-0166, SB-0167, SB-0170, SB-0171, SB-0172, SB-0173, SB-0174, SB-0175, SB-0176, SB-0177, SB-0178, SB-0179, SB-0180, SB-0181, SB-0182, SB-0183, SB-0184, SB-0185, SB-0186, SB-0187, SB-0188, SB-0189, SB-0190, SB-0191, SB-0192, SB-0193, SB-0194, SB-0195, SB-0196, SB-0197, SB-0198, SB-0200, SB-0201, SB-0202, SB-0203, SB-0204, SB-0206, SB-0207, SB-0208, SB-0209, SB-0210, SB-0211, SB-0213, SB-0214, SB-0215, SB-0216, SB-0217, SB-0218, SB-0220, SB-0221, SB-0222, SB-0223, SB-0224, SB-0225, SB-0226, SB-0227, SB-0228, SB-0230, SB-0231, SB-0232, SB-0233, SB-0234, SB-0235, SB-0236, SB-0237, SB-0238, SB-0240, SB-0241, SB-0242, SB-0243, SB-0244</p>
<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>	<p>SB-0001, SB-0002, SB-0003, SB-0004, SB-0005, SB-0006, SB-0008, SB-0009, SB-0010, SB-0011, SB-0013, SB-0014, SB-0015, SB-0017, SB-0018, SB-0019, SB-0020, SB-0021, SB-0022, SB-0023, SB-0024, SB-0027, SB-0028, SB-0029, SB-0030, SB-0031, SB-0032, SB-0033, SB-0034, SB-0035, SB-0036, SB-0037, SB-0038, SB-0039, SB-0040, SB-0041, SB-0042, SB-0043, SB-0044, SB-0045, SB-0046, SB-0047, SB-0048, SB-0050, SB-0052, SB-0053, SB-0054, SB-0055, SB-0056, SB-0057, SB-0058, SB-0059, SB-0060, SB-0061, SB-0063, SB-0064, SB-0065, SB-0066, SB-0067, SB-0068, SB-0072, SB-0073, SB-0074, SB-0075, SB-0077, SB-0078, SB-0079, SB-0080, SB-0081, SB-0082, SB-0083, SB-0084, SB-0086, SB-0087, SB-0088, SB-0089, SB-0090, SB-0091, SB-0092, SB-0094, SB-0096, SB-0097, SB-0098, SB-0099, SB-0100,</p>

	SB-0101, SB-0102, SB-0103, SB-0104, SB-0106, SB-0107, SB-0110, SB-0111, SB-0112, SB-0113, SB-0115, SB-0116, SB-0117, SB-0118, SB-0119, SB-0120, SB-0122, SB-0123, SB-0124, SB-0125, SB-0126, SB-0127, SB-0128, SB-0129, SB-0130, SB-0131, SB-0132, SB-0133, SB-0134, SB-0135, SB-0136, SB-0138, SB-0139, SB-0140, SB-0141, SB-0142, SB-0143, SB-0144, SB-0145, SB-0146, SB-0149, SB-0150, SB-0151, SB-0153, SB-0154, SB-0155, SB-0156, SB-0157, SB-0159, SB-0160, SB-0161, SB-0162, SB-0163, SB-0164, SB-0165, SB-0166, SB-0167, SB-0169, SB-0170, SB-0171, SB-0172, SB-0173, SB-0174, SB-0175, SB-0176, SB-0177, SB-0178, SB-0179, SB-0180, SB-0181, SB-0182, SB-0183, SB-0184, SB-0185, SB-0186, SB-0187, SB-0188, SB-0189, SB-0190, SB-0191, SB-0192, SB-0193, SB-0194, SB-0195, SB-0196, SB-0197, SB-0198, SB-0200, SB-0201, SB-0202, SB-0203, SB-0204, SB-0206, SB-0207, SB-0208, SB-0209, SB-0210, SB-0211, SB-0213, SB-0214, SB-0215, SB-0216, SB-0217, SB-0218, SB-0219, SB-0220, SB-0221, SB-0222, SB-0223, SB-0224, SB-0225, SB-0226, SB-0227, SB-0228, SB-0230, SB-0231, SB-0232, SB-0234, SB-0235, SB-0236, SB-0237, SB-0238, SB-0239, SB-0240, SB-0241, SB-0242, SB-0243, SB-0244
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;	SB-0007, SB-0010, SB-0011, SB-0016, SB-0020, SB-0023, SB-0025, SB-0026, SB-0039, SB-0043, SB-0045, SB-0046, SB-0048, SB-0050, SB-0064, SB-0070, SB-0071, SB-0076, SB-0077, SB-0078, SB-0083, SB-0084, SB-0085, SB-0089, SB-0094, SB-0095, SB-0103, SB-0104, SB-0106, SB-0107, SB-0112, SB-0113, SB-0114, SB-0117, SB-0127, SB-0128, SB-0129, SB-0130, SB-0134, SB-0137, SB-0138, SB-0139, SB-0140, SB-0147, SB-0150, SB-0152, SB-0157, SB-0163, SB-0164, SB-0167, SB-0168, SB-0169, SB-0170, SB-0171, SB-0174, SB-0177, SB-0181, SB-0184, SB-0186, SB-0190, SB-0193, SB-0194, SB-0198, SB-0199, SB-0207, SB-0209, SB-0212, SB-0213, SB-0219, SB-0220, SB-0225, SB-0226, SB-0227, SB-0228, SB-0229, SB-0230, SB-0232, SB-0233, SB-0234, SB-0236, SB-0239, SB-0240, SB-0241
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;	SB-0001, SB-0002, SB-0003, SB-0004, SB-0005, SB-0006, SB-0008, SB-0009, SB-0010, SB-0011, SB-0013, SB-0014, SB-0015, SB-0017, SB-0018, SB-0019, SB-0020, SB-0021, SB-0022, SB-0023, SB-0024, SB-0027, SB-0028, SB-0029, SB-0030, SB-0031, SB-0032, SB-0033, SB-0034, SB-0035, SB-0036, SB-0037, SB-0038, SB-0039, SB-0040, SB-0041, SB-0042, SB-0043, SB-0044, SB-0047, SB-0048, SB-0050, SB-0052, SB-0053, SB-0054, SB-0055, SB-0056, SB-0057, SB-0058, SB-0059, SB-0060, SB-0061, SB-0063, SB-0064, SB-0066, SB-0067, SB-0068, SB-0073, SB-0074, SB-0075, SB-0077, SB-0078, SB-0079, SB-0080, SB-0081, SB-0082, SB-0083, SB-0084, SB-0086, SB-0087, SB-0088, SB-0089, SB-0090, SB-0091, SB-0092, SB-0096, SB-0097, SB-0098, SB-0099, SB-0100, SB-0101, SB-0102, SB-0103, SB-0104, SB-0106, SB-0107, SB-0110, SB-0111, SB-0112, SB-0113, SB-0115, SB-0116, SB-0117, SB-0118, SB-0119, SB-0120, SB-0122, SB-0123, SB-0124, SB-0125, SB-0126, SB-0127, SB-0128, SB-0129, SB-0130,

	SB-0131, SB-0132, SB-0133, SB-0134, SB-0135, SB-0136, SB-0137, SB-0138, SB-0139, SB-0141, SB-0142, SB-0143, SB-0144, SB-0145, SB-0146, SB-0149, SB-0151, SB-0153, SB-0154, SB-0155, SB-0156, SB-0157, SB-0159, SB-0160, SB-0161, SB-0162, SB-0163, SB-0164, SB-0165, SB-0166, SB-0167, SB-0170, SB-0171, SB-0172, SB-0173, SB-0174, SB-0175, SB-0176, SB-0178, SB-0179, SB-0180, SB-0181, SB-0182, SB-0183, SB-0184, SB-0185, SB-0186, SB-0187, SB-0188, SB-0189, SB-0190, SB-0191, SB-0192, SB-0193, SB-0194, SB-0195, SB-0196, SB-0197, SB-0198, SB-0200, SB-0201, SB-0202, SB-0203, SB-0204, SB-0206, SB-0207, SB-0208, SB-0209, SB-0210, SB-0211, SB-0213, SB-0214, SB-0215, SB-0216, SB-0217, SB-0218, SB-0219, SB-0220, SB-0221, SB-0222, SB-0223, SB-0224, SB-0225, SB-0226, SB-0227, SB-0228, SB-0230, SB-0231, SB-0232, SB-0234, SB-0235, SB-0236, SB-0237, SB-0238, SB-0239, SB-0240, SB-0241, SB-0242, SB-0243, SB-0244
IX - Poucos tipos de espeleotemas e processos de deposição em termos de diversidade de sedimentação química;	SB-0027, SB-0028, SB-0030, SB-0031, SB-0036, SB-0058, SB-0060, SB-0082, SB-0092, SB-0094, SB-0100, SB-0167, SB-0169
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	SB-0009, SB-0011, SB-0014, SB-0015, SB-0017, SB-0018, SB-0019, SB-0021, SB-0024, SB-0029, SB-0030, SB-0031, SB-0036, SB-0040, SB-0060, SB-0074, SB-0078, SB-0079, SB-0080, SB-0082, SB-0083, SB-0084, SB-0091, SB-0094, SB-0103, SB-0107, SB-0113, SB-0118, SB-0119, SB-0130, SB-0132, SB-0133, SB-0138, SB-0166, SB-0167, SB-0169, SB-0179, SB-0180, SB-0202, SB-0204, SB-0208
XIII - Lago ou drenagem subterrânea intermitente com influência sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos deste artigo.	SB-0011, SB-0036, SB-0060, SB-0107, SB-0138, SB-0220,

Baixa diversidade de substratos orgânicos

As cavidades menos diversificadas quanto aos substratos orgânicos (menos de quatro tipos citados na IN) foram: SB-0001, SB-0003, SB-0005, SB-0006, SB-0014, SB-0015, SB-0017, SB-0018, SB-0021, SB-0022, SB-0023, SB-0024, SB-0027, SB-0028, SB-0029, SB-0031, SB-0033, SB-0034, SB-0035, SB-0036, SB-0037, SB-0042, SB-0044, SB-0045, SB-0047, SB-0050, SB-0053, SB-0054, SB-0055, SB-0056, SB-0057, SB-0058, SB-0059, SB-0060, SB-0061, SB-0063, SB-0065, SB-0066, SB-0067, SB-0068, SB-0073, SB-0074, SB-0079, SB-0081, SB-0082, SB-0083, SB-0086, SB-0089, SB-0099, SB-0100, SB-0101, SB-0102, SB-0104, SB-0107, SB-0110, SB-0111, SB-0112, SB-0244, SB-0113, SB-0114, SB-0115, SB-0118, SB-0119, SB-0120, SB-0122, SB-0123, SB-0125, SB-0126, SB-0128, SB-0129, SB-0131, SB-0132, SB-0133, SB-0135, SB-0136, SB-0138, SB-0144, SB-0146, SB-0151, SB-0154, SB-0155, SB-0160, SB-0161, SB-0162, SB-0164, SB-0165, SB-0166, SB-0167, SB-0168, SB-0169, SB-0170, SB-0171, SB-0172, SB-0173, SB-0174, SB-0175, SB-0176, SB-0177, SB-0178, SB-0179, SB-0180, SB-0181, SB-0183, SB-0184, SB-0185, SB-0186, SB-0187, SB-0188, SB-0189, SB-0190, SB-0191, SB-0192, SB-0193, SB-0194, SB-0195, SB-0196, SB-0198, SB-0199, SB-0200, SB-0201, SB-0203, SB-0204, SB-0206, SB-0207, SB-0208, SB-0209, SB-0210, SB-0211, SB-0212, SB-0213, SB-0214, SB-0215, SB-0216, SB-0217, SB-0218, SB-0219, SB-0220, SB-0221, SB-0222, SB-0223, SB-

0224, SB-0226, SB-0227, SB-0228, SB-0229, SB-0230, SB-0231, SB-0232, SB-0233, SB-0234, SB-0235, SB-0236, SB-0237, SB-0238, SB-0239, SB-0241, SB-0242, SB-0243.

Baixa riqueza de espécies

Os valores de riqueza absoluta de espécies para as cavidades foram obtidos considerando o número de morfoespécies registrado em cada campanha de campo. A média da riqueza absoluta e respectivo desvio padrão ($32,87 \pm 20,73$ - estação seca; $31,76 \pm 21,50$ - estação úmida) foram utilizados como base para fim de classificação das riquezas das cavidades em alta, média e baixa. As cavidades com baixa riqueza de espécie foram: SB-0027, SB-0044, SB-0111 e SB-0180.

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: SB-0006, SB-0009, SB-0011, SB-0014, SB-0015, SB-0017, SB-0018, SB-0019, SB-0021, SB-0024, SB-0028, SB-0029, SB-0036, SB-0040, SB-0044, SB-0055, SB-0058, SB-0060, SB-0074, SB-0078, SB-0079, SB-0080, SB-0082, SB-0083, SB-0084, SB-0091, SB-0103, SB-0104, SB-0107, SB-0113, SB-0118, SB-0119, SB-0130, SB-0132, SB-0133, SB-0138, SB-0144, SB-0146, SB-0166, SB-0179, SB-0201, SB-0202, SB-0204, SB-0208, SB-0216, SB-0220, SB-0223 e SB-0238.

Presença de singularidade dos elementos faunísticos sob enfoque local

Não foi observada nenhuma singularidade dos elementos faunísticos das cavidades analisadas quando comparadas com as outras presentes no mesmo enfoque local.

Média projeção horizontal, média área e médio volume

Os valores dimensionais utilizados para a classificação de cavidades de média relevância em escala local estão situados entre a média subtraída do desvio padrão e a média somada ao desvio padrão [$(\mu - \sigma)$ e $(\mu + \sigma)$], a partir da amostra em escala local de análise (Tabela 15, Tabela 16 e Tabela 17). As cavidades classificadas que se enquadraram neste atributo constam no Quadro 14.

TABELA 15 - VALORES ESPELEOMÉTRICOS SOB O ENFOQUE LOCAL PARA CAVERNAS NA FORMAÇÃO FERRÍFERA/CANGA.

No. cavernas:	123	PH	Desnível	Área	Volume
Média		25,3	2,3	111,1	178,0
Desvio Padrão		30,2		154,1	230,0
Alto ($> \mu + \sigma$)		55,5	$> 2,3$	265,1	408,0
Médio - Intervalo entre $(\mu - \sigma)$ e $(\mu + \sigma)$	-4,8 e 55,5			-43,0 e 265,1	-52,0 e 408,0
Baixo ($< \mu - \sigma$)		-4,8	$< 2,3$	-43,0	-52,0

* valores negativos são resultantes de problema estatístico da metodologia

TABELA 16 - VALORES ESPELEOMÉTRICOS SOB O ENFOQUE LOCAL PARA CAVERNAS EM FERRICRETE.

No. cavernas:	102	PH	Desnível	Área	Volume
Média		24,9	1,7	95,9	115,9
Desvio Padrão		28,2		128,1	145,6
Alto ($> \mu + \sigma$)		53,1	$> 1,7$	224,0	261,5
Médio - Intervalo entre $(\mu - \sigma)$ e $(\mu + \sigma)$	-3,3 e 53,1			-32,2 e 224,0	-29,8 e 261,5
Baixo ($< \mu - \sigma$)		-3,3	$< 1,7$	-32,2	-29,8

* valores negativos são resultantes de problema estatístico da metodologia

TABELA 17 - VALORES ESPELEOMÉTRICOS SOB O ENFOQUE LOCAL PARA CAVERNAS EM MÁFICA.

No. cavernas:	10	PH	Desnível	Área	Volume
Média		22,1	2,4	82,8	164,9
Desvio Padrão		30,5		134,0	335,6
Alto ($> \mu + \sigma$)		52,6	$> 2,4$	216,7	500,5

Médio - Intervalo entre ($\mu - \sigma$) e ($\mu + \sigma$)	-8,5 e 52,6	-51,2 e 216,7	-170,7 e 500,5
Baixo ($< \mu - \sigma$)	-8,5	< 2,4	-51,2 -170,7

* valores negativos são resultantes de problema estatístico da metodologia

Alto desnível

Para cavidades na formação ferrífera, os valores acima de 2,3 m (média local de desnível) são considerados alto desnível. Para cavidades em ferricrete o valor de corte é de 1,7 m, enquanto que para cavernas em máfica o valor é 2,4 m. As cavidades que se enquadram neste atributo contam no Quadro 14.

Poucos tipos de espeleotemas e processos de deposição

As cavernas que apresentaram poucos tipos de espeleotemas e processos de deposição, com base nos critérios anteriormente descritos foram: SB-0027, SB-0028, SB-0030, SB-0031, SB-0036, SB-0058, SB-0060, SB-0082, SB-0092, SB-0094, SB-0100, SB-0167 e SB-0169.

Uso ou visitação esporádica ou casual

Não foi constatado uso ou visitação esporádica ou casual nas cavidades analisadas.

Presença de água de percolação ou condensação com influência sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos deste artigo

Água de percolação ou condensação foram considerados como de influência significativa sob enfoque local quando da ocorrência da configuração dos seguintes atributos relacionados no artigo 10: poucos tipos de espeleotemas, uso esporádico para fins educacionais e visitação pública, baixa riqueza de espécies, baixa abundância relativa de espécies, presença de singularidade dos elementos faunísticos quando a presença do táxon esteja associado ao corpo d`água e lago ou drenagem subterrânea intermitente com influência sobre atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos do artigo .

Embora não se saiba qual o grau de influência desses componentes hidrológicos nos atributos citados, a influência significativa sobre os poucos tipos de espeleotemas foi considerada como precaução. As cavernas com a presença desses componentes e sua influência sobre os atributos citados são apresentadas no Quadro 14.

Lago ou drenagem subterrânea intermitente com influência sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos deste artigo

Lago (poça) ou drenagem subterrânea intermitente foram considerados como de influência significativa sob enfoque local quando da ocorrência da configuração dos seguintes atributos relacionados no artigo 10: poucos tipos de espeleotemas, baixa riqueza de espécies, baixa abundância relativa de espécies, presença de singularidade dos elementos faunísticos quando a presença do táxon esteja associado ao corpo d`água e água de percolação ou condensação com influência sobre os atributos da cavidade que tenham as configurações relacionadas nos incisos do artigo.

Embora não se saiba qual o grau de influência desses componentes hidrológicos nos atributos biológicos citados, a influência significativa foi considerada como precaução. A lista de cavidades que apresentaram este atributo consta no Quadro 14.

CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A RELEVÂNCIA DAS CAVIDADES E A COMPENSAÇÃO DAS CAVERNAS DO PROJETO S11D NA SERRA DA BOCAINA

Do total de 235 cavidades estudadas na Serra da Bocaina, considerando os atributos físicos/histórico-culturais e biológicos, 108 cavernas foram classificadas como de relevância máxima, representando 46% do total. Cento e vinte e sete cavernas (54%) receberam o grau de relevância alto. Nenhuma caverna obteve o grau de relevância médio. O resumo da classificação do grau de relevância das cavidades da Serra da Bocaina encontra-se na Figura 115.

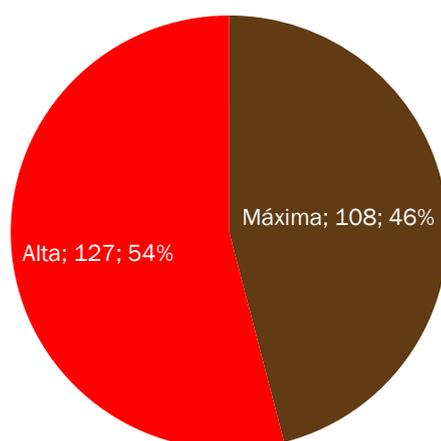


FIGURA 115 - DISTRIBUIÇÃO DA RELEVÂNCIA FINAL DAS CAVERNAS DA SERRA DA BOCAINA.

O Quadro 15 apresenta a síntese dos graus de relevância e dos atributos classificatórios para análise dos atributos físicos e biológicos. A distribuição das cavernas e seus respectivos raios de proteção encontra-se no Anexo VII.

QUADRO 15 - GRAUS DE RELEVÂNCIA DAS CAVIDADES DE BOCAINA E ATRIBUTOS CLASSIFICATÓRIOS.

CAVERNA	SINÓNÍMIA	ATRIBUTOS FÍSICOS CLASSIFICATÓRIOS	ATRIBUTOS BIOLÓGICOS CLASSIFICATÓRIOS	RELEVÂNCIA FINAL
SB-0001	GEM-1252	Estr. espeleog. Rara/Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0002	GEM-1342	Cavidade testemunho	Alta riqueza de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0003	GEM-1344	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0004	GEM-1378	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0005	GEM-1410	Cavidade testemunho	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0006	GEM-1417	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0007	GEM-1418	Cavidade testemunho	Troglóbio endêmico/raro	MÁXIMA
SB-0008	GEM-1419	Cavidade testemunho	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0009	GEM-1420	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0010	GEM-1421	Cavidade testemunho	Alta riqueza de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA

SB-0011	GEM-1422	Cavidade testemunho	Alta riqueza de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0012	GEM-1423	Alta área/Divers. Sedim. Química/Conf. notável espeleotemas/Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico	MÁXIMA
SB-0013	GEM-1424	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0014	GEM-1425	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0015	GEM-1426	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0016	GEM-1427	Dimensões notáveis	Troglóbio endêmico/raro	MÁXIMA
SB-0017	GEM-1428	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0018	GEM-1429	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0019	GEM-1430	Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico/raro	MÁXIMA
SB-0020	GEM-1431	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0021	GEM-1432	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0022	GEM-1433	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0023	GEM-1434	Cavidade testemunho	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0024	GEM-1435	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0025	GEM-1436	Cavidade testemunho	Alta riqueza de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0026	GEM-1437	Dimensões notáveis	Troglóbio endêmico	MÁXIMA
SB-0027	GEM-1438	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0028	GEM-1439	Cavidade testemunho	Troglóbio não raro/troglomórfico/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0029	GEM-1440	Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0030	GEM-1441	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0031	GEM-1442	Cavidade testemunho	Alta riqueza de espécies; alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0032	GEM-1443	Cavidade testemunho	Alta riqueza de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0033	GEM-1444	Cavidade testemunho	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0034	GEM-1445	Cavidade testemunho	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0035	GEM-1446	Cavidade testemunho	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0036	GEM-1447	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0037	GEM-1448	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA

SB-0038	GEM-1449	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0039	GEM-1450	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0040	GEM-1451	Cavidade testemunho	Troglóbio endêmico/raro	MÁXIMA
SB-0041	GEM-1452	Cavidade testemunho	Troglóbio não raro/troglomórfico/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0042	GEM-1453	Estr. espeleog. Rara/Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico	MÁXIMA
SB-0043	GEM-1454	Cavidade testemunho	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0044	GEM-1455	Cavidade testemunho	Baixa diversidade de substratos orgânicos; baixa riqueza de espécies; baixa abundância de espécies	MÁXIMA
SB-0045	GEM-1456	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0046	GEM-1457	Incluída no Art. 4º/Lago ou drenagem perene	Troglóbio endêmico	MÁXIMA
SB-0047	GEM-1458	Cavidade testemunho	Troglóbio não raro/troglomórfico/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0048	GEM-1459	Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0049	GEM-1460	Cavidade testemunho	Populações estabelecidas de espécie com função ecológica importante; alta riqueza de espécies; alta abundância de espécies; troglóbio não raro/troglomórfico /Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0050	GEM-1461	Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico	MÁXIMA
SB-0051	GEM-1462	Cavidade testemunho	Populações estabelecidas de espécie com função ecológica importante; alta riqueza de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0052	GEM-1463	Cavidade testemunho	Troglóbio não raro/troglomórfico/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0053	GEM-1464	Cavidade testemunho	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0054	GEM-1465	Cavidade testemunho	Alta riqueza de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0055	GEM-1466	Espeleotemas únicos	Média riqueza de espécies	MÁXIMA
SB-0056	GEM-1467	Cavidade testemunho	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0057	GEM-1468	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0058	GEM-1469	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0059	GEM-1470	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0060	GEM-1471	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA

SB-0061	GEM-1472	Cavidade testemunho	Troglóbio não raro/troglobórfico/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0063	GEM-1474	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Alta abundância de espécies; troglóbio não raro/troglobórfico/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0064	GEM-1475	Incluída no Art. 4º/Conf. notável espeleotemas/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0065	GEM-1476	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0066	GEM-1477	Cavidade testemunho	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0067	GEM-1478	Cavidade testemunho	Troglóbio não raro/troglobórfico/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0068	GEM-1479	Lago ou drenagem perene/Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico	MÁXIMA
SB-0069	GEM-1480	Alta PH/Alta área/Divers. Sedim. Química/Conf. notável espeleotemas/Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico	MÁXIMA
SB-0070	GEM-1481	Dimensões notáveis/Espeleotemas únicos	Troglóbio endêmico	MÁXIMA
SB-0071	GEM-1482	Alta área/Alto volume/Estr. espeleog. Rara/Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico	MÁXIMA
SB-0072	GEM-1483	Cavidade testemunho	Alta riqueza de espécies; alta abundância de espécies /Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0073	GEM-1484	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Alta abundância de espécies; troglóbio não raro/troglobórfico/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0074	GEM-1485	Incluída no Art. 4º/Conf. notável espeleotemas/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0075	GEM-1486	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0076	GEM-1487	Cavidade testemunho	Troglóbio raro	MÁXIMA
SB-0077	GEM-1488	Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico/raro	MÁXIMA
SB-0078	GEM-1489	Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0079	GEM-1490	Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0080	GEM-1491	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0081	GEM-1492	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0082	GEM-1493	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0083	GEM-1494	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0084	GEM-1495	Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA

SB-0085	GEM-1496	Dimensões notáveis	Populações estabelecidas de espécie com função ecológica importante; alta riqueza de espécies; alta abundância de espécies; troglóbio não raro/troglobórfico	MÁXIMA
SB-0086	GEM-1497	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0087	GEM-1498	Espeleotemas únicos/cavidade testemunho	Alta diversidade de substratos orgânicos; média riqueza de espécies; média abundância de espécies	MÁXIMA
SB-0088	GEM-1499	Espeleotemas únicos/cavidade testemunho	Alta diversidade de substratos orgânicos; média riqueza de espécies; média abundância de espécies	MÁXIMA
SB-0089	GEM-1500	Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0090	GEM-1501	Estr. espeleog. Rara/Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico/raro	MÁXIMA
SB-0091	GEM-1502	Estr. espeleog. Rara/Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0092	GEM-1503	Incluída no Art. 4º/Lago ou drenagem perene/Inter-relação máxima	Populações estabelecidas de espécie com função ecológica importante; alta riqueza de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0094	GEM-1505	Incluída no Art. 4º	Alta riqueza de espécies; alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0095	GEM-1506	Estr. espeleog. Rara/Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Populações estabelecidas de espécie com função ecológica importante; alta riqueza de espécies; alta abundância de espécies /Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0096	GEM-1507	Incluída no Art. 4º	Alta abundância de espécies; troglóbio não raro/troglobórfico/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0097	GEM-1508	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0098	GEM-1509	Incluída no Art. 4º	Alta riqueza de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0099	GEM-1510	Estr. espeleog. Rara/Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico	MÁXIMA
SB-0100	GEM-1511	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0101	GEM-1512	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0102	GEM-1513	Conf. notável espeleotemas/Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico/raro	MÁXIMA
SB-0103	GEM-1514	Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0104	GEM-1515	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0106	GEM-1517	Cavidade testemunho	Alta riqueza de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0107	GEM-1518	Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA

SB-0110	GEM-1523	Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0111	GEM-1524	Inter-relação máxima	Alta abundância de espécies	ALTA
SB-0112	GEM-1525	Divers. Sedim. Química/Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Troglóbio não raro/troglomórfico/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0113	GEM-1526	Estr. espeleog. Rara/Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0114	GEM-1527	Dimensões notáveis	Alta riqueza espécies/Alta abundância de espécies/Troglóbio não raro/Espécies troglomórficas	MÁXIMA
SB-0115	GEM-1528	Estr. espeleog. Rara/Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0116	GEM-1529	Lago ou drenagem perene/Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0117	GEM-1537	Cavidade testemunho	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0118	GEM-1538	Lago ou drenagem perene/Incluída no Art. 4º/Conf. notável espeleotemas/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0119	GEM-1539	Incluída no Art. 4º/Divers. Sedim. Química/Conf. notável espeleotemas/Inter-relação máxima	Troglóbio não raro/troglomórfico/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0120	GEM-1566	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Alta abundância de espécies; troglóbio não raro/troglomórfico/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0122	GEM-1568	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Troglóbio não raro/troglomórfico/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0123	GEM-1569	Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico	MÁXIMA
SB-0124	GEM-1592	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Troglóbio não raro/troglomórfico/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0125	GEM-1593	Incluída no Art. 4º/Conf. notável espeleotemas/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0126	GEM-1594	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0127	GEM-1595	Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0128	GEM-1596	Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0129	GEM-1597	Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico/raro	MÁXIMA
SB-0130	GEM-1598	Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0131	GEM-1599	Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico	MÁXIMA
SB-0132	GEM-1600	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA

SB-0133	SB-133	Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0134	SB-134	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0135	SB-135	Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0136	SB-136	Cavidade testemunho	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0137	SB-137	Cavidade testemunho	Populações estabelecidas de espécie com função ecológica importante; alta riqueza de espécies; alta abundância de espécies; troglóbio não raro/troglobórfico/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0138	SB-138	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0139	SB-139	Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico/raro	MÁXIMA
SB-0140	SB-140	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0141	SB-141	Cavidade testemunho	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0142	SB-142	Cavidade testemunho	Troglóbio endêmico/raro	MÁXIMA
SB-0143	SB-143	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0144	SB-144	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0145	SB-145	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0146	SB-146	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0147	SB-147	Estr. espeleog. Rara/Lago ou drenagem perene/Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico/raro	MÁXIMA
SB-0149	SB-149	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0150	SB-150	Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico/raro	MÁXIMA
SB-0151	SB-151	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0152	SB-152	Estr. espeleog. Rara/Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico/raro	MÁXIMA
SB-0153	SB-153	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0154	SB-154	Cavidade testemunho	Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0155	SB-155	Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico/raro	MÁXIMA
SB-0156	SB-156	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0157	SB-157	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0159	SB-159	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0160	SB-160	Cavidade testemunho	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA
SB-0161	SB-161	Incluída no Art. 4º/Lago ou drenagem perene	Troglóbio raro	MÁXIMA
SB-0162	SB-162	Cavidade testemunho	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	MÁXIMA

SB-0163	SB-163	Estr. espeleog. Rara/Conf. notável espeleotemas/Incluída no Art. 4º	Troglóbio não raro/troglobórfico/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0164	SB-164	Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico/raro	MÁXIMA
SB-0165	SB-165	Lago ou drenagem perene/Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0166	SB-166	Estr. espeleog. Rara/Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0167	SB-167	Lago ou drenagem perene/Incluída no Art. 4º/Conf. notável espeleotemas/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0168	SB-168	Lago ou drenagem perene/Incluída no Art. 4º/Conf. notável espeleotemas/Estr. espeleog. Rara/Inter-relação máxima	Alta riqueza de espécies; alta abundância de espécies; troglóbio não raro/troglobórfico	ALTA
SB-0169	SB-169	Gênese rara/morfologia única	Troglóbio endêmico/raro	MÁXIMA
SB-0170	SB-170	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Alta riqueza de espécies; alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0171	SB-171	Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Troglóbio não raro/troglobórfico/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0172	SB-172	Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico/raro	MÁXIMA
SB-0173	SB-173	Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º/Lago ou drenagem perene	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0174	SB-174	Conf. notável espeleotemas/Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Alta abundância de espécies; troglóbio não raro/troglobórfico/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0175	SB-175	Conf. notável espeleotemas/Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Alta abundância de espécies; troglóbio não raro/troglobórfico/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0176	SB-176	Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Troglóbio não raro/troglobórfico/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0177	SB-177	Incluída no Art. 4º/Lago ou drenagem perene	Troglóbio endêmico	MÁXIMA
SB-0178	SB-178	Estr. espeleog. Rara/Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Alta abundância de espécies; troglóbio não raro/troglobórfico/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0179	SB-179	Estr. espeleog. Rara/Conf. notável espeleotemas/Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º/Lago ou drenagem perene	Troglóbio não raro/troglobórfico/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0180	SB-180	Conf. notável espeleotemas/Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º/Lago ou drenagem perene	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0181	SB-181	Estr. espeleog. Rara/Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0182	SB-182	Lago ou drenagem perene/Incluída no Art. 4º	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0183	SB-183	Estr. espeleog. Rara/Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA

SB-0184	SB-184	Conf. notável espeleotemas/Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0185	SB-185	Incluída no Art. 4º/Lago ou drenagem perene	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0186	SB-186	Incluída no Art. 4º	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0187	SB-187	Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0188	SB-188	Divers. Sedim. Química/Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0189	SB-189	Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0190	SB-190	Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0191	SB-191	Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0192	SB-192	Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0193	SB-193	Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º/Lago ou drenagem perene	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0194	SB-194	Incluída no Art. 4º/Lago ou drenagem perene	Populações estabelecidas de espécie com função ecológica importante; alta riqueza de espécies; alta abundância de espécies /Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0195	SB-195	Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0196	SB-196	Incluída no Art. 4º/Lago ou drenagem perene	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0197	SB-197	Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Troglóbio não raro/troglomórfico/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0198	SB-198	Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico	MÁXIMA
SB-0199	SB-199	Dimensões notáveis	Populações estabelecidas de espécie com função ecológica importante; alta riqueza de espécies; alta abundância de espécies; troglóbio não raro/troglomórfico	MÁXIMA
SB-0200	SB-200	Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0201	SB-201	Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0202	SB-202	Conf. notável espeleotemas/Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico/raro	MÁXIMA
SB-0203	SB-203	Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0204	SB-204	Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0206	SB-206	Incluída no Art. 4º	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0207	SB-207	Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico/raro	MÁXIMA
SB-0208	SB-208	Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0209	SB-209	Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0210	SB-210	Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0211	SB-211	Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA

SB-0212	SB-212	Dimensões notáveis	Troglóbio endêmico	MÁXIMA
SB-0213	SB-213	Incluída no Art. 4º	Troglóbio endêmico/raro	MÁXIMA
SB-0214	SB-214	Inter-relação máxima	Alta riqueza espécies/Alta abundância de espécies/Troglóbio não raro/Espécies troglomórficas	ALTA
SB-0215	SB-215	Incluída no Art. 4º/Conf. notável espeleotemas/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0216	SB-216	Incluída no Art. 4º/Conf. notável espeleotemas/Inter-relação máxima	Troglóbio não raro/troglomórfico/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0217	SB-217	Incluída no Art. 4º/Lago ou drenagem perene	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0218	SB-218	Incluída no Art. 4º	Troglóbio não raro/Espécies troglomórficas/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0219	SB-219	Média PH, área e volume/Diversidade da sed. Química	Troglóbio endêmico	MÁXIMA
SB-0220	SB-220	Incluída no Art. 4º/Conf. notável espeleotemas	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0221	SB-221	Incluída no Art. 4º/Lago ou drenagem perene	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0222	SB-222	Incluída no Art. 4º	Alta riqueza de espécies; troglóbio não raro/troglomórfico/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0223	SB-223	Incluída no Art. 4º	Troglóbio não raro/troglomórfico/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0224	SB-224	Incluída no Art. 4º	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0225	SB-225	Incluída no Art. 4º	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0226	SB-226	Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0227	SB-227	Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0228	SB-228	Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0229	SB-229	Estr. espeleog. Rara/Incluída no Art. 4º/Conf. notável espeleotemas	Troglóbio endêmico/raro	MÁXIMA
SB-0230	SB-230	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0231	SB-231	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Troglóbio não raro/troglomórfico/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0232	SB-232	Incluída no Art. 4º/Inter-relação máxima	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0233	SB-233	Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0234	SB-234	Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0235	SB-235	Incluída no Art. 4º	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0236	SB-236	Incluída no Art. 4º	Alta abundância de espécies; troglóbio não raro/troglomórfico/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0237	SB-237	Estr. espeleog. Rara/Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0238	SB-238	Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA

SB-0239	SB-239	Estr. espeleog. Rara/Incluída no Art. 4º/Lago ou drenagem perene	Alta riqueza de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0240	SB-240	Incluída no Art. 4º	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0241	SB-241	Incluída no Art. 4º	Alta riqueza de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0242	SB-242	Incluída no Art. 4º/Lago ou drenagem perene	Alta abundância de espécies/Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0243	SB-243	Incluída no Art. 4º	Inciso II do Art. 4º	ALTA
SB-0244	GEM-1525A	Divers. Sedim. Química/Conf. notável espeleotemas/Inter-relação máxima/Incluída no Art. 4º	Troglóbio não raro/troglomórfico/Inciso II do Art. 4º	ALTA

Legenda:

	Relevância máxima
	Relevância alta
	Relevância média

ALTERAÇÕES NOS VALORES DE RELEVÂNCIA DAS CAVIDADES ENTRE OS DOIS ESTUDOS ESPELEOLÓGICOS DA SERRA DA BOCAINA

Em função da reavaliação dos atributos de relevância das cavernas de Serra da Bocaina, ocorreram alterações na valoração das cavidades estudadas anteriormente (relatório de abril de 2013). Algumas das cavidades utilizadas no processo de compensação espeleológica do Projeto S11D (cavidades testemunho) tiveram sua relevância alterada. A seguir estão listadas as cavidades e as justificativas para tais alterações.

- SB-0029 (GEM-1440) mudou de máxima para alta relevância: Revisão do especialista (Dr. Douglas Zeppelini). O Collembola Onychiuridae sp.1, classificado no primeiro relatório como troglóbio raro, deixou de ser considerado troglóbio pelo mesmo especialista, após refinamento na análise.
- SB-0040 (GEM-1451) cavidade testemunho (mudou de alta para máxima relevância): Revisão do especialista (Dr. Douglas Zeppelini). O Collembola Cyphoderidae sp.1, classificado no primeiro relatório como troglóbio não raro e não endêmico, passou por refinamento na identificação e foi alterado para a morfoespécie *Lepidonella* sp.2, troglóbio raro e endêmico.
- SB-0076 (GEM-1487) cavidade testemunho (mudou de alta para máxima relevância): Revisão do especialista (Dr. Douglas Zeppelini). O Collembola Cyphoderidae sp.1, classificado no primeiro relatório como troglóbio não raro e não endêmico, passou por refinamento na identificação e foi alterado para a morfoespécie *Lepidonella* sp.1, troglóbio raro.
- SB-0087 (GEM-1498) e SB-0088 (GEM-1499) cavidade testemunho (mudaram de alta para máxima relevância): A partir da análise comparativa dos espeleotemas das cavernas de Serra da Bocaina, com outros conhecidos em cavidades na escala regional, concluiu-se que os expressivos conjuntos de crostas com forma esferoidal existentes nestas duas cavidades devem ser considerados raros.
- SB-0092 (GEM-1503) mudou de máxima para alta relevância: Revisão do especialista (Dr. Douglas Zeppelini). O Collembola Onychiuridae sp.1, classificado no primeiro relatório como troglóbio raro, deixou de ser considerado troglóbio pelo mesmo especialista, após refinamento na análise.

AS RELAÇÕES DE SIMILARIDADE ENTRE OS ATRIBUTOS DA SERRA DA BOCAINA E SERRA SUL (CORPO D)

Os estudos na Serra da Bocaina tiveram como objetivo buscar compensação ambiental para 35 cavernas que serão impactadas de forma irreversível no Projeto Ferro Carajás - S11D, localizado na Serra Sul, no interior da Floresta Nacional de Carajás - FLONACA.

Na Licença Prévia N. 436/2012 do Projeto S11D, particularmente no Item 2.21 das Condições Específicas, é solicitada a apresentação, em no máximo 365 dias, detalhamento das 70 (setenta) cavidades a serem preservadas, considerando todos os aspectos de caracterização de relevância (meio físico e biótico), bem como as relações de similaridade com aquelas que serão objeto de supressão. Conjuntamente, deverá ser apresentado plano de preservação (*modus operandi*) a ser executado pela Vale S.A.

A paisagem

Os resultados obtidos diante do diagnóstico espeleológico e pela análise de relevância das cavernas demonstraram de forma clara que o conjunto de cavernas estudadas na Serra da Bocaina é expressivo no cenário espeleológico da Amazônia e, particularmente, da Região de Carajás.

Primeiramente podemos destacar que a Serra da Bocaina encontra-se no mesmo domínio morfoclimático, morfoestrutural e geomorfológico da Serra Sul e demais elevações que integram a serranias de Carajás. Nesse contexto predominam planaltos residuais sustentados pela erosão diferencial de rochas mais resistentes.

Na Serra da Bocaina, temos inicialmente o compartimento cimeiro sustentado pela formação ferrífera e coberturas de canga. Trata-se de um domínio peculiar, onde predomina a savana arbustiva ainda bem preservada na referida serra.

A elevada superfície do platô possui relevo suavemente ondulado, com colinas de vertentes côncavas a convexas, além de planícies lagunares, representando depressões doliniformes muito interessantes. Após a referida superfície ondulada merece destaque as bordas superiores do platô, onde se destacam escarpas rochosas que podem atingir até 20 m de altura. Uma importante parcela das cavidades inseridas na formação ferrífera e na canga está posicionada na base dessas escarpas na borda superior do planalto.

Principalmente na borda superior do platô, a canga está sendo desmantelada. Diante disso, o solo vermelho cascalhento torna-se mais espesso, aumentando as condições edáficas e possibilitando a fixação de uma vegetação de porte arbustivo-arbóreo.

Após as bordas superiores do platô predominam as vertentes inclinadas, que fazem a conexão entre a borda superior com as superfícies rebaixadas (sopé). Nessas vertentes também ocorrem escarpas rochosas de canga ou da formação ferrífera, além de um número expressivo de cavernas.

Boa parcela dessas encostas da Serra da Bocaina já sofreram alterações significativas na cobertura original. Essas áreas sofreram intenso desflorestamento, resultando no empobrecimento florístico e faunístico dos arredores do platô da Bocaina e demais platôs fora da FLONACA. Localmente é possível registrar fragmentos muito alterados da Floresta Ombrófila Aberta. Também foi possível registrar manchas esparsas de savana. Tais ocorrências estão, em geral, relacionadas a afloramentos isolados de canga em setores mais rebaixados, espessos o suficiente para impedir a fixação de uma vegetação mais densa.

No sopé do planalto residual também foi registrado um conjunto importante de cavernas inseridas em colúvios ferruginizados (ferricretes). São feições terminais do planalto, interpenetradas por faixas de terrenos rebaixados onde predominam as pastagens para pecuária extensiva. É importante salientar que a estrutura física geral da paisagem da Serra da Bocaina é muito semelhante às demais serras de Carajás, apesar da existência de particularidades entre elas.

O desflorestamento é o principal impacto na estrutura biológica das encostas e superfícies rebaixadas da Serra da Bocaina, o que não acontece com S11D, que apresenta um mosaico fitofisionômico exuberante.

As cavernas

Nas 35 cavernas que serão impactadas no Projeto S11D, 23 foram classificadas como de alta relevância e 12 como de média relevância. Na Serra da Bocaina foram registradas, até o momento, 186 cavernas de relevância alta.

Quanto aos aspectos físicos, foram registradas cavernas em quatro litotipos: formação ferrífera, canga, rocha máfica alterada e ferricrete, ou seja, o mesmo grupo litológico identificado em S11D. Estruturas sedimentares e tectônicas também estão presentes nas cavernas de Bocaina, muitas vezes condicionando a morfologia das cavernas, como visto em S11D.

A morfometria das cavernas de Bocaina também mostrou semelhança com os valores obtidos em S11D, particularmente para PH, área e volume, como ficou demonstrado estatisticamente pelos gráficos de Valores Individuais e pelo teste de Kruskal-Walis (Tabela 9).

Os aspectos morfológicos das cavernas da Serra da Bocaina também indicaram semelhanças com as cavernas de S11D. Há uma recorrência das morfologias planimétricas, predominando cavernas de câmaras únicas com formas do tipo afunilada, semicircular, retilínea, dentre outras. Câmaras compostas também foram identificadas nas duas áreas, merecendo destaque as morfologias tipo esponjiforme.

Feições morfológicas também são recorrentes nas cavernas das duas áreas e nos demais platôs da região, onde se destacam pontões estruturais, canalículos, pendentes, pilares, claraboias, cúpulas, paleopisos, dentre outras.

Quanto aos aspectos hidrológicos, algumas cavernas da Serra da Bocaina apresentaram drenagens perenes. Nessas cavidades, parte ou a totalidade do fluxo superficial adentra em um setor da caverna, ressurgindo novamente na forma de drenagens superficiais. Em S11D as drenagens nas cavernas são predominantemente temporárias ou intermitentes. Na Serra da Bocaina não ocorrem cavernas na borda de lagoas, como registrado em S11D. Outras feições hidrológicas como surgências perenes e temporárias, poças, pequenos lagos, percolação e gotejamento estão presentes nas duas áreas.

Os sedimentos clásticos das cavernas da Serra da Bocaina e das demais serras da região, incluindo S11D, também são bem típicos e recorrentes. Predominam sedimentos autóctones com estreita relação com o substrato em que a caverna está encaixada. A sedimentação é rasa, prevalecendo movimentos de massa do tipo abatimentos. Nas cavernas de formação ferrífera e canga predominam sedimentos cascalhentos e nas cavernas de ferricrete e rocha máfica os sedimentos argilosos.

Os espeleotemas também são recorrentes nas duas serras, com o predomínio de crostas e coralóides, mas com a ocorrência de cortinas, escorrimentos, microtravertinos e pingentes. Espeleotemas raros (estalactites, estalagmites, alguns tipos de coralóides) também estão presentes nas duas áreas.

As cavernas da Serra da Bocaina, como também de S11D, revelaram que o gotejamento e a percolação de águas pluviais são os principais processos espeleogenéticos atuantes neste momento nas cavernas ferríferas. Esses processos são os principais responsáveis pela dissolução, erosão, transporte e deposição de sedimentos clásticos e químicos no interior das cavernas.

Foram inventariados animais invertebrados e quirópteros a partir do método de busca ativa e registrada a presença de outros animais vertebrados. Foram avaliadas as condições de luminosidade, umidade dos substratos e dos recursos tróficos disponíveis, as diferentes condições de umidade dos substratos no interior das grutas e informações sobre os diferentes tipos de recursos tróficos presentes.

A riqueza de morfótipos, considerando-se cada estação de coleta, foi de $32,87 \pm 20,73$ (estação seca) e $31,76 \pm 21,50$ (estação úmida). No panorama geral das cavidades analisada, riqueza alta foi observada em 46 cavidades, riqueza média em 185 e riqueza baixa em apenas quatro cavidades. A cavidade com maior riqueza na estação seca foi a SB- 114, com 119 morfoespécies registradas, e na úmida foi a SB-0016, com 104 morfótipos.

A abundância relativa foi obtida considerando espécies de vertebrados e de invertebrados com adultos de tamanho corporal maior ou igual a 1 cm, sendo que 85 cavidades foram consideradas de alta relevância para o atributo (30% ou mais de espécies abundantes); 102 cavidades foram consideradas de grau de relevância médio (de 10 a 20% de espécies com abundância alta); e 48 cavidades foram consideradas de grau de relevância baixo (menos de 10% de espécies com abundância alta).

Foram registradas 26 espécies troglomórficas, das quais 19 foram consideradas como potenciais endêmicos e 10 como troglomórficos não raros, endêmicos ou relictos.

Em síntese, há uma similaridade dos principais componentes físicos e biológicos entre as cavernas da Serra da Bocaina e S11D, apesar de diferenças locais. A Tabela 18 apresenta as relações dos atributos biológicos e físicos da Instrução Normativa N. 2 do Ministério do Meio Ambiente entre as cavernas de S11D (35 cavernas) e da Serra da Bocaina (235 cavernas).

TABELA 18 - RELAÇÕES DOS ATRIBUTOS BIOLÓGICOS E FÍSICOS ENTRE AS CAVERNAS DE S11D (35 CAVERNAS) E DA SERRA DA BOCAINA (235 CAVERNAS).

Atributos biológicos de relevância alta nas 35 cavernas com previsão de impactos irreversíveis	S11D	Serra da Bocaina
Troglóbios não raros	12	63
Abundância relativa de espécies	12	85
Taxons novos	4	5
Alta riqueza de espécies	1	46
População com função ecológica importante	1	19
Espécies troglomórficas	12	76
Atributos biológicos de relevância média nas 35 cavernas com previsão de impactos irreversíveis	S11D	Serra da Bocaina
População residente de quirópteros	1	19
Alta diversidade de substratos	15	77
Média riqueza de espécies	28	204
Média abundância	18	102
Atributos físicos de relevância alta nas 35 cavernas com previsão de impactos irreversíveis	S11D	Serra da Bocaina
Alta projeção horizontal	2	7
Alta área	2	8

Alto volume aproximado	1	8
Configuração notável de espeleotemas	2	39
Atributos físicos de relevância média nas 35 cavernas com previsão de impactos irreversíveis	S11D	Serra da Bocaina
Média projeção horizontal	31	233
Média área	31	219
Médio volume aproximado	31	222
Alto desnível	9	53
Poucos tipos de espeleotemas	31	13

Na avaliação apresentada, com exceção de táxons novos, os atributos físicos e biológicos das 35 cavernas que serão impactadas em S11D podem ser compensados na Serra da Bocaina. Prospecções ainda estão previstas para a Serra de Bocaina, o que poderá aumentar ainda mais o número de cavidades na área.

A Serra da Bocaina poderá ser uma área importante para a conservação de cavernas ferríferas no Brasil, tendo em vista a grande pressão que essas áreas mineralizadas estão sofrendo em decorrência da demanda internacional e interna de minério de ferro. Poderá sim ser o primeiro testemunho significativo de cavernas ferríferas do Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

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.

BOAVENTURA, R. S. 1974. Geomorfologia da Folha Tocantins.... In: Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto Radam Folha SB.22 Araguaia e parte da folha SC.22 Tocantins: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro.

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.

BUCHMANN, F.S.C.; CARON, F; LOPES, R.P. & TOMAZELLI, L. J. 2003. Traços fósseis (paleotocas ecrotovinas) da megafauna extinta no Rio Grande do Sul, Brasil. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 9, 2003. Recife, PE, Brasil. Anais, 1 CD-ROM.

- CALUX, A. S. 2013. Gênese e desenvolvimento de cavidades naturais subterrâneas em rochas ferríferas no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. UFMG, Belo Horizonte. 220p.
- CAMPOS & CASTILHO. 2012. Uma visão geográfica da Região de Carajás. In: Fauna da Floresta de Carajás: estudos sobre vertebrados terrestres. Organizadores: Frederico Drumond Martins...(et al.). São Paulo: Nitro Imagens. 231p.
- 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.
- FIGUEIREDO E SILVA, R.C. 2009. Evolução e gênese do minério de ferro hidrotermal nos depósitos da serra norte, Província Mineral Carajás. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em geologia. Belo Horizonte. 193p.
- FUNDAÇÃO CASA DE CULTURA DE MARABÁ – FCCM. 2007. Relatório Complementar de Caracterização e Documentação Básica de Cavidades Naturais em Carajás – Serra da Bocaina Corpo S29 – Canaã dos Carajás/PA. Relatório Inédito. 85p.
- 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.
- 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.
- HILL, C.; FORTI, P. 1997. Cave Minerals of the World. USA: National Speleological Society. 463p.
- LOBATO, L. M.; ROSIÈRE, C. A.; FIGUEIREDO-SILVA, R. C.; ZUCCHETTI, M.; BAARS, F. J.; SEOANE, J. C. S.; RIOS, F. J.; PIMENTEL, M.; MENDES, M.; MONTEIRO, A. M. 2005. A Mineralização hidrotermal de ferro da Província Mineral de Carajás – controle estrutural e context na evolução metalogenética da provincial. In: MARINI et al. (Ed.). Caracterização de Depósitos Minerais em Distritos Mineiros da Amazônia. Brasília: DNPM – CT/MINERAL – ADIMB, 2005. 782p.
- 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.
- MACAMBIRA, J.B & SCHRANK, A. 2002. Químico-estratigrafia e evolução dos jaspilitos da Formação Carajás (PA). *Revista Brasileira de Geociências*, 32(4):567-578.
- MAURITY, C.W. & KOTSCHOUBEY, B. 1995. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 – Serra dos Carajás-PA. Degradação, pseudocarstificação, espeleotemas. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. Série Ciências da Terra* 7: 331-362.
- 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.
- MEIRELLES M.R & DARDENNE, M.A. 1991. Vulcanismo basáltico de afinidade shoshonítica em ambiente de arco arqueano, Grupo Grão-Pará, Serra dos Carajás – Pará. *Revista Brasileira de Geociências* 21(1):41-50.

- PALMER. 1991. Origin and morphology of limestones caves. Geological Society of America Bulletin, v.103, p.1-21.
- PARKER, C.W.; AULER, A.S.; SENKO, J.; SASOWSKY, I.D.; PILÓ, L.B.; SMITH, M.; JOHNSTON, M.; BARTON, H. 2013. Microbial iron cycling and biospeleogenesis: cave development in the Carajás Formation, Brazil. ICS Proceedings. Prague:442-446.
- PILÓ, L.B.; ANDRADE, R. 2006. Estudos espeleológicos na área da Mina N5S, Serra dos Carajás. CVRD/PRCZ. 170p. (inédito).
- 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*; página 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.
- PILÓ, L.B. & AULER, A.S. 2011. *Mineralogia de Espeleotemas em rochas ferríferas da Região de Carajás, Pará*. Instituto do Carste. Belo Horizonte. 60p. (Inédito).
- PILÓ, L. B.; AULER, A.; COELHO, A.; SCHERER, R. 2013. Indícios de bioerosão (paleotocas) em cavernas ferríferas da região de Carajás, Pará. II Simpósio Mineiro do Carste – carste e cavernas: Minas de Informações. CNKC/IGC-UFMG, Belo Horizonte Brasil, Resumos e pôsteres. P.39-40.
- 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.
- 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).

SPIER, C.A.; VASCONCELOS, P.M. & OLIBEIRA, S.M.B. 2006. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronological constraints on the evolution of lateritic iron deposits in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Chem. Geol.*, 234:79-104.

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.

VALENTIM, R. F.; OLIVITO, J. P. R. 2011. Unidade Espeleológica Carajás: delimitação dos enfoques regional e local, conforme metodologia da IN-02/2009 MMA. In: *EspeleoTema*. V.22, n.1 p. 41-60.

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.

CAMPOS-FILHO, I.S. & P.B. ARAÚJO. 2011. Two new troglobitic species of Scleropactidae (Crustacea: Isopoda: Oniscidea) from Pará, Brasil. *Nauplius*, 19: 27-39.

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.
- PERACCHI, A.L.; I.P. LIMA; N.R. REIS; M.R. NOGUEIRA & H.O. FILHO. 2006. Ordem Chiroptera, p. 155-220. In: N.R. REIS; A.L. PERACCHI; W.A. PEDRO & I.P. LIMA (Eds). *Mamíferos do Brasil*. Londrina, Nélío R. Reis, 437p.
- PILÓ, L. B.; COELHO, A.; AULER, A.; ANDRADE, R.; BESSI, R. & PELLEGATTI, F. 2010. Espeleologia do Projeto S11D, Serra Sul, Região de Carajás, PA. Carste Consultores Associados. Belo Horizonte, 231p. (Relatório).
- 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.
- VIZOTTO, L.D & TADDEI, V.A. 1973. *Chave para determinação de quirópteros brasileiros*. Ver. Fac. Filos. Cien. Letr. Edusp, São José do Rio Preto. Bolm. Cienc. 1:1-72.

ANEXOS

ANEXO I – FICHAS DE GEOESPELEOLOGIA

ANEXO II – MAPAS TOPOGRÁFICOS DAS CAVERNAS

ANEXO III – FICHAS DE BIOESPELEOLOGIA

ANEXO IV – LISTAS DE TÁXONS COLETADOS + OBSERVADOS COM ABUNDÂNCIA RELATIVA DE CADA ESPÉCIE MAIOR QUE 1CM (S – CAMPANHA SECA; U – CAMPANHA ÚMIDA; AB. – ABUNDÂNCIA RELATIVA DA ESPÉCIE; ZON – ZONAÇÃO DE OCORRÊNCIA DO TÁXON; VERMELHO - TÁXONS TROGLOMÓRFICOS)

ANEXO V - RIQUEZA ABSOLUTA (U – CAMPANHA ÚMIDA; S – CAMPANHA SECA) E RESULTADO DA ANÁLISE DE ABUNDÂNCIA (% DE ESPÉCIES QUE APRESENTAM ABUNDÂNCIA RELATIVA ALTA PARA CAMPANHAS ÚMIDA E SECA) PARA AS CAVIDADES ESTUDADAS EM SERRA DA BOCAINA

ANEXO VI – AMOSTRAS DE CAVERNAS NAS ESCALAS LOCAL E REGIONAL UTILIZADAS NA ANÁLISE DE RELEVÂNCIA ESPELEOMÉTRICA

ANEXO VII – MAPA GERAL DAS CAVERNAS DA SERRA DA BOCAINA