
Análise de Relevância do Patrimônio Espeleológico na

Área de Influência Direta (AID) referente à Licença de

Instalação (179/2008) do Projeto de Expansão

da Mina da Jangada

Abril de 2013
Belo Horizonte/MG

EQUIPE TÉCNICA NOS TRABALHOS REALIZADOS PELA SPELAYON

Prospecção Espeleológica

Coordenação Geral do Projeto

Rubens Pereira da Silva	Espeleólogo	SBE 1470
-------------------------	-------------	----------

Coordenação do Projeto

Frederico Augusto Ribeiro	Eng. Ambiental/Espeleólogo	CREA MG 107.395/D
---------------------------	----------------------------	-------------------

Prospecção Espeleológica

Frederico Augusto Ribeiro	Eng. Ambiental/Espeleólogo	CREA MG 107.395/D
Juliana Barbosa Timo	Geóloga/Espeleóloga	CREA MG 106.978/D
Marcus Vinicius C. O. Lopes	Eng. de Minas/Espeleólogo	CREA GO 10.409/D
Rubens Pereira da Silva	Espeleólogo	SBE 1470
Silmar Onofre de Oliveira	Eng. Geólogo/Espeleólogo	CREA MG 113.997/D
Andre Gomide Vasconcelos	Auxiliar de Campo	MG 9.339.759
Breno Correia Naresse	Auxiliar de Campo	30475005
Stefano M. B. Fernandes	Auxiliar de Campo	2079161
Willian de Carvalho Costa	Auxiliar de Campo	MG 8.153.402

Levantamento Bioespeleológico

Quiropterofauna

Leonardo Henrique Silva Dias	Biólogo	CRBio 070399/04 – D
------------------------------	---------	---------------------

Invertebrados

Luiz Gustavo Souto Soares	Biólogo	CRBio 57.339/04 - D
---------------------------	---------	---------------------

Equipe de Apoio

Andre Gomide Vasconcelos	Biólogo	CRBio 076.031 – 04/P
Thiago dos Santos	Biólogo	CRBio 62.372/04 – D
Barbara de Azevedo Bahia Lima	Estagiária	MG 14.889.757

EQUIPE TÉCNICA NOS TRABALHOS REALIZADOS PELA CARSTE

Levantamento Topográfico

Ataliba Coelho	Geógrafo	M 5.304.425
Daniela Amorim	Técnico	MG 12.201.023
Gabriela Rosario	Geógrafa	MG 13.670.637

Levantamento Geoespeleológico

Dr. Luis Beethoven Piló	Geógrafo	CREA MG 58.950/D
-------------------------	----------	------------------

EMPREENDIMENTO

Razão Social	VALE S/A
Área	Mina da Jangada
Município	Brumadinho e Sarzedo – MG
CNPJ	33.592.510/0001-54

GARAL – Gerência Responsável pela OS nº 05/2010

Empresa	VALE S/A
Contato	Carlos H. Tapia Calle
Telefone	(31) 9765 1742
Email	carlos.calle@vale.com

EMPRESAS CONTRATADAS

✓ Prospecção Espeleológica, Bioespeleologia e Análise de Relevância do Meio Biótico

Razão Social	Spelayon Consultoria – ME
Endereço	Avenida Amazonas, 1306 – sala 202, Barro Preto, Belo Horizonte - MG
Contato	Mariana Barbosa Timo – (31) 9195 0381 mariana@spelayonconsultoria.com.br Rubens Pereira da Silva – (31) 9138 4672 rubenspereirasilva@yahoo.com.br
Telefone	(31) 3335 5783
E.mail	spelayon@spelayonconsultoria.com.br

✓ Topografia, Geoespeleologia e Análise de Relevância do Meio Físico

Razão Social	Carste Consultores Associados Ltda
Endereço	Rua Brasópolis, 139. Bairro Floresta. CEP. 30150-170.
Contato	Dr. Luis Beethoven Piló lbpilo@gmail.com
Telefone	(31) 2552 9976
E.mail	contato@carste.com.br

Spelayon – www.spelayonconsultoria.com.br / e-mail: spelayon@spelayonconsultoria.com.br

Carste – www.carste.com.br / e-mail: contato@carste.com.br

APRESENTAÇÃO

O presente documento refere-se à análise de relevância do patrimônio espeleológico da Área de Influência Direta (AID) do projeto de expansão da mina da Jangada, aqui denominada de AID Jangada, empreendimento minerário do grupo Vale S/A.

Segundo Resolução CONAMA nº 305, de junho de 2002, que dispõe sobre Licenciamento Ambiental, Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), a Área de Influência Direta (AID) de um empreendimento é a área afetada pelos impactos, negativos ou positivos, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza. Tais impactos devem ser mitigados, compensados ou potencializados (se positivos) pelo empreendedor. Os impactos e efeitos são induzidos pela existência do empreendimento e não como consequência de uma atividade específica do mesmo.

O empreendimento mina da Jangada visa a lavra e o beneficiamento de minério de ferro, nos municípios de Brumadinho e Sarzedo, no Estado de Minas Gerais.

No início dos estudos na área já se conheciam quatro cavidades naturais subterrâneas encontradas em trabalhos anteriores realizados no local.

Com isso, foram contratadas duas empresas para realizarem os estudos espeleológicos na área da AID da mina da Jangada. A Spelayon ficou responsável pela prospecção espeleológica e pelo levantamento bioespeleológico nas cavidades já existentes e nas que seriam encontradas. A Carste ficou responsável pela topografia das cavidades e pelos estudos geoespeleológicos e os capítulos que se tratam destes estudos foram transcritos dos relatórios internos Vale.

Entre os meses de fevereiro e março de 2010 foi realizada a prospecção espeleológica da AID Jangada com o objetivo de cumprir a condicionante **14 da Licença de Instalação nº 179/2008** do protocolo nº **00118/2000/009/2007 DNPM 4909/1962** do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) e da Superintendência da Região Central Metropolitana de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SUPRAM CM). Como resultado foram encontradas mais três cavidades naturais subterrâneas.

Nos meses de junho de 2010 e janeiro de 2011 foi realizado o levantamento bioespeleológico nas sete cavidades existentes na AID da mina da Jangada.

Em junho de 2010 foi realizada a topografia das três cavidades encontradas no trabalho de prospecção e a topografia das quatro cavidades conhecidas foi realizada pela equipe de espeleologia da DIFL e digitalizada pela Carste.

Nos meses de janeiro e maio de 2011 foram realizados os estudos geoespeleológicos nas sete cavidades inseridas na AID da mina da Jangada.

Os atributos referentes à arqueologia (valor histórico, sócio-econômico ou cultural) foram transcritos dos relatórios internos Vale.

Entre os meses de setembro e outubro de 2011 foi realizada a análise de relevância das sete cavidades naturais subterrâneas existentes na AID da mina da Jangada.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
2	OBJETIVO.....	22
3	LOCALIZAÇÃO, VIAS DE ACESSO E DESCRIÇÃO DA ÁREA	24
4	PROCEDIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DO DIAGNÓSTICO	26
4.1	Prospecção espeleológica.....	26
4.2	Geoespeleologia	31
4.2.1	Levantamento Bibliográfico	31
4.2.2	Levantamento Topográfico das Cavernas	31
4.2.3	Análise Litológica e das Estruturas.....	32
4.2.4	Análise Morfológica	32
4.2.5	Hidrologia	32
4.2.6	Depósitos Clásticos, Orgânicos e Químicos	32
4.3	Bioespeleologia.....	33
4.3.1	Invertebrados	33
4.3.1.1	Materiais e Métodos	33
4.3.2	Chiroptera	37
4.3.2.1	Materiais e Métodos	37
5	INSERÇÃO DAS CAVERNAS NO CONTEXTO GEOLÓGICO.....	38
6	ESPELEOLOGIA REGIONAL.....	43
6.1	Cavernas nas Rochas Ferríferas.....	43
7	ESPELEOLOGIA DA AID DA MINA DA JANGADA	46
7.1	Resultados Geoespeleológicos	46
7.1.1	Inserção na Paisagem.....	48
7.1.2	Aspectos Litológicos e Estruturais	49

7.1.3	Espeleometria das Cavernas.....	51
7.1.4	Morfologia das Cavernas.....	53
7.1.5	Hidrologia.....	57
7.1.6	Depósitos Clásticos e Orgânicos.....	58
7.1.7	Depósitos Químicos.....	61
7.1.8	Aspectos Espeleogenéticos e Cronológicos.....	63
7.1.9	Aspectos Sócio Econômicos, Culturais e Estado de Conservação.....	64
7.2	Resultados Bioespeleológicos.....	66
7.2.1	Invertebrados.....	66
7.2.1.1	Resultados e Discussões.....	66
7.2.1.2	Descrição das Cavidades.....	72
7.2.1.3	Conclusões.....	88
7.2.1.4	Anexo Fotográfico.....	89
7.2.2	Chiroptera.....	92
7.2.2.1	Resultados.....	92
7.2.2.2	Conclusão.....	108
7.2.3	Outros vertebrados.....	109
7.2.3.1	Conclusão.....	110
8	ANÁLISE DE RELEVÂNCIA.....	111
8.1	Introdução.....	111
8.2	Metodologia.....	111
8.3	Discriminação Litológica.....	111
8.4	As Escalas de Análise.....	111
8.5	Os Graus de Relevância.....	112
8.6	Análise de Relevância das Cavernas da AID da Mina da Jangada.....	114

8.6.1	Graus de Importância das Cavidades para Classificação das Relevâncias de Jangada.....	116
8.6.1.1	Relevância Máxima	116
8.6.1.2	Os Graus de Importância das Cavidades para Classificação das Relevâncias Alto, Médio e Baixo - Atributos Físicos e Histórico-Culturais.....	121
8.6.1.3	Os graus de Importância das Cavidades para Classificação das Relevâncias Alto, Médio e Baixo - Atributos Biológicos.....	133
8.7	Considerações Finais sobre a Relevância das Cavernas da Jangada	142
8.8	Chave de Classificação do Grau de Relevância das Cavidades.....	146
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	153
10	ANEXOS.....	160

Índice de Anexos

Anexo 1: Condicionante 14 da Licença de Instalação n° 179/2008 do protocolo n° 00118/2000/009/2007 DNPM 4909/1962 do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM).....	160
Anexo 2: Mapas das cavernas.....	161
Anexo 3: Fichas Geoespeleológicas.....	162
Anexo 4: Mapa hipsométrico com as unidades geomorfológicas do Quadrilátero Ferrífero.....	163
Anexo 5: Amostras de cavernas na escalas local e regional.....	165
Anexo 6: Tabelas dos cálculos estatísticos de bioespeleologia (invertebrados).....	175
Anexo 7: Arquivo digital do trabalho.	182
Anexo 8: Anotação de Responsabilidade Técnica – ART.	183

Índice de Figuras

Figura 1: Localização da AID Jangada com as vias de acesso (BR 356 e BR040 em vermelho).....	25
Figura 2: Caminhamento espeleológico e localização das cavidades na AID da mina da Jangada.....	30
Figura 3: Imagem de aerolevanteamento esboçando os locais onde encontram-se as cavidades. Ao lado direito encontram-se as respectivas distâncias em metros entre as cavidades.	33
Figura 4: Termohidrômetro.	37
Figura 5: Localização da área de estudo (seta vermelha) no Quadrilátero Ferrífero... ..	38
Figura 6: À esquerda, itabirito caracterizado pela alternância de bandas de quartzo e óxido de ferro na Serra da Moeda; à direita, minério de ferro compacto de alto teor na Mina do Pico, apresentando relictos do bandamento sedimentar.	40
Figura 7: Mapa geológico da área da Mina Jangada, indicando a localização das cavernas inseridas na canga (Eca(h), que recobrem rochas das formações Batatal (PP1mcb) Moeda (PP1 mcm) e Cauê (PP1mic).	41
Figura 8: Coluna estratigráfica proposta para o Quadrilátero Ferrífero.	42
Figura 9: Localização das cavernas estudadas na Área de Influência Direta da Mina da Jangada.....	47
Figura 10: À esquerda, caverna MJ-04 em ruptura rochosa na alta vertente; à direita, caverna QDF_JGD_B_CAV0001, localizada dentro da calha de drenagem.	48
Figura 11: Clastos imbricados na caverna MJ-02.	50
Figura 12: À esquerda, canga detrítica na caverna JGD_A_CAV0001; no centro, canga com maior presença de sedimentos finos na mesma caverna; à direita, canga com matações na caverna JGD_B_CAV0001.	50
Figura 13: Média dos dados espeleométricos das cavernas de Jangada e da amostra regional (AR).	53
Figura 14: À esquerda, caverna QDF_JGD_A_CAV0001 com tendência retilínea; à direita, caverna QDF_JGD_B_CAV0002 apresentando salão único com reentrâncias	

no setor distal.	54
Figura 15: Seções das cavernas de Jangada, salientando as irregularidades típicas de cavernas de canga.	54
Figura 16: À esquerda, pendente na caverna MJ-04; à direita, pilar na caverna MJ-02.	55
Figura 17: Seção longitudinal contendo as principais características morfológicas das cavernas do Quadrilátero Ferrífero.	56
Figura 18: À esquerda, drenagem originada de surgência na cavidade QDF_JGD_A_CAV0001; à direita, surgência na caverna QDF_JGD_B_CAV0001. ...	57
Figura 19: Sumidouro e ressurgência da caverna MJ-01.	58
Figura 20: À esquerda, cone sedimentar na estrada da caverna QDF_JGD_A_CAV0001; à direita, terraço sendo erodido na caverna QDF_JGD_B_CAV0002.	60
Figura 21: À esquerda, calhaus e matacões de origem autóctone na caverna MJ-01; à direita, bioclastos (ossos longos) de um urubu registrados na caverna MJ-04.	61
Figura 22: À esquerda, coralóides sobre bloco na caverna QDF_JGD_A_CAV0001; à direita, crostas de óxidos hidróxidos de ferro na caverna QDF_JGD_B_CAV0001.	62
Figura 23: À esquerda, escorrimentos na forma de cortinas na caverna MJ-01; à direita, coralóides sobre o teto da caverna MJ-04.	63
Figura 24: Riqueza total de morfoespécies em função das cavidades estudadas.	69
Figura 25: Abundância total de morfoespécies em função das cavidades estudadas.	71
Figura 26: Distribuição dos organismos. A numeração de cada morfoespécie encontra-se na tabela acima.	73
Figura 27: Distribuição dos organismos. A numeração de cada morfoespécie encontra-se na tabela acima.	75
Figura 28: Distribuição dos organismos. A numeração de cada morfoespécie encontra-se na tabela acima.	77
Figura 29: Distribuição dos organismos. A numeração das morfoespécies encontra-se	

na tabela acima.	80
Figura 30: Distribuição dos organismos. A numeração das morfoespécies encontra-se na tabela acima.	83
Figura 31: Distribuição dos organismos. A numeração das morfoespécies encontra-se na tabela acima.	85
Figura 32: Distribuição dos organismos. A numeração das morfoespécies encontra-se na tabela acima.	87
Figura 33: Hemiptera: Emesinae.	89
Figura 34: Opiliones: Goniosoma sp.	89
Figura 35: Lepidoptera: Ascalapha sp.	89
Figura 36: Lepidoptera: Noctuidae.	89
Figura 37: Araneae com ooteca.	89
Figura 38: Araneae: Isoctenus sp.	89
Figura 39: Araneae: Mesabolivar sp1.	90
Figura 40: Araneae: Mesabolivar sp2.	90
Figura 41: Ooteca de Enoploctenus sp. com milhares de imaturos.	90
Figura 42: Opiliones: Goniosomatinae.	90
Figura 43: Opiliones: Mitogoniella sp.	91
Figura 44: Diptera: Psychodidae.	91
Figura 45: Alguns exemplos de recursos orgânicos encontrados nas cavidades.	91
Figura 46: Anoura caudifer no interior da Cavidade MJ-01 campanha estação seca. .	92
Figura 47: Cavidade MJ-01, período chuvoso.	92
Figura 48: Distribuição dos pontos onde se mediram a temperatura e a umidade na Cavidade MJ-01, nas campanhas seca e chuvosa.	94
Figura 49: Glossophaga soricina.	95
Figura 50: Distribuição dos pontos onde se mediram a temperatura e a umidade.	96

Figura 51: Interior da Caverna MJ-03.....	97
Figura 52: Glossophaga soricina.	97
Figura 53: Distribuição dos pontos onde se mediram a temperatura e a umidade na Caverna MJ-03 nas campanhas seca e chuvosa.	98
Figura 54: Interior da Caverna MJ-04.....	99
Figura 55: Distribuição dos pontos onde se mediram a temperatura e a umidade	100
Figura 56: Parte da colônia de Anoura.....	101
Figura 57: Guano no interior da	101
Figura 58: Macho escrotado de Anoura geoffroyi capturado no interior da Caverna MJ-05.	102
Figura 59: Utilização de puçá para coleta na caverna MJ- 05.	102
Figura 60: Distribuição dos pontos onde se mediram a temperatura e a umidade	104
Figura 61: Rede de neblina armada no interior da caverna MJ-06.	105
Figura 62: Distribuição dos pontos onde se mediram a temperatura e a umidade	106
Figura 63: Distribuição dos pontos onde se mediram a temperatura e a umidade	107
Figura 64: Leptodactylus sp, encontrado no interior da caverna MJ-05.....	110
Figura 65: Anfíbio anuro, encontrado no interior da caverna MJ-04.	110
Figura 66: Fluxograma de classificação do grau de relevância de cavernas naturais subterrâneas, segundo a Instrução Normativa N. 2, do MMA.	114
Figura 67: Medição da projeção horizontal de acordo com o método da descontinuidade.	115
Figura 68: Chave de classificação do grau de relevância da caverna MJ-01.....	146
Figura 69: Chave de classificação do grau de relevância da caverna MJ-02.....	147
Figura 70: Chave de classificação do grau de relevância da caverna MJ-03.....	148
Figura 71: Chave de classificação do grau de relevância da caverna MJ-04.....	149
Figura 72: Chave de classificação do grau de relevância da caverna MJ-05.....	150

Figura 73: Chave de classificação do grau de relevância da Caverna MJ-06..... 151
Figura 74: Chave de classificação do grau de relevância da Caverna MJ-07..... 152

Índice de Quadros

Quadro 1: Caminhamentos e pontos de controle distribuídos pelas unidades estratigráficas e rochas correspondentes. 28

Índice de Tabelas

Tabela 1: Dados das cavernas já conhecidas. 28
Tabela 2: Dados das cavernas encontradas no trabalho de prospecção espeleológica. 29
Tabela 3: Sinonímia das cavernas encontradas na prospecção..... 29
Tabela 4: Taxonomistas, especialistas responsáveis pela identificação do material do presente estudo. Os grupos Araneae e Opiliones foram depositados nas coleções dos taxonomistas responsáveis, os demais grupos foram depositados no Museu da PUC, Minas Gerais. 35
Tabela 5: Padrões para estimar riqueza e diversidade para morcegos cavernícolas. . 37
Tabela 6: Coordenadas UTM e dados espeleométricos das cavernas estudadas..... 46
Tabela 7: Valores espeleométricos das cavernas de Jangada. 52
Tabela 8: Considerações sobre os aspectos econômicos, culturais e históricos das cavernas estudadas..... 65
Tabela 9: Riqueza e abundância de invertebrados encontrados nas cavernas estudadas..... 66
Tabela 10: Espécies de invertebrados encontrados nas cavernas do estudo e suas respectivas abundâncias. 67
Tabela 11: Resumo dos dados coletados no interior das cavernas estudadas. T:

temperatura medida em graus Celsius. U: umidade relativa do ar medida em porcentagem.....	70
Tabela 12: Abundância das espécies encontradas na cavidade MJ-01.	72
Tabela 13: Abundância das espécies encontradas na cavidade MJ-02.	74
Tabela 14: Abundância das espécies encontradas na cavidade MJ-03.	76
Tabela 15: Abundância das espécies encontradas na cavidade MJ-04.	78
Tabela 16: Abundância das espécies encontradas na cavidade MJ-05.	81
Tabela 17: Abundância das espécies encontradas na cavidade MJ-06.	84
Tabela 18: Abundância das espécies encontradas na cavidade MJ-07.	86
Tabela 19: Espécies capturadas no interior da Cavidade MJ-01, na campanha seca.	93
Tabela 20: Temperatura e umidade no interior da Cavidade MJ-01, na campanha seca.	93
Tabela 21: Temperatura e umidade no interior da Cavidade MJ-01, na campanha chuvosa.	93
Tabela 22: Espécies capturadas no interior da Cavidade MJ-02, na campanha chuvosa.	95
Tabela 23: Temperatura e umidade no interior da Cavidade MJ-02, na campanha seca.	95
Tabela 24: Temperatura e umidade no interior da Cavidade MJ-02, na campanha chuvosa.	95
Tabela 25: Temperatura e umidade no interior da Cavidade MJ-03 na campanha seca.	97
Tabela 26: Temperatura e umidade no interior da Cavidade MJ-03 na campanha chuvosa.	97
Tabela 27: Temperatura e umidade no interior da Cavidade MJ-04 na campanha seca.	99
Tabela 28: Temperatura e umidade no interior da Cavidade MJ-04 na campanha chuvosa.	99

Tabela 29: Espécies capturadas no interior da Caverna MJ-05 na campanha seca.	102
Tabela 30: Espécies capturadas no interior da Caverna MJ-05, na campanha chuvosa.	102
Tabela 31: Temperatura e umidade no interior da Caverna MJ-05 na campanha seca.	103
Tabela 32: Temperatura e umidade no interior da Caverna MJ-05 na campanha chuvosa.	103
Tabela 33: Espécies capturadas no interior da Caverna MJ-06, na campanha chuvosa.	105
Tabela 34: Temperatura e umidade no interior da Caverna MJ-06, na campanha seca.	105
Tabela 35: Temperatura e umidade no interior da Caverna MJ-06, na campanha chuvosa.	105
Tabela 36: Temperatura e umidade no interior da caverna Caverna MJ-07, na campanha seca.	107
Tabela 37: Temperatura e umidade no interior da caverna Caverna MJ-07, na campanha chuvosa.	107
Tabela 38: Classificação de relevância máxima – atributos físicos e culturais.	117
Tabela 39: Tabela de atributos de Relevância Máxima.	120
Tabela 40: Síntese da classificação em termos de importância acentuada sob enfoque local e regional. Atributos físicos.	121
Tabela 41: Parâmetros espeleométricos da projeção horizontal, desnível, área e volume do enfoque regional para as cavernas ferríferas.	122
Tabela 42: Síntese da classificação dos atributos que conferem importância acentuada sob enfoque local.	125
Tabela 43: Atributos físicos que conferem importância significativa sob enfoque local e regional.	127
Tabela 44: Parâmetros espeleométricos da projeção horizontal, desnível, área e	

volume do enfoque regional para as cavernas ferríferas.	128
Tabela 45: Atributos físicos adicionais que conferem importância significativa sob enfoque local.	130
Tabela 46: Parâmetros espeleométricos na escala local das cavernas ferríferas.	131
Tabela 47: Atributos considerados para classificação de grau de relevância entre: alto, médio e baixo	136
Tabela 48: Síntese da relevância das cavidades estudadas na AID da mina da Jangada de acordo com a configuração de importância dos atributos físicos.	142
Tabela 49: Síntese da relevância das cavidades estudadas na AID da mina Jangada de acordo com a configuração de importância dos atributos biológicos.	143
Tabela 50: Síntese da relevância das cavidades estudadas na AID da mina da Jangada de acordo com a configuração de importância dos atributos físicos.	144
Tabela 51: Amostra na escala local.	166
Tabela 52: Amostra na escala regional.	169

1 INTRODUÇÃO

A necessidade e a preocupação com a preservação, conservação e utilização dos recursos naturais de forma sustentável no Brasil obteve maior destaque a partir da criação, em 31 de agosto de 1981, da Lei n.º 6.938, a qual estabeleceu a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA). Entretanto, foi a partir de 1988 com a instituição da Constituição da República Federativa do Brasil que a PNMA foi consolidada. Segundo esta legislação, qualquer utilização de recursos naturais deve ser precedida de um licenciamento ambiental como forma de garantir o controle social sobre o patrimônio natural do País.

Para se tornar possível a garantia da execução dos instrumentos da PNMA, foi estabelecida a Lei n.º 7.735 de 22 de fevereiro de 1989, que criou o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), o qual absorveu atribuições de vários órgãos ambientais existentes até então.

O início da elaboração do Programa de Proteção às Cavidades Naturais Subterrâneas no Brasil deu-se em 1986 (Resolução n.º 009, de 24.01.86, publicada no D.O.U. de 07/04/86). No ano seguinte, o CONAMA aprovou o Programa Nacional de Proteção ao Patrimônio Espeleológico (Resolução n.º 005, de 06.08.87, publicada no D.O.U. de 22/10/87).

Com o objetivo de garantir a integridade do patrimônio espeleológico brasileiro, em 15 de junho de 1990, o IBAMA criou a Portaria 887 que estabeleceu uma área de proteção mínima de 250 metros ao redor das cavidades (*buffer*), até que sejam realizados estudos técnico-específicos que comprovem a real área de influência da mesma. A área de influência de uma cavidade natural subterrânea há de ser definida por estudos técnicos específicos, obedecendo às peculiaridades e características de cada caso. Ainda em 1990, o Decreto Federal 99.556 dispõe sobre a proteção das cavidades naturais e dá outras providências. Segundo esta norma legal, entende-se como cavidade natural subterrânea todo e qualquer espaço subterrâneo penetrável pelo homem, com ou sem abertura identificada, popularmente conhecido como caverna, incluindo seu ambiente, conteúdo mineral e hídrico, a fauna e a flora ali encontrados e o corpo rochoso onde os mesmos se inserem, desde que a sua formação haja ocorrido por processos naturais, independentemente de suas

dimensões ou do tipo de rocha encaixante. Nesta designação estão incluídos todos os termos regionais, tais como gruta, lapa, toca, abismo, furna e buraco.

O citado decreto prevê a obrigatoriedade da elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) para as ações ou os empreendimentos de qualquer natureza, ativos ou não, temporários ou permanentes, previstos em áreas de ocorrência de cavidades naturais subterrâneas ou de potencial espeleológico, os quais, de modo direto ou indireto, possam ser lesivos a essas cavidades, ficando sua realização, instalação e funcionamento condicionados à aprovação, pelo órgão ambiental competente, do respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA).

Consciente de seu papel institucional - atribuído pelo Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, e pela Portaria nº 887, de 15 de junho de 1990, o IBAMA criou, em 05 de junho de 1997 - Dia Mundial do Meio Ambiente, o Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo das Cavernas (CECAV) (Portaria nº 057, de 05 de junho/1997), com a atribuição de proteger o valioso patrimônio espeleológico brasileiro, valorizar e expressar o especial interesse em garantir a preservação dos frágeis ambientes de cavernas no país. Em 2007, com a criação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) houve a transferência do CECAV do IBAMA para o novo Instituto.

Em 2004, com o objetivo de aprimorar e atualizar o Programa Nacional de Proteção ao Patrimônio Espeleológico e considerando a necessidade de licenciamento ambiental das atividades que afetem ou possam afetar o patrimônio espeleológico ou a sua área de influência, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) instituiu a Resolução CONAMA 347/2004.

Em 7 de novembro de 2008, através do Decreto Nº 6.640, foram alterados os Arts. 1º, 2º, 3º, 4º e 5º e acrescentados os arts. 5-A e 5-B ao Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990. Essa alteração permite uma nova classificação para as cavidades naturais subterrâneas, que serão classificadas de acordo com seu grau de relevância em máximo, alto, médio ou baixo, determinado pela análise de atributos ecológicos, biológicos, geológicos, hidrológicos, paleontológicos, cênicos, histórico-culturais e socioeconômicos, avaliados sob os enfoque regional e local. Segundo este novo normativo legal, (Art. 5º-A), a localização, construção, instalação, ampliação,

modificação e operação de empreendimentos e atividades, considerados efetiva ou potencialmente poluidores ou degradadores de cavidades naturais subterrâneas, bem como de sua área de influência, dependerão de prévio licenciamento pelo órgão ambiental competente. Em seu § 1º, o órgão ambiental competente, no âmbito do processo de licenciamento ambiental, deverá classificar o grau de relevância da cavidade natural subterrânea, observando os critérios estabelecidos pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). Desta forma em 20 de agosto de 2009 o Ministro do Meio Ambiente Carlos Minc institui a Instrução Normativa 02 com o objetivo de estabelecer a metodologia para a classificação das cavidades naturais subterrâneas em graus de relevância.

Devido ao projeto de expansão da mina da Jangada pertencente a Vale e localizada nos municípios de Brumadinho e Sarzedo, MG, houve a necessidade da realização de um estudo espeleológico detalhado dentro da Área de Influência Direta (AID), de acordo com o Termo de Referência do IBAMA/CECAV, como cumprimento da condicionante nº 14, da LI 179/2008, processo COPAM N°. 118/2000/009/2007.

O Estudo de Impacto Ambiental e o Relatório de Impacto Ambiental (EIA-RIMA) foram elaborados pela empresa CERN – Consultoria e Empreendimentos de Recursos Naturais Ltda., em 2005. O EIA visou a avaliação das interferências do projeto de expansão no meio ambiente, bem como a verificação da sua viabilidade ambiental, servindo de base para o processo de licenciamento junto aos órgãos ambientais competentes. O RIMA foi estruturado de forma a apresentar a história do empreendimento; as áreas em que se deram os estudos ambientais; os procedimentos metodológicos dos estudos ambientais para a avaliação de impactos; os dados dos meios biótico, físico e socioeconômico obtido; a avaliação das reais interferências do empreendimento, visando sua minimização, mitigação e/ou compensação; a apresentação do programa de monitoramento dos recursos hídricos, nível de ruído, vibração, qualidade do ar e condições de estabilidade geotécnica das estruturas a serem edificadas.

O presente estudo visa a análise de relevância das sete cavidades naturais subterrâneas existentes na AID Jangada para fins de implementação de ações voltadas ao desenvolvimento sustentável e à conservação dos elementos abióticos, bióticos e culturais.

2 OBJETIVO

O objetivo geral deste relatório é apresentar os resultados dos estudos espeleológicos para a análise de relevância realizados nas sete cavidades inseridas na ÁID da mina da Jangada.

É também objetivo do presente trabalho cumprir a condicionante **14 da Licença de Instalação nº 179/2008** do protocolo nº **00118/2000/009/2007 DNPM 4909/1962** do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) e da Superintendência da Região Central Metropolitana de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Anexo 1).

Especificamente, pretende-se:

- ✓ Analisar os aspectos físicos das cavernas, incluindo sua morfologia e seus aspectos espeleométricos; a litologia e suas estruturas; seus aspectos hidrológicos e os depósitos clásticos e químicos;
- ✓ Analisar aspectos sócio-econômicos e culturais relativos às cavernas;
- ✓ Realizar o inventário da fauna cavernícola; buscando informações do ambiente cavernícola, como a existência de todas as zonas da cavernas, como zona eufótica (de entrada e com incidência de luz direta), zona disfótica (incidência de luz indireta) e zona afótica (escuridão total); caracterizar os tipos de recursos; medição das condições ambientais, presença ou ausência de fluxo de água, além de interações ecológicas incomuns que possivelmente ocorram nestes locais.
- ✓ Analisar o estado de conservação das cavernas e de seus entornos;
- ✓ Efetuar análise de relevância das sete cavidades, conforme determina o Decreto Federal 6.640 e a Instrução Normativa N.2, do Ministério do Meio Ambiente – MMA.

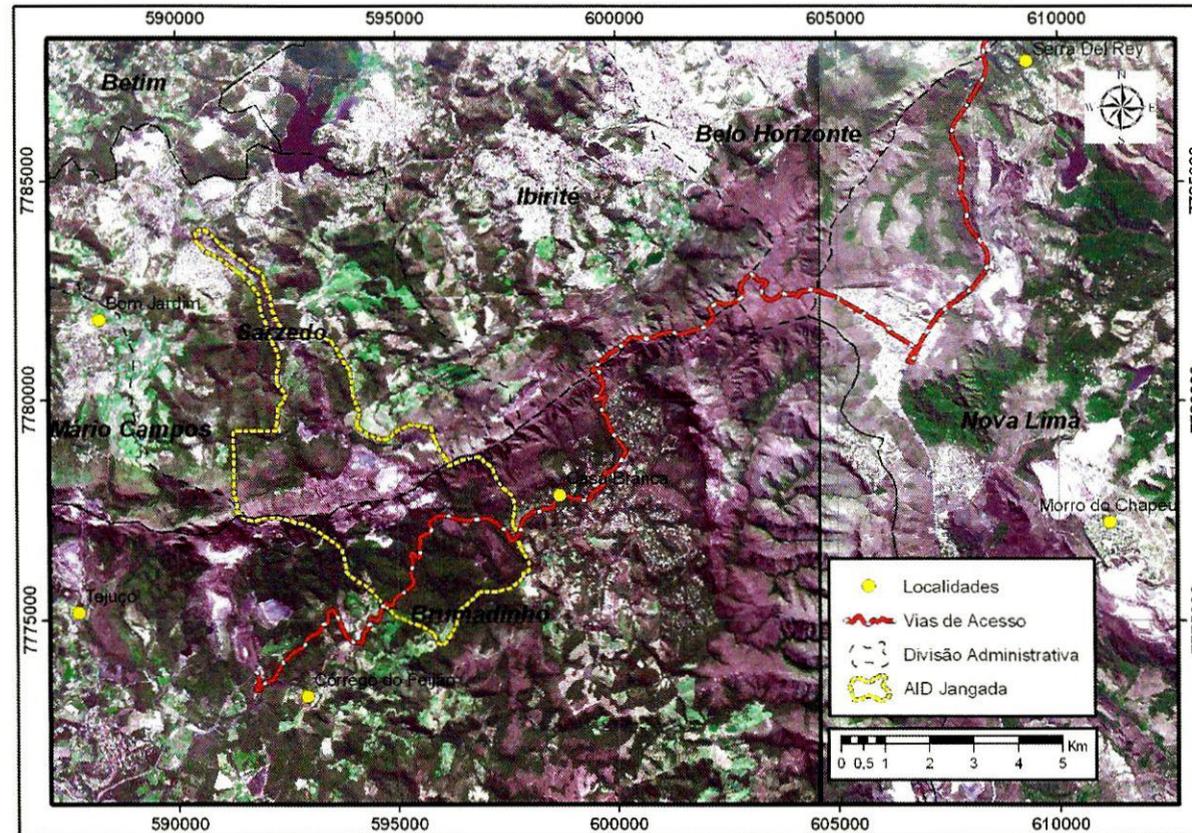
O estudo das áreas com potencial espeleológico e o estabelecimento da área de influência de uma cavidade, de acordo com o disposto na Constituição Federal art. 20, inciso X, Decreto n.º 99.556, de 01/10/1990, Portaria IBAMA n.º 887/90, de 15/06/1990, Resolução CONAMA n.º 237/97, de 19/12/1997, Resolução CONAMA n.º 347/04, de 13/09/2004 e IN n.º 100, de 05/06/2006, visa:

-
- ✓ Promover o conhecimento do potencial espeleológico da área de estudo;
 - ✓ Proteger a caverna, a flora e a fauna a ela associada;
 - ✓ Proteger o sistema hidrológico e hidrogeológico de áreas cársticas e pseudo-cársticas;
 - ✓ Proteger áreas ou locais que possuem atributos de valores naturais, sociais ou culturais;
 - ✓ Apresentar o zoneamento espeleológico com base em estudos técnicos específicos, como instrumento de gestão;
 - ✓ Disciplinar o uso de áreas cársticas e pseudo-cársticas definindo parâmetros a serem utilizados no controle de acesso e na implantação de infra-estrutura de uso turístico, se for o caso;
 - ✓ Propor medidas de controle dos efeitos negativos advindos da ação antrópica, bem como alternativas de recuperação de áreas degradadas;
 - ✓ Estimular a prática de educação ambiental.

3 LOCALIZAÇÃO, VIAS DE ACESSO E DESCRIÇÃO DA ÁREA

A AID Jangada está localizada na porção sul-sudoeste da região metropolitana de Belo Horizonte, mais precisamente no prolongamento oeste da serra do Curral, com direção aproximada NW, dispendo-se ortogonalmente à crista da serra. Abrange a norte o município de Sarzedo, a sudeste o distrito de Casa Branca e a sul o município de Brumadinho (Figura 1).

O acesso saindo de Belo Horizonte é feito pela BR-356. Após 5,7 Km continuar na BR-040 sentido Rio de Janeiro por mais 7,8 Km. Entra-se, então, a direita na rua Toronto que dá acesso ao Bairro Jardim Canadá. Logo após 0,7 km vire a direita na avenida Montreal seguindo-se até a entrada do Parque Estadual da Serra do Rola Moça. Seguindo na estrada Casa Branca – Ibirité após 12,0 km, a estrada troca o nome para avenida Casa Branca. Percorrendo mais 2,2 Km virar a direita seguindo pela rua Hum, já em Casa Branca. No final desta rua continuar pela mesma estrada que dá acesso ao município de Brumadinho. Após 3,0 Km entra-se na Área de Influência Direta (AID). Percorrendo mais 7,7 Km encontra-se a portaria da Vale, mina Córrego do Feijão, que dá acesso a parte norte da Área de Influência Direta (AID), como mostra a Figura 1.



Fonte: Dados disponibilizados pela Vale S.A..

Figura 1: Localização da AID Jangada com as vias de acesso (BR 356 e BR040 em vermelho).

4 PROCEDIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DO DIAGNÓSTICO

4.1 Prospecção espeleológica

✓ Levantamento Bibliográfico

Foram realizados estudos preliminares com levantamento bibliográfico de trabalhos já realizados na região. Nesta etapa foram estudados o mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero (Dorr, 1969), a hidrografia baseada no trabalho de Dorr (1969) e nas cartas topográficas do IBGE, as imagens de satélite e topografia com curvas de nível de 5 em 5 metros fornecidos pelo empreendedor. O objetivo deste levantamento foi a identificação de alvos como: formações ferríferas, cangas e drenagens.

✓ Análise Cartográfica

Com o objetivo de determinar com precisão as áreas de maior relevância a serem prospectadas, ou seja, áreas com maior potencial de ocorrência de cavernas, os trabalhos de prospecção foram precedidos de um estudo cartográfico da região, com ênfase na interpretação geológica.

✓ Prospecção

A prospecção foi realizada por quatro equipes, cada uma com um espeleólogo e um auxiliar de campo. Foi registrada através de linhas de caminhada em GPS da marca Garmin, modelo GPSMAP 60 CSX. O *datum* utilizado foi o SAD 69, Zona 23S. Para tanto foram utilizados veículos automotores, mapas base em escalas diversas, trenas de 5 metros e bússolas *Brunton*.

A fase de campo foi executada segundo o método de prospecção clássico (Brandt, 1988): caminhamentos intensivos e extensivos nas áreas de interesse, com o intuito de se buscar identificar as feições expressivas, como afloramentos, abatimentos e as entradas das cavidades.

Foi feita em escritório uma seleção das áreas de interesse e, em seguida, executou-se a prospecção espeleológica de campo. Na seleção das áreas alvo, priorizou-se a interface canga/formação ferrífera, os platôs de canga, a interface mata/canga, drenagens e afloramentos de canga e/ou itabirito.

Executou-se um reconhecimento geral da área. Nessa atividade percorreram-se todas as drenagens, bem como o seu entorno, áreas focos com potenciais geológicos como as áreas de canga e formações ferríferas e seus entornos dentro da AID Jangada.

Em áreas onde a litologia ou os padrões morfológicos do relevo apresentam maior potencial de ocorrência de cavernas, o caminhamento da prospecção foi realizado detalhadamente, a fim de identificar o maior número possível de cavernas.

Em áreas onde a litologia ou os padrões morfológicos do relevo apresentam baixo potencial de ocorrência de cavernas, o caminhamento da prospecção foi realizado de forma extensiva.

Em áreas de vegetação fechada foram realizados caminhamentos sistemáticos no sentido da drenagem de modo a se verificar a presença de fendas, drenagens capturadas ou feições propícias à ocorrência de cavernas. Também foram realizados caminhamentos transversais ao sentido da drenagem em pontos onde se verificou a presença de escarpas rochosas.

✓ **Cadastramento das Cavidades e Abrigos**

Quando da identificação de cavidades, uma breve caracterização de cada caverna também foi realizada, sendo preenchida a Ficha de Cadastro de Cavidades Naturais Subterrâneas fornecida pela Vale, além de registro fotográfico.

✓ **Resultados**

Foram percorridos aproximadamente 351.24 km de estradas, trilhas e picadas e realizados 404 pontos de controle (Quadro 1). Este caminhamento foi realizado nos diversos tipos litológicos existentes na área, tendo sido dada uma ênfase maior onde ocorrem as litologias mais propícias à ocorrência de cavidades (cangas e itabiritos).

O espaçamento entre as linhas de caminhamento foi irregular, pois o mesmo foi realizado priorizando as litologias e as feições geomorfológicas mais favoráveis à ocorrência de cavidades. Assim sendo, a maioria dos caminhamentos foi realizado ao longo de drenagens, escarpas de canga e outras quebras de relevo.

Quadro 1: Caminhamentos e pontos de controle distribuídos pelas unidades estratigráficas e rochas correspondentes.

Unidade Estratigráfica	Rocha	Caminhamento (Km)	Pontos Controle
Complexo Bonfim	Gnaisse	68,13	62
Complexo Belo Horizonte	Granito	15,55	7
	Canga	11,46	54
	Sedimentos Aluvionares	10,50	4
	Sedimentos Coluvionares	10,50	3
Formações Cauê / Gandarela	Itabirito	100,26	159
Grupo Piracicaba	Filito	45,01	46
Grupo Piracicaba	Quartzito	71,13	65
Grupo Sabará	Xisto	18,70	4

O caminhamento da prospecção espeleológica e a localização das cavidades identificadas encontram-se na Figura 2.

Na área da AID da mina da Jangada já se conheciam a existência de quatro cavidades naturais (Tabela 1), e com o final do trabalho de prospecção espeleológica foram encontradas três novas cavidades (Tabela 2), totalizando assim, sete cavidades naturais subterrâneas na AID da Jangada.

Tabela 1: Dados das cavidades já conhecidas.

Nome Cavidade	Coordenadas UTM		Alt. (m)	Desenv. (m)
	mE	mN		
MJ-01	597559	7776802	960	43
MJ-02	594199	7777638	1.303	32
MJ-03	594194	7777637	1.305	14
MJ-04	594104	7777594	1.301	46

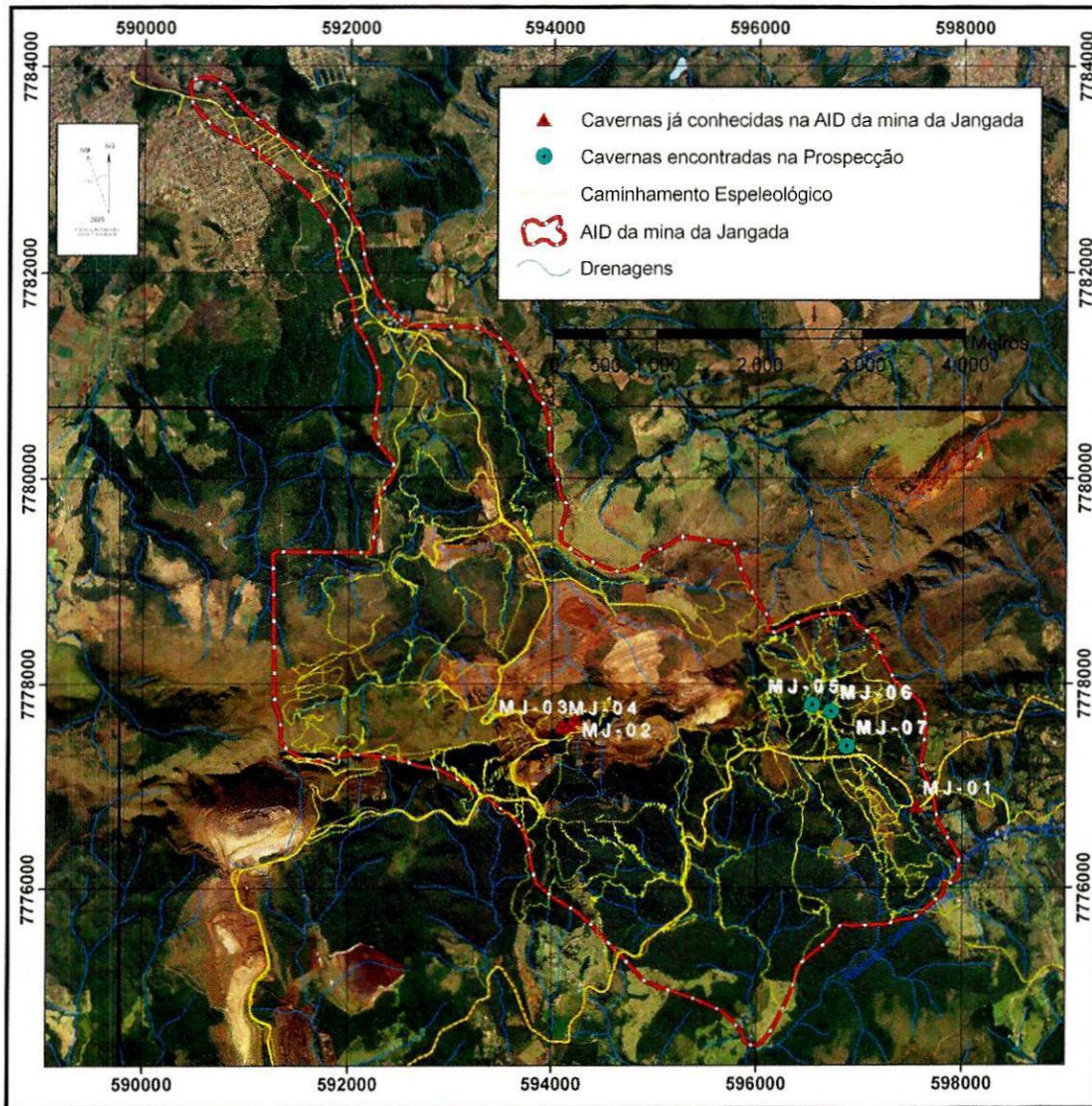
Tabela 2: Dados das cavidades encontradas no trabalho de prospecção espeleológica.

Nome Caverna	Coordenadas UTM		Alt. (m)	Desenv. (m)
	mE	mN		
QDF_JGD_A_CAV0001	596529	7777792	1.072	36,8
QDF_JGD_B_CAV0001	596719	7777746	1.061	23
QDF_JGD_B_CAV0002	596883	7777395	1.019	20

Com a finalidade de dar sequência na nomenclatura das cavernas já existentes na área, foi criada uma sinonímia para as novas cavernas encontradas (Tabela 3).

Tabela 3: Sinonímia das cavernas encontradas na prospecção.

Nome da Caverna	Sinonímia
QDF_JGD_A_CAV0001	MJ-05
QDF_JGD_B_CAV0001	MJ-06
QDF_JGD_B_CAV0002	MJ-07



Fonte: Dados disponibilizados pela Vale S.A..

Figura 2: Caminhamento espeleológico e localização das cavidades na AID da mina da Jangada.

4.2 Geoespeleologia

4.2.1 Levantamento Bibliográfico

Consiste em um levantamento bibliográfico sobre cavernas em minério de ferro no Brasil, com destaque para o Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais. Esse levantamento encontra-se em permanente atualização. Parte desse levantamento já se encontra publicado em revista especializada (Piló & Auler, 2005).

4.2.2 Levantamento Topográfico das Cavernas

Das sete cavidades estudadas, a Carste Consultores elaborou a topografia de três cavernas: MJ-05 (QDF_JGD_A_CAV0001), MJ-06 (QDF_JGD_B_CAV0001) e MJ- 07 (QDF_JGD_B_CAV0002). Já a topografia e os cálculos espeleométricos das cavidades MJ-01, MJ-02, MJ-03 e MJ-04 foram feitos pela equipe da Vale.

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

Os dados da topografia foram inseridos no *software On Station*, permitindo assim a visualização dos dados da linha de trena de forma tridimensional. Este controle permitiu a visualização de possíveis erros decorrentes da leitura em ambiente com forte interferência magnética.

A cartografia final foi realizada em *software AutoCAD*, com plataforma georeferenciada. Nesse programa foram finalizados os itens da planta baixa como contorno de paredes, curvas de nível, linha d'água, entre outros. As seções foram anexadas contendo dados altimétricos de modo a permitir, além da visualização do volume da cavidade, uma correlação com o ambiente externo.

A cartografia gerada também possibilitou a elaboração de cálculos espeleométricos,

incluindo projeção horizontal (método da descontinuidade), desnível, área e volume estimado. As altitudes das entradas das cavernas, assim como os *grids* de coordenadas UTM dos mapas, foram obtidos através do GPS Map60CSX.

Os mapas das cavidades são apresentados no Anexo 2.

4.2.3 Análise Litológica e das Estruturas

A análise da litologia abordou os diferentes litotipos, de modo a caracterizá-los e representá-los na cartografia gerada. Em algumas seções dos condutos foram representadas a rocha.

Igual atenção foi dada às estruturas existentes na rocha, representadas por juntas de alívio, fraturas, dobras e pelo próprio bandamento composicional da rocha ferrífera. 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, quando existentes, foi realizada com bússola *Brunton*.

4.2.4 Análise Morfológica

Nos estudos morfológicos buscou-se a compreensão do padrão planimétrico das cavernas com o objetivo de correlacioná-lo a dados estruturais e litológicos. Para tanto foram utilizadas a planta baixa e seções transversais e longitudinais dos condutos, uma vez que suas formas estão diretamente relacionadas aos processos de gênese e evolução dos vazios.

4.2.5 Hidrologia

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

4.2.6 Depósitos Clásticos, Orgânicos e Químicos

Depósitos de sedimentos clásticos foram classificados conforme sua granulometria e

descritos de modo a fornecer pistas sobre sua origem e sedimentação. Os depósitos orgânicos também foram descritos de forma breve, quando existentes. Os depósitos químicos foram identificados, fotografados e descritos individualmente ou em conjunto quando ocorreram em diferentes locais da mesma cavidade.

4.3 Bioespeleologia

4.3.1 Invertebrados

4.3.1.1 Materiais e Métodos

Coleta de dados

O levantamento de invertebrados foi realizado por meio de duas campanhas, uma no mês de junho de 2010 e outra campanha no mês de janeiro de 2011, em 7 cavidades naturais subterrâneas em área da Vale, na AID da Mina da Jangada (Figura 3). A licença de coleta emitida pelo Órgão Ambiental possui o número 096/2010 NUFAS/MG.

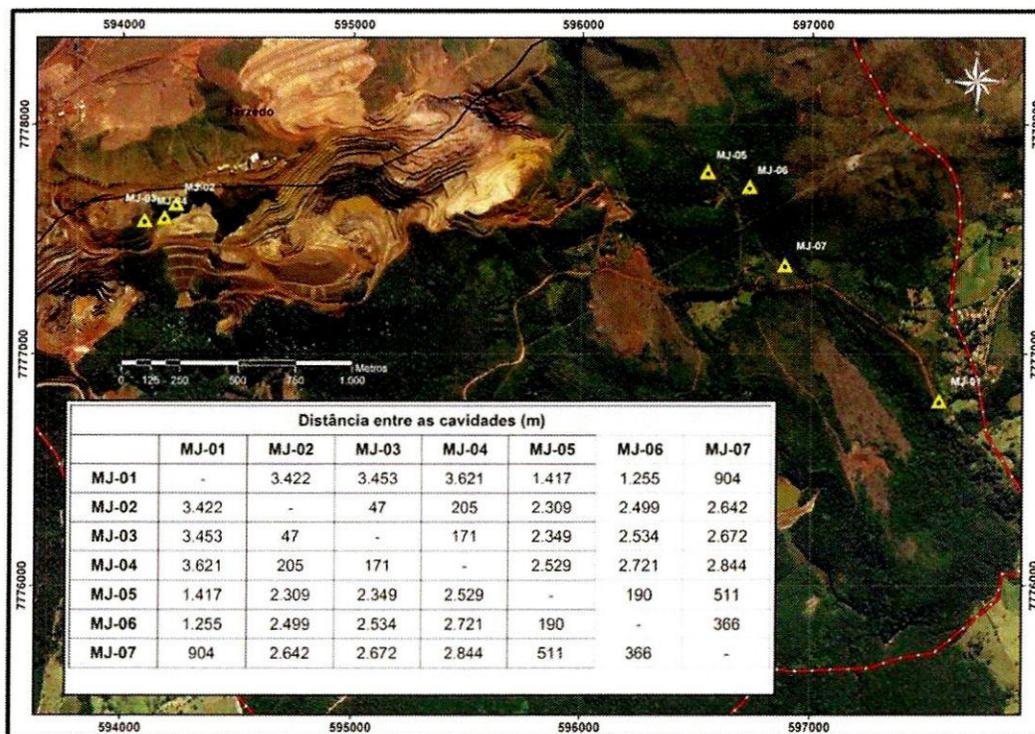


Figura 3: Imagem de aerolevanteamento esboçando os locais onde encontram-se as cavidades. Ao lado direito encontram-se as respectivas distâncias em metros entre as cavidades.

Para o levantamento dos invertebrados foi utilizado o método de coleta manual (Ferreira, 2004). A coleta manual envolve a busca na maior diversidade possível de ambientes encontrados no interior da gruta (por exemplo, substrato rochoso, banco de sedimento, depósitos de guano, detritos vegetais, raízes) nos quais os organismos foram capturados manualmente, com o auxílio de pincel e pinças.

Para registrar a temperatura e umidade relativa do ar foi utilizado termohigrômetro digital da marca INSTRUTEMP modelo ITHT 2200 com resolução de temperatura de 0,1°C e precisão de +/-1,0°C.

A área total de cada cavidade até a uma altura de 2 metros foi amostrada e informações adicionais obtidas para os organismos coletados foram anotadas, tais como: plotagem dos organismos no mapa da cavidade, eventuais comportamentos e interações ecológicas observadas durante o levantamento faunístico.

Os invertebrados coletados foram colocados em álcool 70% para fixação e conservação. O material foi triado e armazenado em álcool 70% e encaminhado a especialistas, visando à confirmação ou refinamento das identificações, bem como para análise de possíveis endemismos e troglomorfismos.

Alguns troglomorfismos são mais comuns e facilmente visualizados, como por exemplo a redução de olhos e pigmentação, porém estes e alguns outros podem não ser exclusivos de espécies troglóbias. E o contrário também ocorre: espécies exclusivamente subterrâneas que não apresentam troglomorfismos clássicos. Existem também espécies epígeas que apresentam alguns desses troglomorfismos, tais quais as que habitam ambientes escuros e que apresentam olhos e pigmentação reduzidos ou mesmo ausentes (Trajano & Bichuette, 2006).

Como dados de descrições de espécies encontradas em cavernas brasileiras ainda são escassos, e para que a chance de erros diminua quanto à classificação de um organismo como sendo exclusivamente subterrâneo, é necessário o apoio de especialistas em cada grupo (Tabela 4). Tais profissionais possuem uma maior gama de dados relacionados a estes organismos, o que possibilita uma melhor análise comparativa entre as espécies epígeas dentro do grupo, além das características morfológicas do organismo. Os organismos coletados foram enviados para especialistas para serem identificados até o menor nível taxonômico possível.

Tabela 4: Taxonomistas, especialistas responsáveis pela identificação do material do presente estudo. Os grupos Araneae e Opiliones foram depositados nas coleções dos taxonomistas responsáveis, os demais grupos foram depositados no Museu da PUC, Minas Gerais.

Grupo	Taxonomista	Instituição
Araneae	Antonio Brescovit	Butantan
Formicidae	Luiza Carla Martins	UFV
Isoptera	Cassiano Rosa	UFV
Opiliones	Ricardo Pinto-da-Rocha	USP
Orthoptera	Luiz Gustavo Souto Soares	UFV
Demais invertebrados	Luiz Gustavo Souto Soares	UFV

O mais prudente seria que todo o material fosse identificado por taxonomistas, de acordo com cada grupo. Porém a maioria dos artrópodes parece não despertar interesse nos estudos científicos, sejam de conservação, ecológicos e taxonômicos. Apenas alguns grupos, como mamíferos, peixes, besouros, aranhas, que são maiores e mais vistosos, atraem mais atenção dos cientistas, e conseqüentemente existe pouco conhecimento acumulado sobre a maioria dos invertebrados terrestres e muitas espécies foram sequer descritas, assim como informações sobre essas espécies também são muito escassas. Desta forma, análises a níveis taxonômicos superiores são feitas, na tentativa de tentar suprir a necessidade do conhecimento ao menos à nível da quantidade de morfoespécies, estimando a diversidade e contribuindo para a conservação desses ambientes.

Análise dos dados

A riqueza média nas cavidades estudadas foi obtida dentro do intervalo das médias \pm desvio padrão. A riqueza foi considerada alta acima deste intervalo de valores; e riqueza baixa abaixo deste intervalo de valores. As médias das riquezas foram feitas comparando-se as cavidades de mesma litologia sob enfoque local. Para isso foi utilizada a fórmula $M=Nt/Nc$, onde: M – média da riqueza; Nt – Soma das riquezas das cavidades estudadas; Nc – número de cavernas amostradas. Após o cálculo da média foi feito o cálculo do desvio padrão com a seguinte fórmula:

$$\sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n-1)}}$$

Onde: x – média da amostra; n – tamanho da amostra

A abundância relativa de espécies foi calculada utilizando indivíduos das espécies com adultos de tamanho corporal igual ou maior que 1 cm (Anexo 6). Através da abundância destas espécies nas cavernas estudadas, foram calculadas as médias ± desvio padrão para obter os intervalos de valores para as abundâncias baixa, média e alta, como explicado abaixo:

(1) abundância mínima de cada espécie foi considerada com o menor valor encontrado da determinada espécie; (2) abundância máxima com o maior valor encontrado; (3) abundância média foi a soma das abundâncias da determinada espécie dividida pela quantidade de cavernas onde a espécie ocorreu; (4) o desvio padrão foi calculado e somado com a média para que o valor de abundância relativa alta fosse estabelecido para cada espécie.

As espécies que possuíam abundância alta em determinada caverna foram somadas e feita sua porcentagem de acordo com a fórmula $AB = N * 100 / Nt$, onde: AB= Abundância relativa de espécies por caverna; N= Número de espécies com abundância alta; Nt= Número total de espécies encontradas na caverna. A partir do valor (%) encontrado, seguiu-se a nota de corte estipulada pela Instrução Normativa.

Assim, as cavidades que possuíam 30% ou mais de espécies com abundância alta foram classificadas com abundância relativa de espécies alta. Cavidades com 11 a 29% abundância relativa média e até 10% abundância relativa baixa. Espécies que apresentaram ocorrência em apenas uma cavidade foram automaticamente consideradas como de abundância alta.

Para definição de troglóbio raro foram utilizadas as seguintes etapas: (1) definição de raridade pelo especialista do grupo; (2) presença da espécie troglóbia em até três cavidades da amostra considerada (área de influência do Projeto Mina Jangada). Espécies troglóbias que tiveram distribuição em mais cavidades do projeto foram consideradas como troglóbios não raros.

4.3.2 Chiroptera

4.3.2.1 Materiais e Métodos

Todas as cavidades em questão foram visitadas por um responsável pelo levantamento de quirópteros. Nas cavernas onde se observou a presença de morcegos, a amostragem foi realizada com o auxílio de redes de neblina de 6 m x 2,5 x 20 mm. As mesmas foram montadas na parte interior da cavidade, procurando encobrir a entrada/saída da mesma, no período de transição entre crepuscular – noturno, permanecendo montada até o momento em que a colônia for identificada. Utilizou-se o termohidrômetro (Figura 4) para medir a temperatura e umidade no interior da cavidade.

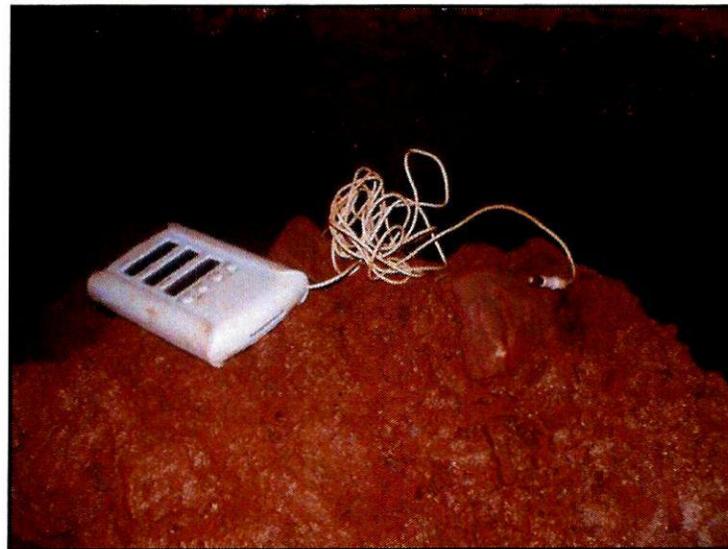


Figura 4: Termohidrômetro.

Os dados de riqueza foram gerados apartir da Tabela 5.

Tabela 5: Padrões para estimar riqueza e diversidade para morcegos cavernícolas.

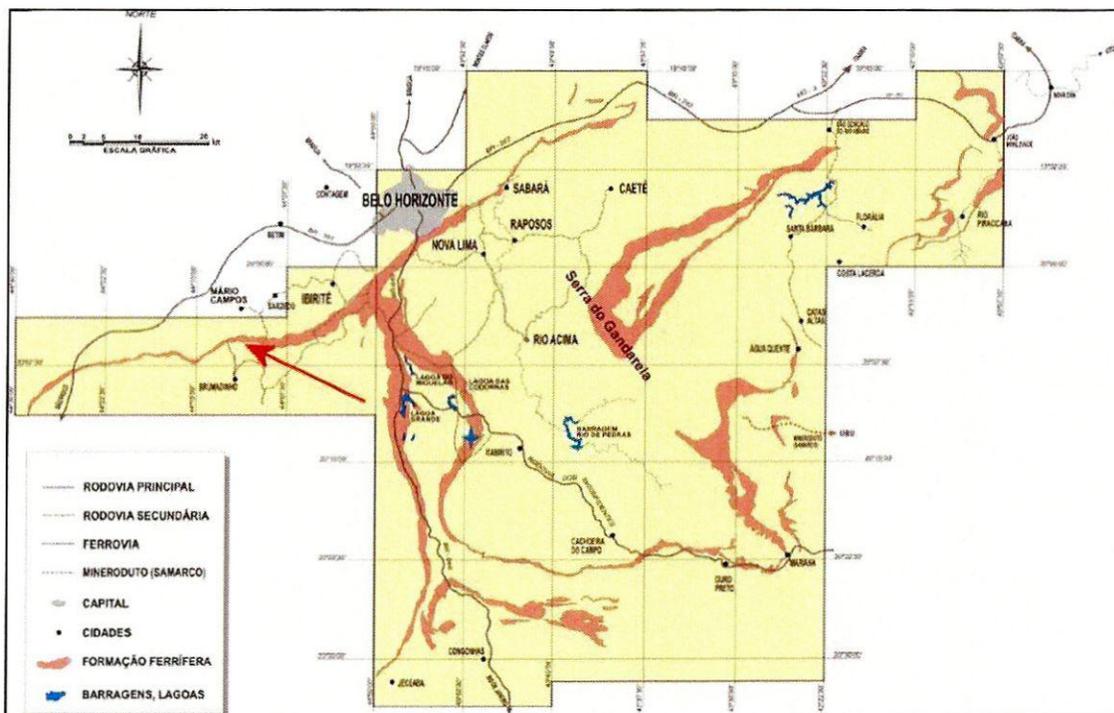
	Nenhum registro	Registro em uma campanha de apenas uma espécie.	Registro nas duas campanhas de até duas espécies.	Registro nas duas campanhas de 3 ou mais espécies
Riqueza	Ausente	Baixa	Média	Alta

Para a abundância relativa foi levado em conta os dados bibliográficos com relação ao tamanho das colônia de cada espécie.

5 INSERÇÃO DAS CAVERNAS NO CONTEXTO GEOLÓGICO

Em escala regional, as cavernas abordadas neste estudo estão inseridas na porção NW do Quadrilátero Ferrífero (Figura 5). Esta unidade geomorfológica, que limita a sul o Craton do São Francisco, abrange uma área de aproximadamente 7.200 km², cuja geomorfologia apresenta forte controle litoestrutural, gerando um relevo movimentado, com serras e cristas entrecortadas por zonas de dissecação responsáveis por elevado gradiente altimétrico.

A área onde ocorrem as cavernas de Jangada é constituída por material coluvionar (canga) fornecido pela formação ferrífera, posicionada em nível topograficamente mais elevado. A grande maioria das cavidades ferríferas está inserida na Formação Cauê e na canga que a recobre.



Fonte: MBR, 2005

Figura 5: Localização da área de estudo (seta vermelha) no Quadrilátero Ferrífero.

A Formação Cauê é composta por três litotipos: (1) itabirito (quartzo, hematita, magnetita), (2) itabirito dolomítico (quartzo, hematita, magnetita e dolomita) e (3)

itabirito anfibolítico. Estes, por sua vez, podem encontrar-se localmente intercalados com pequenas lentes de filito ou rocha carbonática. Deve-se também destacar a presença de coberturas detríticas, caracterizadas por canga que recobre a Formação Cauê em grande parte da área estudada.

Segundo Rosière *et al.* (2005), o termo itabirito foi originalmente definido por Eschwege, em 1822, em Minas Gerais, para descrever uma rocha maciça, às vezes apresentando textura xistosa a granular, composta por hematita, especularita e por vezes magnetita, caracterizando dessa forma a formação ferrífera mineralizada e o minério de ferro compacto.

Dorr (1964) definiu o itabirito como “uma unidade ferrífera metamórfica da fácies óxido, na qual as bandas de chert foram recristalizadas em quartzo granular e na qual o ferro encontra-se nas fases hematita, magnetita ou martita...” podendo ocorrer também os minerais: sericita, clorita, talco e anfibólios.

Na Formação Cauê ocorrem corpos de minério de ferro de alto teor, com concentrações de Fe maiores que 64% (Figura 6). Segundo Rosière e Rios (2004), a origem dos depósitos de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero é hidrotermal e foi desenvolvida em duas fases: uma de mineralização da magnetita e outra oxidante, com mineralização em hematita. A primeira está associada à primeira fase de dobramentos gerada durante a fase compressiva do Ciclo Transamazônico, de idade paleoproterozóica. A segunda, por sua vez, foi gerada após a segunda fase de dobramentos, onde a nucleação das dobras é concomitante com a formação do Sinclinal Moeda. Esta fase está relacionada à ascensão de blocos granito-gnáissicos, que provocou a verticalização de camadas durante a fase de colapso da orogênese, em condições relativamente rasas (Alkmim & Marshak, 1998). Essa estruturação, segundo os referidos autores, aumentou a permeabilidade da rocha e permitiu a percolação de fluídos meteóricos oxidantes, que resultaram em uma nova mineralização em ferro. No Ciclo Brasileiro (Neoproterozóico), um último evento compressivo foi responsável pelo desenvolvimento de falhas e zonas de cisalhamento, de importância metalogenética restrita.

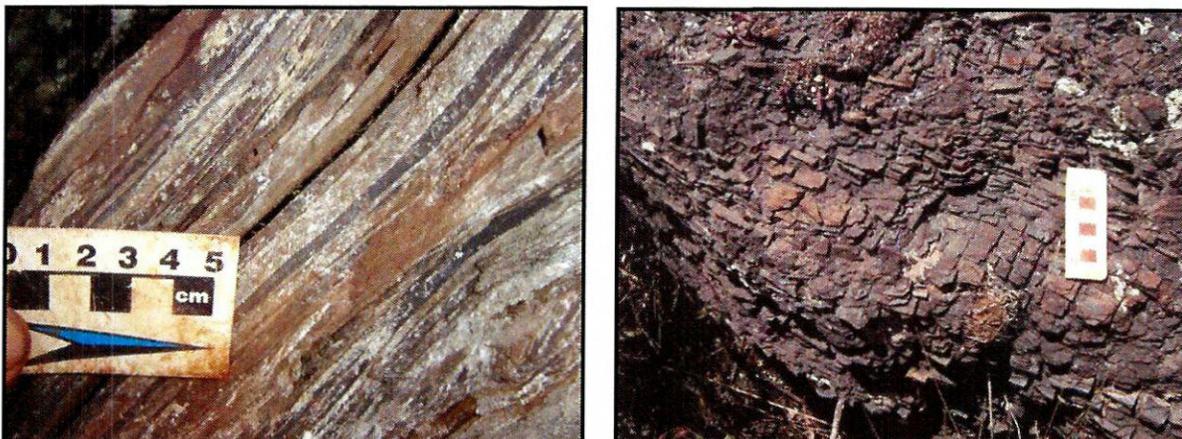
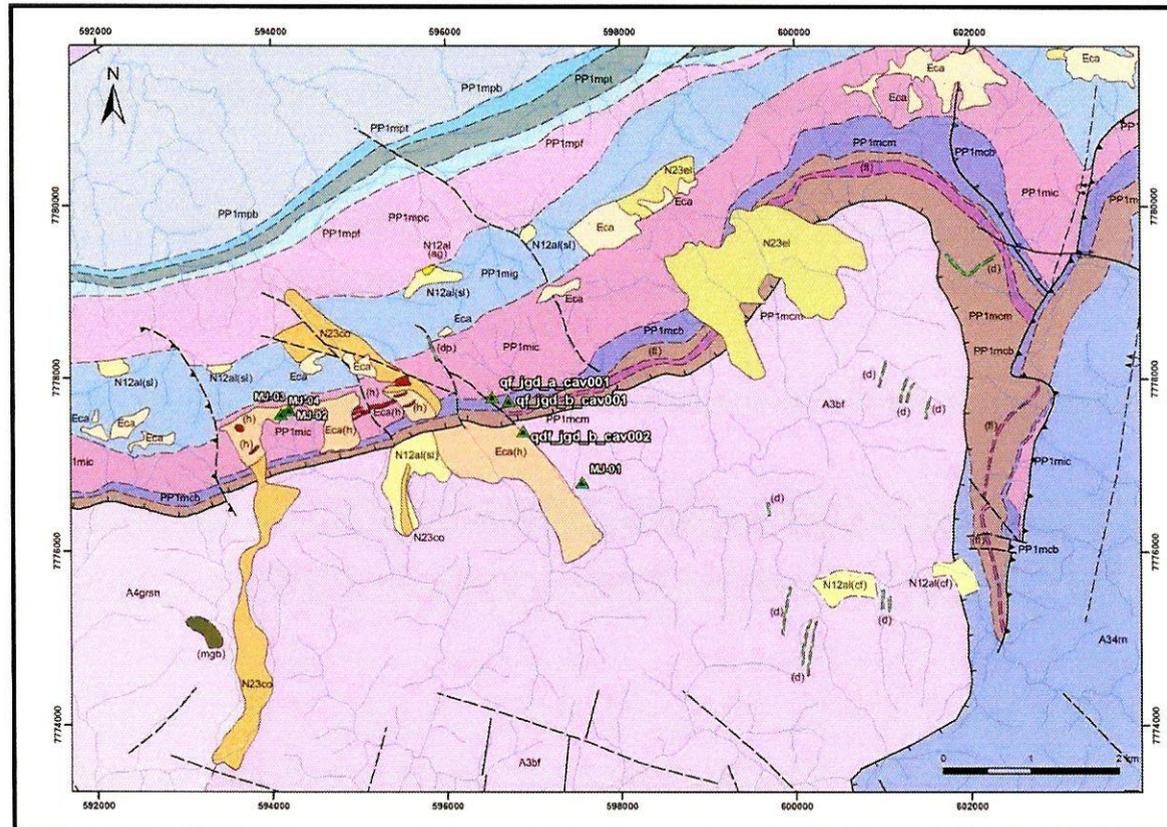


Figura 6: À esquerda, itabirito caracterizado pela alternância de bandas de quartzo e óxido de ferro na Serra da Moeda; à direita, minério de ferro compacto de alto teor na Mina do Pico, apresentando relictos do bandamento sedimentar.

As coberturas de canga, que recobrem a formação ferrífera, são importantes ambientes para a formação de cavernas. Produto da alteração da rocha ferrífera, as cangas são constituídas por material detrítico normalmente cimentado por óxido de ferro hidratado (limonita). A gênese da canga é ainda objeto de discussão, porém quanto à origem todos os autores concordam que está relacionada à Formação Cauê, apesar de ocorrerem coberturas de canga sobre outras formações, a exemplo das formações Gandarela, Batatal e Moeda.

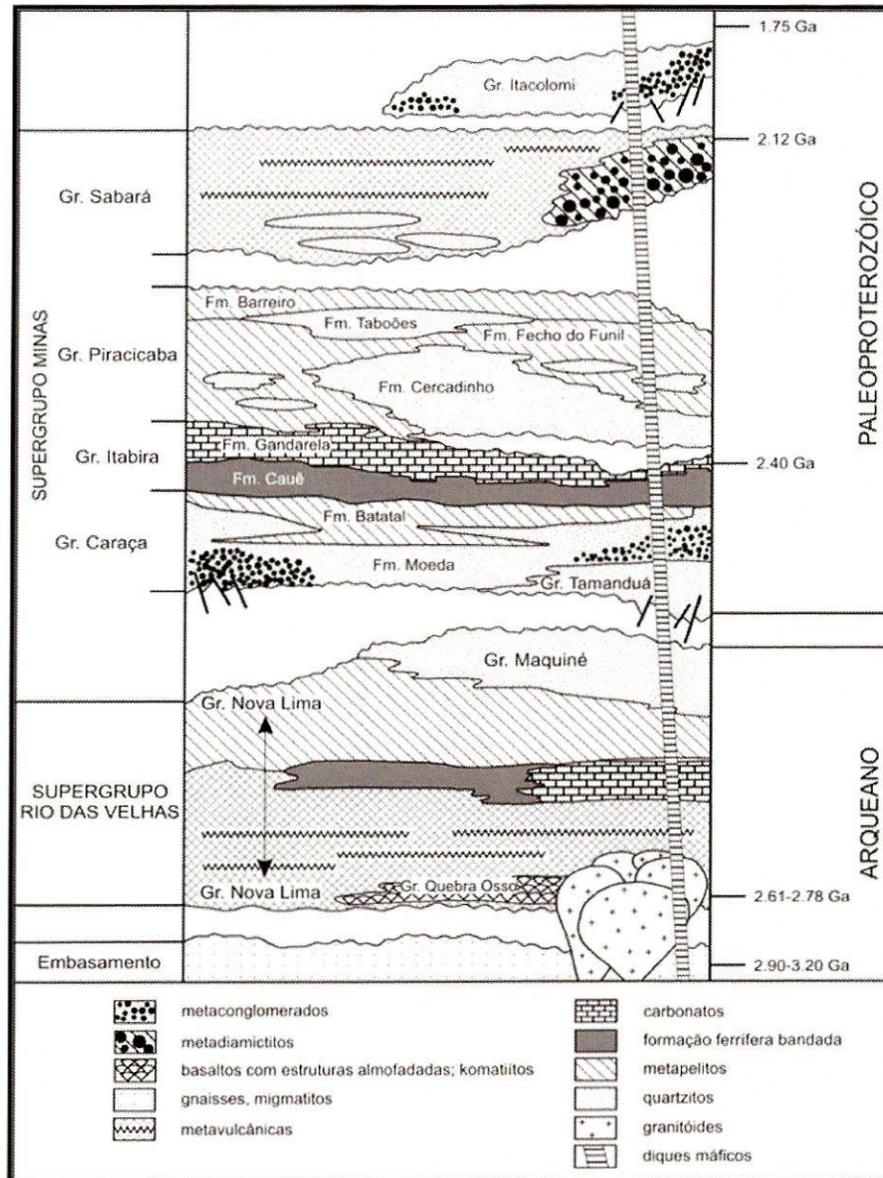
Ocorrendo no topo das serras e em algumas encostas, a canga atinge espessura média entre 2 e 10 m. Segundo Dorr (1969), ocorrem três tipos de canga: (i) canga normal, contendo entre 20 – 80% de fragmentos detríticos de hematita ou itabirito ocorrendo em encostas com inclinação de até 20% sobre itabiritos da Formação Cauê; (ii) canga rica, consistindo em um aglomerado de hematita composto por fragmentos angulares ou arredondados de granulometria variando desde seixo até grandes blocos, no qual o cimento preenche interstícios ou está presente em quantidade bastante apenas para manter os fragmentos coesos e (iii) canga química contendo muito pouco, por volta de 5 – 10%, de material detrítico comportando fragmentos em geral menores do que 1 cm e muita limonita, ocorrendo comumente em locais afastados da Formação Cauê. As sete cavernas da Jangada estão inseridas na canga, que recobre, localmente, rochas das formações Batatal, Moeda e Cauê (Figuras 7 e 8).



Fonte: Mapa Geológico de Brumadinho; 1:50.000; UFMG/CODEMIG, 2005.

Figura 7: Mapa geológico da área da Mina Jangada, indicando a localização das cavernas inseridas na canga (Eca(h), que recobrem rochas das formações Batatal (PP1mcb) Moeda (PP1 mcm) e Cauê (PP1mic).

A Figura 8 apresenta a coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero.



Fonte: CPRM modificado de Alkmim (1998).

Figura 8: Coluna estratigráfica proposta para o Quadrilátero Ferrífero.

6 ESPELEOLOGIA REGIONAL

6.1 Cavernas nas Rochas Ferríferas

Segundo levantamento de Piló & Auler (2005), 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: *“Dans les cavités qui accompagnent souvent les couches de quartz, on trouve de petites stalactites de sous-sulfate de fer et des cristaux de néoctèse”* (Pissis, 1842, p. 380). Em 1871, o mineralogista inglês William Jory Henwood (1871, p.225) descreveu a existência de estreitas fendas em itabirito na região de Água Quente, Quadrilátero Ferrífero: *“...crevices are numerous; some of these are several fathoms in length and height, but few are more than a couple of lines and none exceed two inches in width”*. No mesmo estudo, Henwood (1871) menciona estalactites e crostas de minério de ferro no mesmo local: *“...the hydrous oxide of iron hangs in stalactites from the roofs and forms tuberculated crusts on the floors of others...”*

Após as descrições pioneiras de Pissis e Henwood, registram-se menções esparsas sobre cavernas, como a de Tassini (1947), que descreve uma cavidade em minério de ferro na Serra do Curral, nas proximidades de Belo Horizonte.

Com a atuação sistemática dos geólogos do *United States Geological Survey* (USGS), a partir do final da década de 1950, passamos a ter estudos mais detalhados sobre as cavidades. Guild (1957) descreveu uma cavidade denominada Casa de Pedra, na atual mineração de mesmo nome da CSN. Deve-se ao geólogo norte americano George Simmons os estudos mais detalhados sobre as cavernas em minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero (Auler, 2005). O trabalho clássico de Simmons (1963) contempla diversas cavidades na Serra do Batateiro, na Serra do Tamanduá, no Morro da Queimada e na Serra do Curral. Além da descrição, Simmons elabora um interessante modelo genético e detalha a mineralogia das grutas. Simmons (1963) apresenta, ainda, uma breve compilação de cavidades observadas por colegas geólogos do USGS, como J.V.N. Dorr II, que reportou cavidades no distrito de Itabira e C.H. Maxwell, que visitou uma grande caverna (já destruída pela atividade minerária) na Fazenda Alegria, próxima à Serra do Caraça. O trabalho de Simmons (1963) foi recentemente traduzido e comentado em publicação dedicada a cavernas em minério

de ferro (revista O Carste, vol. 17, n. 3). Em trabalho complementar, Simmons (1964) detalha a mineralogia de fosfatos encontrados em caverna na Serra do Tamanduá. Breves menções são também efetuadas em trabalhos de síntese como o de Dorr (1969). Recentemente houve uma retomada dos estudos espeleológicos nas cavernas em minério de ferro e canga do Quadrilátero Ferrífero.

Segundo Auler & Piló (2007), as cavernas de minério de ferro e canga do Quadrilátero Ferrífero são em geral de pequenas dimensões, poucas vezes superando 100 m de projeção horizontal. Inserem-se normalmente na base de pequenas escarpas rochosas (em geral de canga) perpendiculares ao maior declive de vertentes, estando localizadas tanto em alta quanto em média vertente, em geral associadas a pequenas manchas arbóreas em meio à vegetação de campos ferruginosos. As entradas são de pequenas dimensões, dando acesso a galerias mais amplas.

O padrão em planta apresenta câmaras maiores, algumas vezes desenvolvidas paralelamente à escarpa, interligadas por dutos de menores dimensões. Canalículos na base das paredes representam prolongamentos estreitos que conferem irregularidade ao perímetro da gruta. Pendentes e pilares são feições comumente observadas, notadamente em cavernas inseridas em canga detritica. O piso normalmente possui inclinação concordante com a inclinação da vertente. Trata-se de cavernas muito pouco profundas em relação à superfície do terreno, o que favorece colapso do teto e geração de pequenas clarabóias.

A iniciação destas cavernas aparentemente ocorre no interior do maciço rochoso, sem relação direta com processos epigênicos. A porosidade inicial é gerada devido à lixiviação de horizontes de carbonato e sílica, levando à criação de zonas de baixa densidade ricas em ferro no interior da rocha. Assim sendo, o processo espeleogenético está intimamente relacionado à geração de zonas de alto teor em minério de ferro. Zonas de contato entre a canga e o minério, e também base de escarpas, também constituem *loci* favoráveis à iniciação espeleogenética. As cavernas evoluem, a princípio, sem um contato com o exterior, que é gerado tardiamente através da abertura de entradas associadas a rupturas do manto de canga. A evolução posterior dá-se através do carreamento de sedimentos finos via canalículos ou orifícios nas paredes e teto, além de abatimentos.

Abundante deposição química é encontrada nas cavernas, englobando mineralogia diversificada do grupo de óxidos de ferro (hematita, goethita, maghemita), óxidos de alumínio (gibbsita), fosfatos (leucosfita, variscita, estrengita e fosfoferrita), sulfatos (aluminita, gipsita), além de quartzo, alguns destes minerais bastante raros ou mesmo identificados pela primeira vez em ambiente de caverna (Hill & Forti, 1997).

7 ESPELEOLOGIA DA AID DA MINA DA JANGADA

7.1 Resultados Geoespeleológicos

Neste item serão apresentados os resultados dos estudos realizados em sete cavernas existentes na área de influência da Mina da Jangada. As coordenadas UTM e os dados espeleométricos das cavernas estudadas estão listados na Tabela 6. A localização das cavernas pode ser observada na Figura 9. Os mapas topográficos estão no Anexo 2. As fichas de geoespeleologia de cada caverna encontram-se no Anexo 3.

Tabela 6: Coordenadas UTM e dados espeleométricos das cavidades estudadas.

Cavidade	Coordenadas UTM		Altitude (m)	Projeção Horizontal (m)	Desnível (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
	UTM leste	UTM norte					
MJ-01	597559	7776802	960	43	3,6	162	140,7
MJ-02	594199	7777638	1.303	32	1,4	45	59,6
MJ-03	594194	7777637	1.305	14	2,5	18	19,9
MJ-04	594104	7777594	1.301	46	6,3	97	44
QDF_JGD_A_CAV0001	596529	7777792	1.072	36,8	6,8	209	384
QDF_JGD_B_CAV0001	596719	7777746	1.061	23	3,2	59,1	104
QDF_JGD_B_CAV0002	596883	7777395	1.019	20	1	34	26

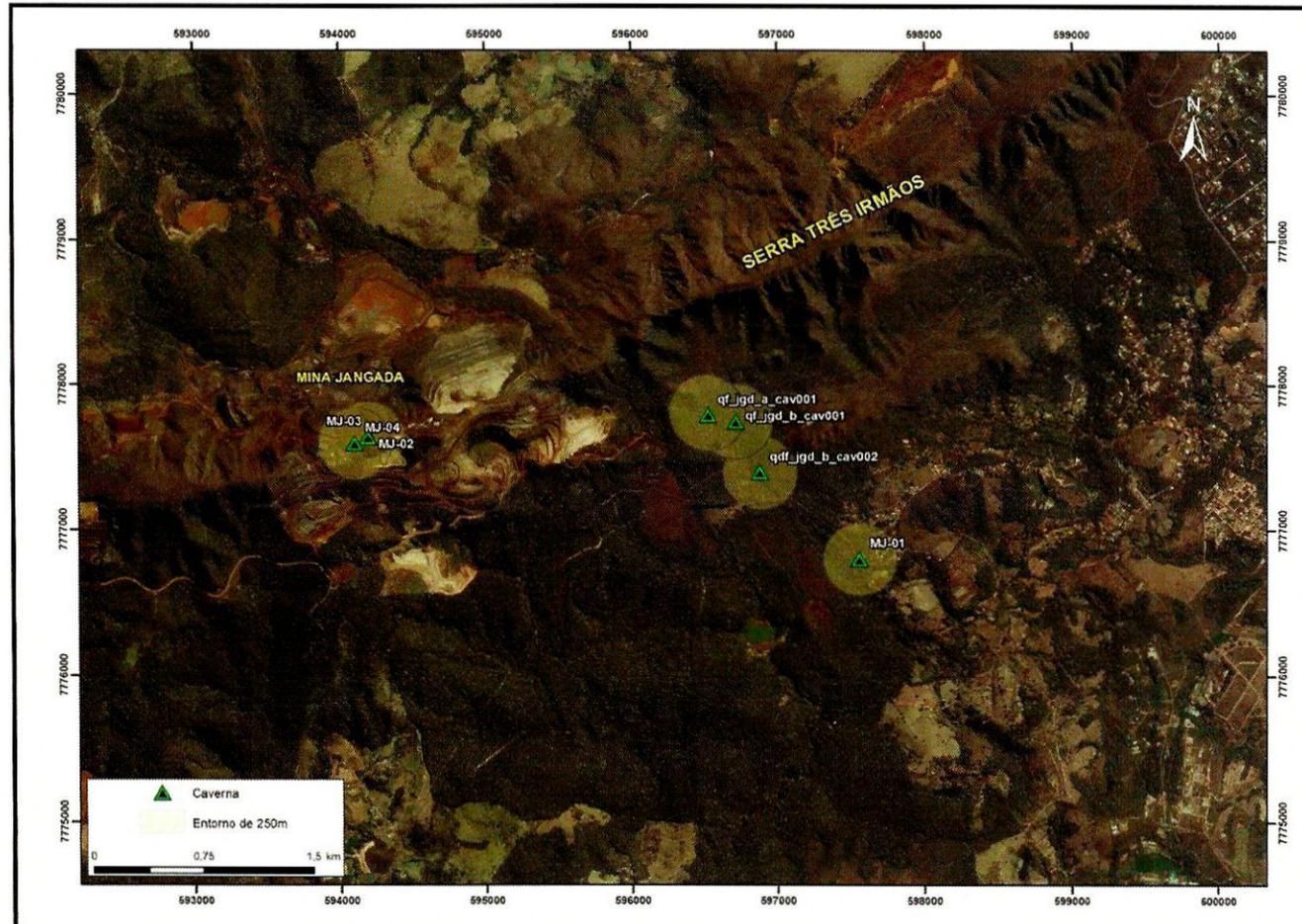


Figura 9: Localização das cavernas estudadas na Área de Influência Direta da Mina da Jangada.

7.1.1 Inserção na Paisagem

Das sete cavernas estudadas, três (MJ-02, MJ-03 e MJ-04) estão localizadas na alta vertente da denominada Serra Três Irmãos. Essas cavernas estão inseridas na base de inflexões da encosta, geradas por pequenos afloramentos perpendiculares a maior inclinação da vertente (Figura 9). Esses afloramentos apresentam, em média, três metros de altura. Essas cavidades se encontram dentro dos limites da Mina da Jangada (Figura 9).

As outras quatro cavidades (MJ-01) estão posicionadas no sopé da referida serra, integrando uma área de entorno da referida mina (Figura 9). As cavernas desse grupo estão inseridas em baixa vertente. Três cavernas (QDF_JGD_B_CAV0001, QDF_JGD_B_CAV0002 e MJ-01) estão localizadas dentro da calha de drenagem (Figura 10). As escarpas rochosas, nesse grupo, são paralelas a calha de drenagem. A altura média dessas pequenas escarpas é de 2,7 m.

A presença de drenagens nas cavernas ferríferas não é freqüente no Quadrilátero Ferrífero, pois normalmente essas cavidades estão posicionadas na alta vertente, desconectadas de drenagens e do aquífero. O que ocorre mais frequentemente, no Quadrilátero Ferrífero, é a presença de drenagens e surgências temporárias.

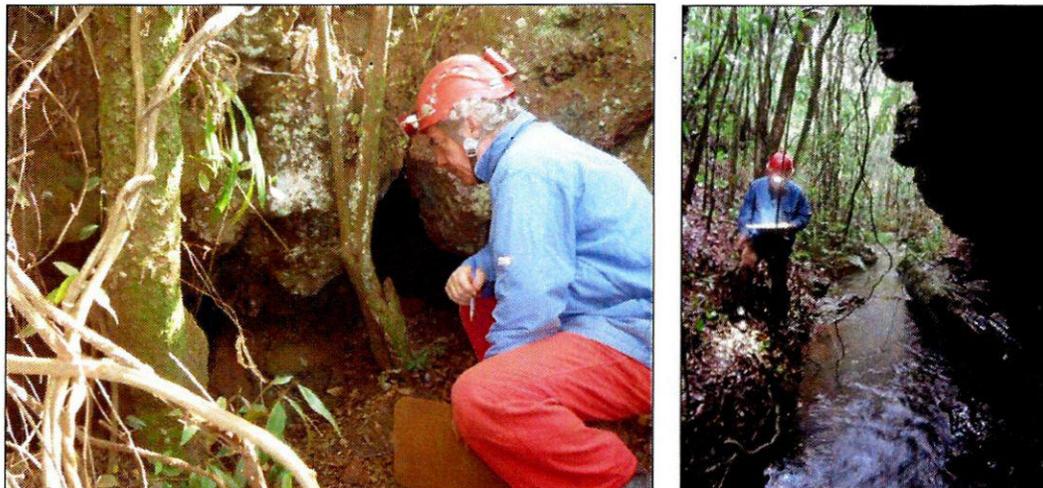


Figura 10: À esquerda, caverna MJ-04 em ruptura rochosa na alta vertente; à direita, caverna QDF_JGD_B_CAV0001, localizada dentro da calha de drenagem.

Já a cavidade QDF_JGD_A_CAV0001 está inserida em pequena inflexão de encosta, gerada por um pequeno afloramento rochoso perpendicular a maior inclinação da vertente e com 1,5 de altura.

O intervalo altimétrico das cavernas estudadas variou entre 1.305 m a 960 m. As três cavernas acima dos 1.300 m (MJ-01, MJ-03 e MJ-04) correspondem à faixa de afloramentos da formação ferrífera no Quadrilátero Ferrífero, em geral associados a cristas de serras. Já as cavernas posicionadas abaixo dos 1.100 m (MJ-01, QDF_JGD_A_CAV0001, QDF_JGD_B_CAV0001 e QDF_JGD_B_CAV0002) estão posicionadas no sopé da serra, onde se destacam coberturas coluvionares.

7.1.2 Aspectos Litológicos e Estruturais

As sete cavernas analisadas são constituídas pela canga detrítica. A canga detrítica é composta por fragmentos angulosos a sub-angulosos constituídos principalmente por calhaus e seixos de hematita compacta, fragmentos da formação ferrífera e, menos comumente, pelo quartzo. Clastos de especularita pode ocorrer de forma mais restrita, a exemplo da caverna MJ-04.

Na caverna QDF_JGD_B_CAV0001, os clastos da canga encontram-se mal selecionados, variando de grânulos a matacões. Localmente é possível observar, na massa rochosa, clastos subarredondados, indicando material transportado. Na caverna MJ-01 alguns clastos estão subarredondados, indicando também material transportado vertente abaixo. Nas cavernas MJ-02 e MJ-03 foram observados clastos imbricados concordantes com a atual inclinação da vertente sul da Serra Três Irmãos (Figura 11). Clastos imbricados já foram observados em cavernas de canga de outras serras do Quadrilátero Ferrífero, a exemplo da serra da Moeda, assim como na região de Carajás, no Pará.



Figura 11: Clastos imbricados na caverna MJ-02.

O cimento limonítico que sustenta a canga, normalmente composto de goethita, hematita e água, apresenta variado grau de participação na rocha. Essa matriz pode ser coesa e sem sinais de alteração, marcado por coloração acinzentada, totalmente litificado ou bastante alterado, com coloração variando do vermelho ao amarelo e textura friável. Na caverna QDF_JGD_A_CAV0001 foi observada, localmente, uma canga com maior participação da matriz, mas com clastos de hematita esparsos (Figura 12). Já nas demais cavernas a matriz é reduzida, ou seja, os clastos estão praticamente suportados (Figura 12).

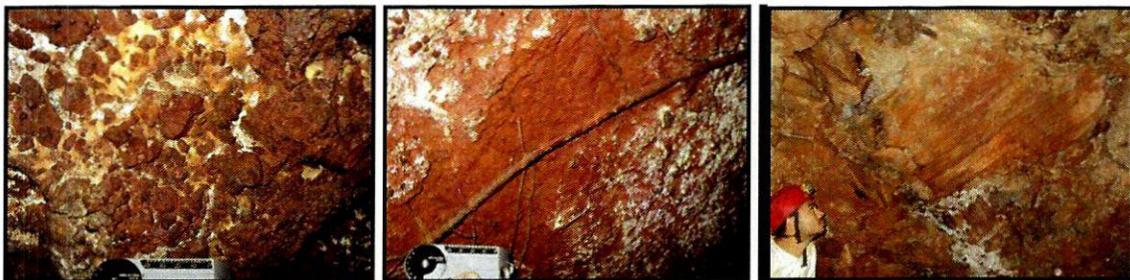


Figura 12: À esquerda, canga detrítica na caverna JGD_A_CAV0001; no centro, canga com maior presença de sedimentos finos na mesma caverna; à direita, canga com matações na caverna JGD_B_CAV0001.

Juntas de alívio foram observadas nas sete cavidades. Na caverna QDF_JGD_A_CAV0001 foram observadas juntas irregulares no teto, atingindo até 5 cm de alargamento. Essas juntas possuem uma clara contribuição em relação aos gotejamentos observados no interior da caverna, facilitando a percolação das águas pluviais. Algumas juntas de alívio subhorizontais

foram observadas na interface parede/teto. Na caverna QDF_JGD_B_CAV0002 uma junta de alívio também contribui para o aumento do gotejamento na caverna.

Nas cavernas MJ-02 e MJ-03 foram registradas juntas inclinadas, possivelmente relacionadas a basculamentos, em consequência da regressão das escarpas em vertentes inclinadas. Ou seja, com a evolução da vertente que faz contato com a escarpa onde se inserem essas cavernas, há uma movimentação da escarpa, gerando juntas inclinadas. Com a evolução da vertente, a tendência é o abatimento de setores da escarpa e a regressão dessas rupturas de vertente.

7.1.3 Espeleometria das Cavernas

Na avaliação dos dados espeleométricos, os valores das sete cavernas da Jangada foram comparados com uma amostra de 141 cavernas de minério de ferro e canga do Quadrilátero Ferrífero, denominada de amostra regional (AR).

A projeção horizontal (PH - soma dos condutos em planta baixa) das sete cavernas atingiu a média de 30,7 m, com valores mínimo e máximo de 14 m (MJ-03) e 46 m (MJ-04), respectivamente. Esse valor está um pouco abaixo da média da AR, que foi de 34 m.

O desnível médio das sete cavernas foi de 3,5 m, com os valores variando de 1 m, na caverna QDF_JGD_B_CAV0002, e 6,8 m, na caverna QDF_JGD_A_CAV0001. A média da AR foi de 3,2 m, ou seja, muito próxima da média das cavernas de Jangada.

A área média das cavernas de Jangada atingiu 89,15 m², valor um pouco superior a média da AR (83,7 m²). Isso se deve aos altos valores das áreas das cavernas QDF_JGD_A_CAV0001, que atingiu 209 m², e MJ-01, que somou 162 m². Nas outras duas cavernas, os valores são inferiores a média da AR (Tabela 7).

A média do volume estimado das cavernas de Jangada foi de 111,2 m³, valor acima da média da AR, que atingiu 104,5 m³. Mais uma vez o volume da caverna QDF_JGD_A_CAV0001 (384 m³) elevou a média do conjunto das cavernas de Jangada. A caverna MJ-01 também apresentou um volume (140,7 m³) superior a média da AR. Já os volumes das demais cavernas mostraram valores inferiores a média regional.

Tabela 7: Valores espeleométricos das cavernas de Jangada.

Cavidades	PH	Desnível	Área	Volume
MJ-01	43	3,6	162	140,7
MJ-02	32	1,4	45	59,6
MJ-03	14	2,5	18	19,9
MJ-04	46	6,3	97	44
QDF_JGD_A_CAV0001	36,8	6,8	209	384
QDF_JGD_B_CAV0001	23	3,2	59,1	104
QDF_JGD_B_CAV0002	20	1	34	26
Média	30,7	3,5	89,1	111,2

Em síntese, a média da projeção horizontal é um pouco inferior a média da AR (Figura 13). A média do desnível é muito próxima entre as duas amostras. Já os valores médios de área e volume das cavernas de Jangada são superiores aos dados da AR, em função, particularmente, dos altos valores da caverna QDF_JGD_A_CAV0001.

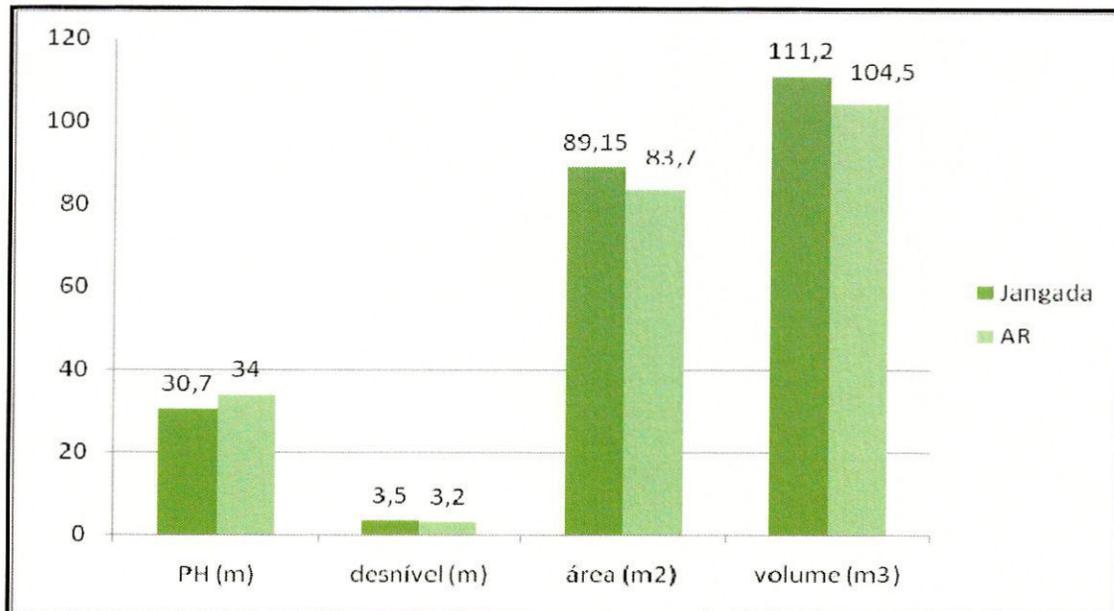


Figura 13: Média dos dados espeleométricos das cavernas de Jangada e da amostra regional (AR).

7.1.4 Morfologia das Cavernas

Através da análise da planta baixa das sete cavernas não foi possível identificar um claro padrão planimétrico, particularmente em função das pequenas dimensões das cavernas.

As cavernas QDF_JGD_A_CAV0001 e MJ-01 têm uma tendência retilínea (Figura 14), sendo formadas por um conduto simples, com algumas reentrâncias laterais, seguindo uma única direção preferencial.

As cavernas QDF_JGD_B_CAV0001 e QDF_JGD_B_CAV0002 apresentaram feições simples, tipo salão único com reentrâncias no setor distal e entradas com maior desenvolvimento acompanhando a linha do escarpamento (Figura 14).

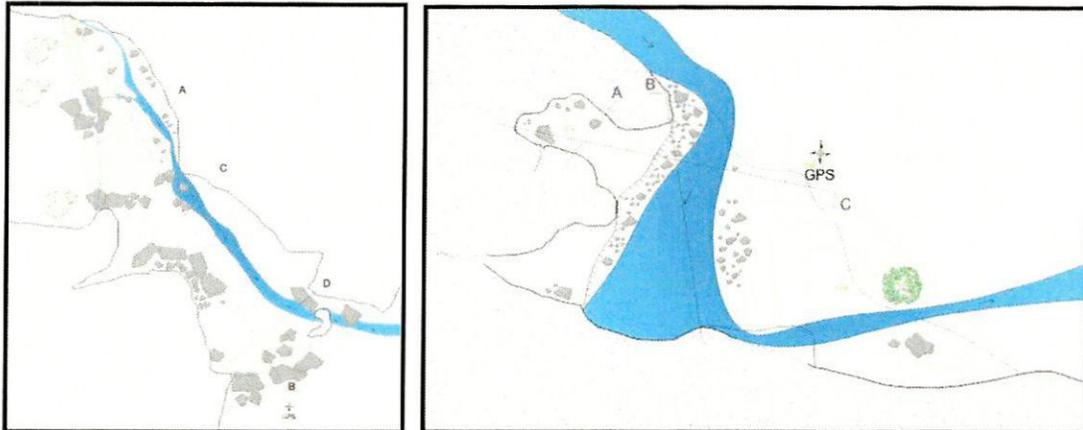


Figura 14: À esquerda, caverna QDF_JGD_A_CAV0001 com tendência retilínea; à direita, caverna QDF_JGD_B_CAV0002 apresentando salão único com reentrâncias no setor distal.

As cavernas MJ-02, MJ-03 e MJ-04 apresentam uma planta baixa com muitas irregularidades laterais, geradas por inúmeros canalículos. Essas cavidades apresentam diversos pilares, que formam passagens laterais. Em alguns setores esses pilares dão um aspecto labiríntico a essas cavernas.

Nas cavernas em canga, as irregularidades observadas em paredes e teto tendem a ser mais numerosas (Figura 15), ao contrário de algumas cavernas em minério de ferro, que apresentam seções mais regulares controladas pelos planos inclinados do bandamento.



Figura 15: Seções das cavernas de Jangada, salientando as irregularidades típicas de cavernas de canga.

Essas irregularidades, muitas vezes, são geradas por pendentes no teto (Figura 16). Essas feições são relativamente comuns e foram registradas nas cavernas QDF_JGD_B_CAV0001, QDF_JGD_B_CAV0002, MJ-01, MJ-02, MJ-03 e MJ-04. Este tipo de feição é constituído por projeções com formato aproximadamente cônico

invertido, embora bastante irregular, que se projetam do teto. Suas dimensões são variáveis, mas podem ultrapassar 1 m de comprimento. Em geral ocorrem em conjunto, sendo que o espaço entre pendentes corresponde a zonas com o teto mais elevado.

Os pendentes ficam preservados devido à ausência de fluxo hídrico na gruta 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.

Pilares também são freqüentes nas cavernas do Quadrilátero Ferrífero, sendo constituídos por canga ou pela FFB. Os pilares constituem elementos verticais da estrutura da caverna, ocasionando a formação de passagens laterais. Nas cavernas QDF_JGD_A_CAV0001, MJ-02, MJ-03 e MJ-04 é possível observar bons exemplos de pilares (Figura 16).



Figura 16: À esquerda, pendente na caverna MJ-04; à direita, pilar na caverna MJ-02.

Clarabóia foi identificada somente na caverna MJ-01. Essas feições ocorreram em locais onde o pacote rochoso acima da caverna é pouco espesso, contribuindo assim para os processos de abatimento. Simmons (1963) foi o primeiro a mencionar as clarabóias como uma característica peculiar de muitas cavernas em minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero. Esta tipologia foi descrita por outros autores que se seguiram, a exemplo de Maurity & Kotschoubey (1995) na Serra dos Carajás.

Nas cavernas de Jangada, é possível observar nas paredes das cavernas, geralmente no nível do piso, numerosos canais (canalículos) de pequeno diâmetro (muitas vezes milimétricos). Esses canalículos encontram-se muitas vezes associados a pilares e pendentes na rocha, exercendo aparentemente papel de agente individualizador dos mesmos. Os canalículos também afetam a morfologia das cavernas, pois sua evolução gera apêndices ou expansões laterais que podem eventualmente evoluir para condutos laterais.

Nas cavernas QDF_JGD_A_CAV0001, MJ-02, MJ-03 e MJ-04 foi constatado que, no geral, os pisos apresentam inclinação concordante com a maior inclinação da vertente. Tal padrão é certamente influenciado pelo fluxo de águas pluviais que, por processos de erosão, transportam o sedimento de granulometria fina para a parte mais baixa da caverna, seguindo o gradiente hidráulico. Nas demais cavernas a inclinação do piso é discreta e acompanha a direção do fluxo hídrico. A Figura 17 apresenta um perfil síntese das principais características morfológicas das cavernas ferríferas.

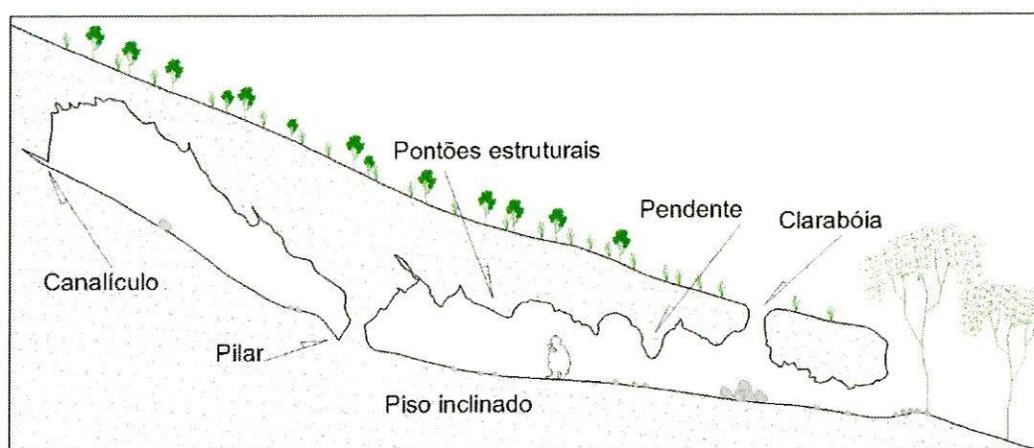


Figura 17: Seção longitudinal contendo as principais características morfológicas das cavernas do Quadrilátero Ferrífero.

7.1.5 Hidrologia

A grande maioria das cavernas em minério de ferro descritas na literatura não apresenta drenagem interna. Alguns autores, no entanto, comentam brevemente sobre a existência de drenagens hipógeas. Simmons (1963), por exemplo, descreveu uma cavidade no Quadrilátero Ferrífero que comporta uma surgência temporária (ativa apenas durante a estação chuvosa).

Diferentemente da maioria das cavernas do Quadrilátero Ferrífero, em quatro cavernas de Jangada foram observados processos hidrológicos. Na caverna QDF_JGD_A_CAV0001 foi registrada uma surgência, provavelmente temporária, no setor NW da caverna. Essa surgência flui longitudinalmente por praticamente toda a caverna, recebendo contribuições de pequenos canalículos de parede (Figura 18).

Na caverna QDF_JGD_B_CAV0001 observou-se escoamento fluvial perene que percorre longitudinalmente todo o setor da caverna próximo à linha d'água. Nessa cavidade também foi identificada uma pequena surgência que alimenta o escoamento fluvial (Figura 18).

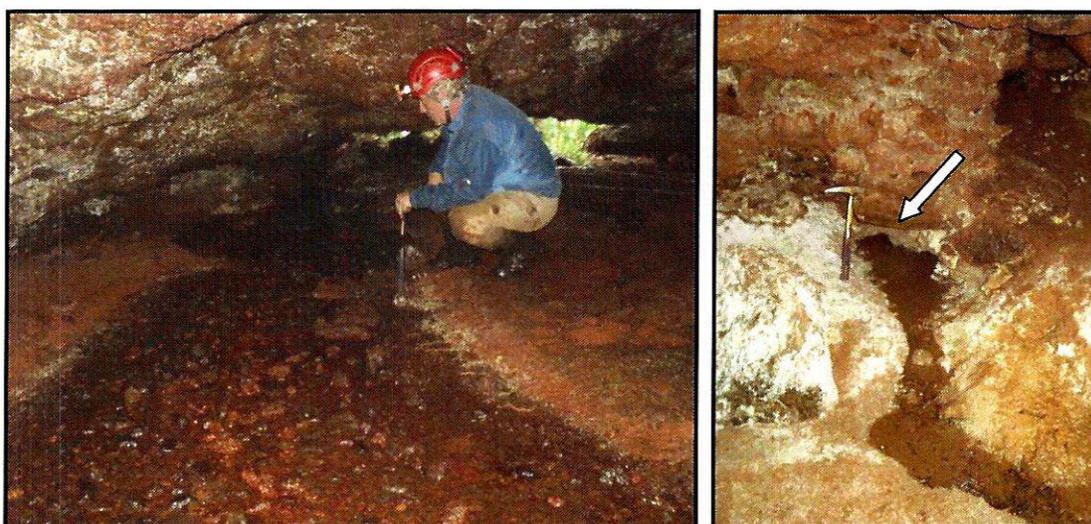


Figura 18: À esquerda, drenagem originada de surgência na cavidade QDF_JGD_A_CAV0001; à direita, surgência na caverna QDF_JGD_B_CAV0001.

A caverna QDF_JGD_B_CAV0002 também é percorrida por uma drenagem perene de aproximadamente um metro de largura, que forma um remanso na entrada da caverna.

Mereceu destaque a caverna MJ-01, que apresenta um sumidouro na forma de uma pequena cachoeira. Após a queda d'água, que penetra via clarabóia, o escoamento perene percorre aproximadamente 18 m pela cavidade, ressurgindo logo em seguida (Figura 19).



Figura 19: Sumidouro e ressurgência da caverna MJ-01

As feições hidrológicas registradas nas cavernas de Jangada certamente merecem destaque, pois drenagens perenes não são muito freqüentes nas cavernas ferríferas do Quadrilátero Ferrífero, já que a maioria das cavernas se posiciona em média e alta vertente. No caso de Jangada, as cavernas MJ-01, QDF_JGD_B_CAV0001 e QDF_JGD_B_CAV0002 estão em baixa vertente, integradas a sistemas fluviais. Por outro lado, as cavernas MJ-02, MJ-03 e MJ-04 estão posicionadas em alta vertente, em típicas áreas de recarga hídrica. Nessas cavernas predominam os gotejamentos e/ou pequenos fluxos concentrados de origem pluvial.

7.1.6 Depósitos Clásticos e Orgânicos

Os sedimentos clásticos compreendem todos os detritos transportados e depositados ao longo dos condutos das cavernas. Os depósitos clásticos das sete cavernas estudadas podem ser divididos em dois tipos:

- ✓ Depósitos formados por sedimentos predominantemente de caráter autogênico, gerados a partir de material do próprio substrato encaixante (canga);
- ✓ Depósitos formados por sedimentos mistos: autogênicos e alogênicos, ou seja,

gerados tanto no interior da caverna como fora da mesma.

Em cavernas inseridas em rochas ferríferas os depósitos predominantemente autogênicos, a exemplo das cavernas MJ-02 e MJ-03, são constituídos por clastos de hematita originados do minério de ferro ou da canga, pertencendo a três classes distintas: blocos abatidos (calhaus e matacões), cascalho fino (seixos, grânulos e areia grossa) e material lamoso (silte e argila).

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 que aloja a caverna. Ou seja, num substrato rochoso de canga são gerados depósitos de clastos (principalmente seixos e calhaus) com pouca contribuição de sedimentos lamosos.

Na caverna QDF_JGD_A_CAV0001, os sedimentos clásticos são representados por matacões compostos de canga detrítica, subangulosos, autóctones, posicionados na entrada NW da caverna, em forma de cone sedimentar (Figura 20). Esses sedimentos possivelmente estão relacionados com a abertura da referida entrada. Ocorrem também clastos tamanho calhau e seixo, subangulosos, compostos principalmente por hematita e material argiloso. Foi observada uma contribuição alóctone na entrada NW. Sedimentos orgânicos representados por folhiço na zona de entrada. Guano foi identificado no interior da caverna.

Na cavidade QDF_JGD_B_CAV0001 predominam sedimentos argilosos que estão dispostos mais para o interior da caverna e atualmente estão sendo erodidos parcialmente pela drenagem local. Destacam-se também grandes matacões, posicionados sob a linha d'água e também no interior da caverna. Os seixos estão concentrados no fundo da calha de drenagem e apresentam maior mobilidade devido a dinâmica fluvial. Sedimentos orgânicos, alóctones, também podem ser observados na caverna, tais como folhas, galhos e pequenos troncos.

Na calha de drenagem da caverna QDF_JGD_B_CAV0002 predominam calhaus e seixos, além de matacões subarredondados de forma subordinada, constituídos por fragmentos da formação ferrífera, hematita e localmente quartzo. Sedimentos esses de origem predominantemente alóctone. Nas bordas do canal de drenagem ocorrem pequenos terraços de seixos subarredondados envolvidos por matriz terrígena (Figura

20). Esses terraços, neste momento, estão sendo erodidos pelo canal fluvial. Testemunhos sedimentares indicam que a cavidade já esteve colmatada por sedimentos. Ocorrem galhos, pequenos troncos e folhiço sobre os sedimentos.



Figura 20: À esquerda, cone sedimentar na estrada da caverna QDF_JGD_A_CAV0001; à direita, terraço sendo erodido na caverna QDF_JGD_B_CAV0002.

Na caverna MJ-01 predominam sedimentos predominantemente alóctones, trazidos pela drenagem que percorre a caverna. Nas proximidades da pequena cachoeira predominam sedimentos finos. Um pouco mais a jusante já surgem sedimentos cascalhentos, incluindo calhaus e matacões de origem mista (Figura 21). No setor um pouco mais elevado da calha de drenagem ocorrem sedimentos finos de origem predominantemente fluvial (pequeno terraço).

Na caverna MJ-04 predominam seixos e calhaus de hematita e da formação ferrífera de origem autóctone. Em alguns setores ocorrem cones de sedimentos finos, originados de taludes de aterro da mina Jangada que recobrem parcialmente a superfície da vertente onde se aloja a caverna. Nessa caverna foram registrados bioclastos constituídos por restos esqueléticos de um urubu (Figura 21).

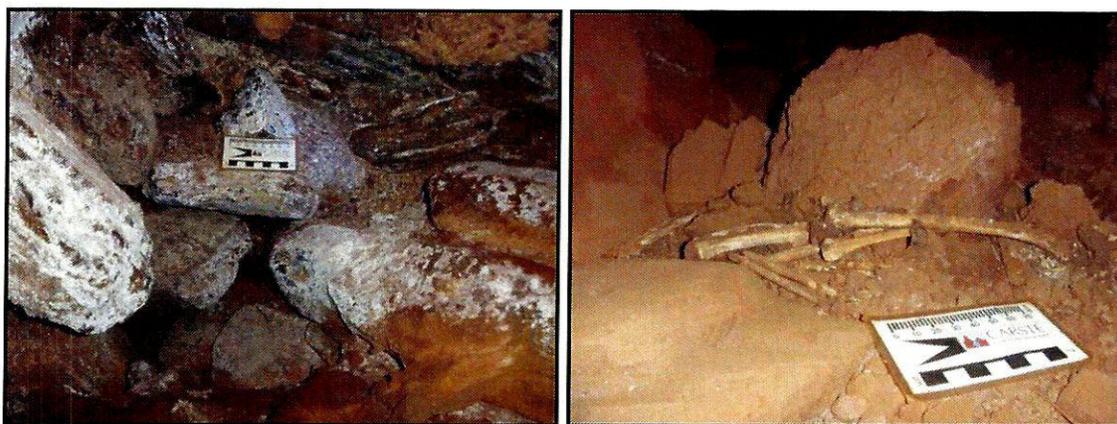


Figura 21: À esquerda, calhaus e matações de origem autóctone na caverna MJ-01; à direita, bioclastos (ossos longos) de um urubu registrados na caverna MJ-04.

7.1.7 Depósitos Químicos

Os depósitos químicos (espeleotemas) foram registrados em todas as cavernas estudadas em Jangada. No entanto, a maioria desses depósitos se mostrou pouco expressivo quanto à diversidade ou abundância das ocorrências.

Na caverna QDF_JGD_A_CAV0001 o destaque fica para alguns coralóides, que atingem até 2 cm de desenvolvimento (Figura 22). Crostas ferruginosas ocorrem de forma generalizada na cavidade (Figura 22). Crostas brancas também foram registradas no teto, possivelmente de fosfato ou sulfato.

A caverna QDF_JGD_B_CAV0001 apresentou crostas delgadas, principalmente no teto. Coralóides também foram identificados na cavidade, mas pouco expressivos.

A cavidade QDF_JGD_B_CAV0002 demonstrou baixa diversidade de espeleotemas, ocorrendo, no entanto, crostas delgadas de óxidos e hidróxidos de ferro e possivelmente manganês. Os coralóides são muito localizados e sem relevância.

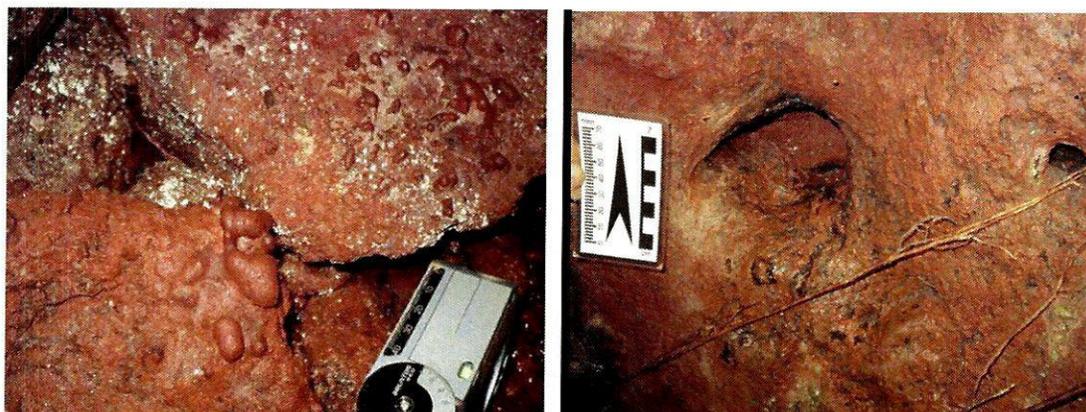


Figura 22: À esquerda, coralóides sobre bloco na caverna QDF_JGD_A_CAV0001; à direita, crostas de óxidos hidróxidos de ferro na caverna QDF_JGD_B_CAV0001.

Já a caverna MJ-01 apresentou um conjunto de espeleotemas mais expressivos, concentrados principalmente no setor um pouco mais elevado da calha de drenagem, onde é possível registrar pingentes, escorrimentos, coraloides, diversos tipos de crostas de óxido-hidróxidos de ferro, além de pequenas cortinas (Figura 23).

Nas cavernas MJ-02 e MJ-03 os depósitos químicos são pouco expressivos. Foram registradas crostas delgadas e, particularmente, coraloides. Na caverna ML-04 foram identificados um conjunto um pouco mais expressivo, merecendo destaque crostas, escorrimentos e coraloides (Figura 23).

Em síntese, as cavernas MJ-01 e MJ-04 são as que possuem os espeleotemas mais expressivos na escala local. No entanto, esses depósitos não chegam a ganhar expressão na escala regional.



Figura 23: À esquerda, escorrimentos na forma de cortinas na caverna MJ-01; à direita, coralóides sobre o teto da caverna MJ-04.

7.1.8 Aspectos Espeleogenéticos e Cronológicos

Simmons (1963), trabalhando 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.

Piló & Auler (2005) consideram a existência de duas etapas distintas na formação das cavernas de minério de ferro e canga. A primeira delas com predominância de processos dissolutivos (químicos) e a segunda sob a ação de processos erosivos (físicos). A primeira etapa, endógena, envolve reações químicas no interior da massa rochosa na zona freática, gerando zonas de alta porosidade. Posteriormente o material friável resultante será lixiviado para o exterior através de processos similares ao *piping*, descrito para cavidades em rochas siliciclásticas. Essa segunda etapa, iniciada na zona freática, pode ter continuidade na zona vadosa, quando os processos de *piping* podem vir a ser favorecidos.

Iniciada a etapa erosiva das cavidades e sendo estabelecida uma saída para o exterior, os processos físicos serão incrementados. Material de granulometria fina será aportado para o interior das cavernas, principalmente via canalículos, de onde será evacuado para o exterior.

No caso específico de Jangada, as cavernas QDF_JGD_B_CAV0001, QDF_JGD_B_CAV0002 e MJ-01 têm sua gênese claramente associada à erosão fluvial, juntamente com ampliações localizadas de canalículos em decorrência do escoamento pluvial. No caso da caverna MJ-01 é possível registrar a captura da drenagem superficial para o meio subterrâneo.

Já a gênese das cavernas QDF_JGD_A_CAV0001, MJ-02, MJ-03 e MJ-04 estão ligadas a ampliação de canalículos entre as zonas de recarga e descarga de águas pluviais concentradas.

Poucas inferências têm sido feitas a cerca da idade das cavernas em minério de ferro e canga. Em Carajás, Pinheiro *et al.* (1985) e Pinheiro & Maurity (1988) teceram breves considerações sobre o tema. Esses autores associam o início da formação das cavidades ao processo de geração da canga, atrelando a idade das cavernas à idade da canga.

No entanto, existem grandes incertezas com relação à idade do início da formação da canga tanto em Carajás como no Quadrilátero. 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).

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

7.1.9 Aspectos Sócio Econômicos, Culturais e Estado de Conservação

Os atributos relacionados com a arqueologia foram transcritos de relatório interno Vale.

As cavidades foram avaliadas quanto à morfologia propícia a ocupação humana e conservação de vestígios arqueológicos em superfície e subsuperfície. Foram realizadas sondagens e tratagens, com controle estratigráfico natural, quando possível, a fim de não perder informações potenciais acerca de ocupações históricas e pré-coloniais que por ventura tenham nelas se desenvolvido. As cavidades foram ainda avaliadas quando a existência de vestígios em superfície e em suportes

rochosos. Contudo, não foram registrados atributos de valor histórico, sócio-econômico ou cultural nas sete cavernas estudadas em Jangada (Tabela 8).

Com relação à conservação, duas cavernas apresentaram impactos de origem antrópica. Na caverna MJ-01 foi registrado lixo (garrafa pet, saco plástico e lata) nas margens da drenagem existente no interior da caverna, provavelmente trazido pela drenagem. Na caverna MJ-04, uma borda de aterro da Mina da Jangada gerou sedimentos que estão sendo introduzidos na caverna através dos canalículos, gerando cones sedimentares de origem antrópica que estão lentamente colmatando setores da caverna.

Já o entorno de 250 m encontra-se localmente modificado através de alterações na cobertura vegetal original, existência de estradas e assoreamento localizado dos cursos d'água. Nas cavernas MJ-02, MJ-02 e MJ-04 essas alterações (taludes de aterro, estradas, taludes de corte e cava) são mais evidentes, pois essas cavernas estão localizadas dentro da Mina da Jangada.

Tabela 8: Considerações sobre os aspectos econômicos, culturais e históricos das cavernas estudadas.

Caverna	Aspectos Econômicos, Culturais e Históricos
MJ-01	Não Registrado
MJ-02	Não Registrado
MJ-03	Não Registrado
MJ-04	Não Registrado
QDF_JGD_A_CAV0001	Não Registrado
QDF_JGD_B_CAV0001	Não Registrado
QDF_JGD_B_CAV0002	Não Registrado

7.2 Resultados Bioespeleológicos

7.2.1 Invertebrados

7.2.1.1 Resultados e Discussões

Foi observado um total de 1385 indivíduos e 56 morfoespécies (Tabela 9), distribuídas em 4 classes de artrópodes – *Classe Arachnida*: Araneae (19 morfoespécies), Opiliones (4 morfoespécies); *Classe Diplopoda*: (1 morfoespécie); *Classe Symphyla*: (1 morfoespécie); *Classe Hexapoda (Insecta)*: Blattodea (2 morfoespécies), Collembola (1 morfoespécie), Diptera (4 morfoespécies), Hemiptera (5 morfoespécies), Hymenoptera (6 morfoespécies), Isoptera (1 morfoespécie), Lepidoptera (4 morfoespécies), , Orthoptera (2 morfoespécies), Psocoptera (1 morfoespécie), e alguns imaturos não identificados (2 morfoespécies). Além de artrópodes foram registradas também 1 morfoespécie de Gastropoda e 2 morfoespécies de Malacostraca.

Tabela 9: Riqueza e abundância de invertebrados encontrados nas cavidades estudadas.

Cavidade	Riqueza total	Abundância total
MJ-01	8	70
MJ-02	13	65
MJ-03	20	76
MJ-04	19	99
MJ-05	32	826
MJ-06	11	186
MJ-07	12	63