

**BARRAMENTOS NATURAIS NO VALE DO  
RIO PERUAÇU: CONSEQÜÊNCIAS  
ECOLÓGICAS E AMBIENTAIS DE EVENTOS  
PRETÉRITOS E FUTUROS.**

**ISABEL PIRES MASCARENHAS RIBEIRO DE  
OLIVEIRA**

**2008**

**ISABEL PIRES MASCARENHAS RIBEIRO DE OLIVEIRA**

**BARRAMENTOS NATURAIS NO VALE DO RIO PERUAÇU:  
CONSEQUÊNCIAS ECOLÓGICAS E AMBIENTAIS DE EVENTOS  
PRETÉRITOS E FUTUROS.**

**Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração: Ecologia e Conservação de Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de “Mestre”.**

Orientadora

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Rosângela A. Tristão Borém

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2008

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Oliveira, Isabel Pires Mascarenhas Ribeiro de.

Barramentos naturais no Vale do Rio Peruaçu: conseqüências ecológicas e ambientais de eventos pretéritos e futuros /, Isabel Pires Mascarenhas Ribeiro de Oliveira. – Lavras: UFLA, 2008.  
146 p.: il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.  
Orientador: Rosângela A. Tristão Borém.  
Bibliografia.

1. Vale do Rio Peruaçu. 2. Cavernas. 3. Fósseis. 4. Paleoambiente. 5. Paleontologia. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 574.5

**ISABEL PIRES MASCARENHAS RIBEIRO DE OLIVEIRA**

**BARRAMENTOS NATURAIS NO VALE DO RIO PERUAÇU:  
CONSEQÜÊNCIAS ECOLÓGICAS E AMBIENTAIS DE EVENTOS  
PRETÉRITOS E FUTUROS.**

**Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração: Ecologia e Conservação de Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de “Mestre”.**

APROVADA em 28 de agosto de 2008

Prof. Dr. Rodrigo Lopes Ferreira

UFLA

Prof. Dr. Augusto Sarreiro Auler

Instituto Carste

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Rosângela A. Tristão Borém  
UFLA  
(Orientadora)

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>RESUMO</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>1 APRESENTAÇÃO</b> .....	1
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	3
<b>2.1. O CARSTE</b> .....	3
<b>2.1.1 Áreas Cársticas</b> .....	3
<b>2.1.2 Carstificação</b> .....	4
<b>2.1.3 Modelado Cárstico</b> .....	6
<b>2.1.3.1 Exocarste</b> .....	6
<b>2.1.3.2 Epicarste</b> .....	8
<b>2.1.3.3 Endocarste</b> .....	9
<b>2.2. CAVERNAS</b> .....	9
<b>2.2.1 Cavernas Primárias e Secundárias</b> .....	9
<b>2.2.2 Espeleogênese</b> .....	10
<b>2.2.3 Depósitos Endocársticos e Processos Associados</b> .....	11
<b>2.3. PALEONTOLOGIA EM CAVERNAS</b> .....	13
<b>2.3.1 Histórico</b> .....	13
<b>2.3.2 Fossilização em Cavernas</b> .....	15
<b>2.3.2.1 Tafonomia</b> .....	16
<b>2.3.2.2 Processos</b> .....	18
<b>2.3.3 Tipos de Fósseis Encontrados em Cavernas</b> .....	19
<b>2.3.3.1 Datação de Fósseis Encontrados em Cavernas</b> .....	21
<b>2.4. FÓSSEIS ENCONTRADOS NAS CAVERNAS DO PERUAÇU</b> .....	23
<b>3 ÁREA DE ESTUDO</b> .....	27
<b>3.1. ESTUDOS AMBIENTAIS</b> .....	27
<b>3.2. CLIMA</b> .....	28
<b>3.3. GEOLOGIA</b> .....	28
<b>3.4. GEOMORFOLOGIA</b> .....	31
<b>3.4.1 Compartimentação Morfológica</b> .....	32
<b>3.4.1.1 Compartimento Carstificado</b> .....	33
<b>3.5. PEDOLOGIA</b> .....	36
<b>3.6. VEGETAÇÃO</b> .....	37
<b>3.7. ENCHENTES NO RIO PERUAÇU</b> .....	40

<b>4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	43
<b>CAPÍTULO I</b> .....	52
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	53
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	55
<b>2.1 ÁREA DE ESTUDO</b> .....	55
<b>2.2 MÉTODOS</b> .....	66
<b>2.2.1 Análise de cavernas à margem direita do rio</b> .....	66
<b>2.2.2 Catalogação dos fósseis e subfósseis</b> .....	66
<b>2.2.3 Topografia</b> .....	69
<b>2.2.4 Datação e coleta de amostras</b> .....	69
<b>2.2.5 Barramento</b> .....	74
<b>3 RESULTADOS</b> .....	75
<b>3.1 LAPA DO CARLÚCIO E DESNÍVEIS DE INTERESSE</b> .....	75
<b>3.2 ASSEMBLÉIA SUBFÓSSIL</b> .....	78
<b>3.3 ESPELEOTEMAS E SÍTIOS DE DEPOSIÇÃO DE SUBFÓSSEIS</b> .....	84
<b>3.4 DATAÇÃO</b> .....	94
<b>3.5 BARRAMENTO</b> .....	96
<b>4 DISCUSSÃO</b> .....	98
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	110
<b>CAPÍTULO II</b> .....	115
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	116
<b>2 METODOLOGIA</b> .....	118
<b>2.1 ÁREA DE ESTUDO</b> .....	118
<b>2.2 MÉTODOS</b> .....	123
<b>3 RESULTADOS</b> .....	124
<b>3.1 ÁREAS POTENCIAIS À OCORRÊNCIA DE ABATIMENTOS</b> .....	124
<b>3.2 INUNDAÇÃO COM BARRAMENTO NA LAPA DO BREJAL</b> .....	124
<b>3.3 INUNDAÇÃO COM BARRAMENTO NO ARCO DO ANDRÉ</b> .....	126
<b>3.4 INUNDAÇÃO COM BARRAMENTO NA GRUTA DO JANELÃO</b> .....	127
<b>4 DISCUSSÃO</b> .....	136
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	143

## RESUMO

OLIVEIRA, Isabel Pires Mascarenhas Ribeiro de. **Barramentos naturais no Vale do Rio Peruaçu**: conseqüências ecológicas e ambientais de eventos pretéritos e futuros. 2008. 146 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.\*

Assembléias fósseis encontradas em cavernas arquivam importantes informações ambientais quanto o passado recente da área às quais se associam. No cânion cárstico do vale do Rio Peruaçu, Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, Minas Gerais, depósitos orgânicos sugerem a ocorrência de grandes enchentes decorrentes de barramentos naturais no leito do rio. Esta dissertação procurou investigar a assembléia fóssil presente, principalmente, na Lapa do Carlúcio e delinear os eventos de importação e deposição do material. Pretendeu-se compreender as conseqüências ecológicas e ambientais de barramentos naturais no vale do Rio Peruaçu com base na análise de eventos pretéritos, prevendo o efeito de ocorrências futuras. Para tal, toda a assembléia fóssil encontrada na Lapa do Carlúcio foi inventariada e mapeada. Ocorrências representativas foram topografadas em relação ao nível do Rio Peruaçu, medido em julho de 2007 e três amostras foram datadas, utilizando as técnicas carbono 14 nos restos e séries de urânio, em capas calcíticas que recobriam duas destas peças. Com programas de geoprocessamento, o nível máximo de deposição encontrado foi representado no relevo atual tendo como eixo de barramento as Lapas do Brejal, Arco do André e do Janelão interpretadas como ambientes mais favoráveis ao colapso. Bases de uso do solo, fitogeografia e infra-estrutura balizaram a interpretação do alcance de eventos futuros em áreas naturais e antropizadas do Parque. Encontrou-se um total de 1.479 ocorrências de subfósseis na Lapa do Carlúcio sendo a grande maioria relativas a conchas de moluscos terrestres das famílias *Megalobulimidae* e *Bulimulidae*. Foi catalogada a ocorrência de 20 ossos, 57 sítios de deposição de vegetais, 4 carvões, um coquinho e um sabugo de milho. As idades encontradas foram de 1.630 +/- 50 anos BP para uma amostra de tronco, de 3.050 +/- 50 anos BP para uma concha de *Megalobulimus* e de 1.758,47 +/- 430,5 anos BP para a calcita que a revestia e de 9.380 +/- 40 anos BP para outra concha de *Megalobulimus* e de 8.108,48 +/- 49,0 anos BP para sua cobertura calcítica. Essas idades sugerem a ocorrência de pelo menos dois eventos de importação de material para a Lapa do Carlúcio. O alcance mínimo de inundações de 19,6 metros acima da drenagem, encontrado

---

\* Comitê Orientador: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Rosângela A. Tristão Borém - UFLA (Orientadora),  
Rodrigo Lopes Ferreira - UFLA.

para a ocorrência máxima de fósseis na Lapa do Carlúcio, foi extrapolado para o relevo das áreas à montante das lapas do Brejal, Arco do André e do Janelão. No caso desses futuros barramentos, a perda de áreas atingiria, essencialmente, a vegetação primária das formações Comunidade Aluvial Arbórea, Floresta Estacional Decidual e Savana Arborizada Fechada. Infra-estruturas direcionadas ao uso público, pesquisa, controle e gestão da unidade de conservação como estradas, trilhas e centro de apoio seriam igualmente afetados. Os resultados permitiram gerar subsídios à previsão de impactos de barramentos ao longo do Rio Peruaçu, área cuja propensão natural a abatimentos tem sido ultimamente agravada pela ocorrência de tremores de terra.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Isabel Pires Mascarenhas Ribeiro de. **Natural barring in the Peruaçu River Valley**: ecological and environmental consequences of past and future events. 2008. 146 p. Dissertation (Master Program in Applied Ecology) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG\*.

Fossil assemblage found in caves record important environmental information concerning the recent past of the surrounding area. In the karstic canyon of the Peruaçu River, Cavernas do Peruaçu National Park, Minas Gerais - Brazil, organic deposits suggests the occurrence of major floods resulting from natural barring in the river bed. This dissertation sought to investigate fossil assemblage present mainly in Carlúcio Cave, and outline the material importation and deposition events. The objective is to understand the ecological and environmental consequences of Peruaçu River natural barring based on analysis of past events and predicting the effect of future occurrences. For this, all the fossil assemblage found in Carlúcio Cave were inventoried and mapped. Representative occurrences were topographed in relation to the level of Peruaçu River, measured in July 2007. Three fossil remains were dated using carbon-14 and the calcite covers of two of these samples were dated by uranium series. Using geoprocessing programs, the maximum level of deposition found was represented in the current landform taking as the axis of the barring, the Brejal Cave, the Arco do André Cave and the Janelão Cave interpreted as environments more favorable to collapse. Land use, phytogeography and infrastructure georeferenced bases permitted the interpretation of the reach of future events in both natural and human interference areas. A total of 1,479 occurrences of microfossils in Carlúcio Cave were found, the vast majority being related to land mollusk shells of the *Megalobulimidae* and *Bulimulidae* families. The occurrences of 20 bones, 57 vegetable deposition sites, 4 charcoals, one coconut fruit and one ear of corn were catalogued. The ages found were from 1,630 +/- 50 years BP for a sample of wood, to 3,050 +/- 50 years BP for a *Megalobulimus* shell and 1,758,5 +/- 430.5 years BP for its calcite cover, and 9,380 +/- 40 years BP for another *Megalobulimus* shell and 8,108.5 +/- 49.0 years BP for its calcite cover. Those ages suggest at least two organic material importation events for Carlúcio Cave. The minimum flood reach of 19.6 meters above the drainage found for the maximum fossil occurrence in Carlúcio Cave

---

\* Guidance Committee: Rosângela A. Tristão Borém - UFLA (Major Professor), Rodrigo Lopes Ferreira - UFLA.

was extrapolated to the landform located upstream from the Brejal Cave, the Arco do André Cave and the Janelão Cave. In case of these future natural barrings the loss of areas would affect essentially primary vegetation from the training plant Riparian Forest, Deciduous Mesophyle Forest, Close Savanna Woodland and Open Wooded Savanna. Infrastructure directed to public use, research, control and management of the conservation area, such as roads, trails and support centers, would also be affected. The results provide subsidies for prediction of natural barring impacts in the Peruaçu River, an area whose the natural tendency for collapse has been recently aggravated by land tremors.

## 1 APRESENTAÇÃO

Cavidades carbonáticas configuram ambientes propícios à ocorrência de jazigos paleontológicos por apresentam atributos que facilitam o processo de fossilização. No Brasil, os primeiros achados fósseis em cavernas remontam à extração do salitre. Comentários acerca desses achados atraíram naturalistas estrangeiros com destaque para o dinamarquês Peter Wilhelm Lund (1801-1880), primeiro a explorar sistematicamente as cavernas brasileiras e a se dedicar à paleontologia em cavidades naturais (Couto, 1971).

Desde a atuação de Lund (1950), os inventários paleontológicos em cavernas de Minas Gerais concentram-se na região de Lagoa Santa, apesar do elevado potencial paleontológico de outras áreas como o Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, ambiente cárstico considerado um dos mais importantes sítios espeleológicos do Brasil (Piló & Rubbioli, 2003). No Vale do Peruaçu, estudos paleontológicos são incipientes sendo, praticamente, restritos ao inventário do Plano de Manejo do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, de 2003 (Ferreira et al., 2003).

Associados aos achados fósseis em cavidades naturais estão informações ambientais pretéritas que apenas recentemente têm sido analisadas. A maioria dos estudos paleontológicos realizados em cavernas brasileiras restringiu-se ao simples inventário dos fósseis presentes. É nesse sentido que, também, desde Lund (1950), a paleontologia em cavernas brasileiras pouco evoluiu, principalmente, no que diz respeito ao estudo dos processos e condições de transporte e preservação do registro fossilífero e, essencialmente quanto às referências paleoambientais contíguas ao jazigo.

Acredita-se que eventos de importação de material para cavernas podem abrigar informações paleoambientais relevantes e mesmo permitir a análise de

situações futuras. É diante do exposto que esta dissertação procura primeiramente inferir acerca do conteúdo paleoambiental contido na assembléia fóssil encontrada na Lapa do Carlúcio e, em seguida, extrapolar o conhecimento ao ambiente atual.

O formato desta dissertação apresenta a seguinte estrutura: Referencial Teórico, Área de Estudo, Capítulo I, Capítulo II.

No Referencial Teórico procurou-se situar o leitor quanto ao ambiente subterrâneo, com destaque para o endocarste e quanto à paleontologia em cavernas. Na Área de Estudo foi abordado o status do conhecimento científico acerca do meio físico e cobertura vegetal do Vale do Peruaçu. De modo complementar foi ainda apresentado um item referente às enchentes do Peruaçu, tema pertinente ao presente estudo.

Os capítulos I e II apresentam dados inéditos, obtidos durante a realização do estudo. Ambos os capítulos foram estruturados em forma de artigo científico podendo, quando pertinente, apresentar informações anteriormente abordadas no Referencial Teórico ou na Área de Estudo.

O Capítulo I caracteriza a assembléia fóssil encontrada na Lapa do Carlúcio. São apresentados o inventário e a distribuição espacial do registro fóssil na caverna, bem como dados topográficos e idades relativas a amostras de destaque. A hipótese de importação do material para a Lapa do Carlúcio em decorrência de paleoreservatórios é amplamente explorada. Os dados contidos no Capítulo I da dissertação balizam a concepção do capítulo seguinte.

No Capítulo II foi abordada a possibilidade de ocorrência de novos abatimentos com conseqüente represamento do Rio Peruaçu. O maior nível de deposição de fósseis encontrado no primeiro capítulo, considerado nível mínimo atingido por um paleoreservatório, foi extrapolado para o relevo atual sendo avaliadas as perdas de áreas naturais e antropizadas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 O CARSTE

Segundo Klimchouk & Ford (2000a) a palavra *karst* significa terreno pedregoso (*stony ground*). O termo apresenta sua origem associada à morfologia da paisagem da Eslovênia e Croácia (*kras*) e refere-se a relevos com formas típicas de processos de dissolução e com drenagem predominantemente subterrânea (Karmann, 2000; Piló, 2000).

#### 2.1.1 Áreas Cársticas

As áreas cársticas são aquelas em que prevalecem relevos desenvolvidos, principalmente, a partir de processos hidroquímicos de dissolução no qual o transporte em solução é mais importante que o transporte por outros processos (Piló, 1997b; Piló, 2000; Auler, 2006). Tradicionalmente são consideradas áreas cársticas as regiões onde se encontram litologias solúveis do tipo evaporitas e, principalmente, carbonáticas (Karmann, 2000; Auler, 2006).

As rochas mais propícias à carstificação são as carbonáticas, pois combinam alto grau de solubilidade com grande resistência mecânica que permite a sustentação de grandes vazios em seu interior (Guano Speleo, 2004). Definem-se por carbonáticas as rochas nas quais o mineral predominante apresenta o radical carbonato  $\text{CO}_3^{2-}$ , como os calcários, dolomitos, mármore, brechas ou conglomerados carbonáticos, greda e carbonatitos. Acredita-se que cerca de 90% das cavernas conhecidas no mundo se desenvolveram em rochas carbonáticas (Auler, 2006).

Karmann (1994) estima a extensão das áreas carbonáticas do Brasil em 5 a 7% do território. Auler et al. (2005) calculam que as regiões cársticas

brasileiras somam, aproximadamente, 200 mil km<sup>2</sup>. Segundo esses autores o carste carbonático brasileiro ocorre, principalmente, em áreas de carbonatos antigos, de idade predominantemente Pré-Cambriana, desenvolvidos em regiões tectonicamente estáveis (crátons) e sob clima sazonal. A maior parte das áreas cársticas se desenvolve em carbonatos do Grupo Bambuí, situado nos estados de Minas Gerais, Goiás e Bahia (Auler et al., 2005). Para Minas Gerais, Piló (1997b) estima o potencial cárstico em cerca de 17.600km<sup>2</sup> ou o equivalente a 3% do estado.

Auler et al. (2005) afirmam que o carste no Brasil ocorre não apenas em áreas de carbonatos, mas também em litologias siliciclásticas, como arenitos e quartzitos. Auler (2006) acrescenta que a recente constatação da susceptibilidade de áreas de minério de ferro à formação de cavernas adiciona um componente ao contexto espeleológico brasileiro. O autor destaca ainda a ocorrência, em menor escala, de cavernas em granito, gnaisse, solo e rochas metamórficas variadas como micaxistos e filitos. A feição do relevo presente em áreas de litologias não solúveis tem sido denominada pseudo carste. Nessas áreas o principal fator modelador é a ação mecânica da água. Nesse sentido o desenvolvimento ocorre essencialmente por desagregação dos grãos e não por dissolução como ocorre nas rochas solúveis.

### **2.1.2 Carstificação**

Para que os processos de carstificação ocorram, as rochas solúveis devem perfazer um pacote de considerável espessura localizada na superfície ou próxima a ela. O desenvolvimento de áreas cársticas está condicionado ainda a características estruturais e/ou tectônicas dessas rochas uma vez que a permeabilidade de fraturas favorece o fluxo preferencial da água subterrânea (Karmann, 2000; Auler et al., 2005).

Para cumprir seu papel de agente de dissolução, a água penetra no sistema via porosidades. A porosidade de uma rocha representa o somatório do conjunto de seu espaço vazio (Klimchouk & Ford, 2000b). No domínio cárstico, ela se divide em porosidade primária e secundária. A primária consta dos espaços intragranulares da rocha, constituídos durante a diagênese. Tal porosidade não é muito expressiva em rochas carbonáticas já que se apresentam, em geral, de forma maciça (Piló, 2000).

Por outro lado, tem destaque na elaboração de formas cársticas, a porosidade secundária, representada por juntas, fraturas, falhas, planos de acamamento e outras discontinuidades formadas essencialmente pós-diagênese. Como exemplo observa-se que, onde largas falhas estão presentes, é comum encontrar dolinas e paredes alinhados ao longo delas (Piló, 2000). Destaca-se que os sistemas de condutos e fraturas são o principal meio de circulação de água em aquíferos cársticos por representarem as principais estruturas que guiam o fluxo (Milanovic, 1981; Klimchouk & Ford, 2000b).

Sendo a água o agente de dissolução e transporte primordial na carstificação esta, obviamente, precisa estar presente no sistema. Nesse sentido, climas com maior disponibilidade hídrica são mais favoráveis ao desenvolvimento de áreas cársticas. Nota-se, ainda, que a água deve estar presente no sistema essencialmente em circulação e, para tal, faz-se necessário que o relevo apresente gradiente hidráulico de moderado a alto e amplitude topográfica acima do nível do mar (Karmann, 2000).

O desenvolvimento do relevo cárstico em rochas carbonáticas é controlado e direcionado principalmente pelo equilíbrio químico do sistema  $\text{CO}_2$  - $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{CaCO}_3$  em que operam os processos de dissolução e transporte. A dissolução ocorre quando a água da chuva absorve o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) presente na atmosfera e nos solos, derivado da matéria orgânica e se transforma no ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Ao infiltrar pelas fraturas e discontinuidades

litológicas, a água saturada de ácido carbônico dissolve o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) da matriz litológica, formando o bicarbonato de cálcio ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ), que é altamente solúvel e, portanto, transportado em solução (Karmann, 2000; Piló, 1998; 2000; White, 2000).

### **2.1.3 Modelado Cárstico**

A morfologia cárstica representa um complexo dinâmico de feições esculpidas pela ação da água em circulação, que atua na dissolução de sais de pacotes espessos de rochas carbonáticas aflorantes ou subsuperficiais. O relevo é ruiforme e acidentado e apresenta uma variedade de feições singulares desenvolvidas por processos de dissolução, corrosão e abatimento. A drenagem é do tipo criptorréica, caracterizada por rios com fluxo vertical e subterrâneo, com ampla presença de sumidouros e ressurgências e vales cegos (Ferreira, 2004).

O sistema cárstico envolve os domínios superficial, subsuperficial e subterrâneo inter-relacionados, mas separados em exocarste, epicarste e edocarste, respectivamente, por apresentarem processos e atributos característicos.

#### **2.1.3.1 Exocarste**

A morfologia superficial do carste, denominado exocarste (Bögli, 1980) é marcada por feições específicas dentre as quais as dolinas são as formas mais particulares (Piló, 2000). As dolinas constituem depressões fechadas, circulares ou elípticas, para onde converge a água superficial. Seu tamanho varia em profundidade e diâmetro de poucos metros a centenas de metros e são divididas em quatro tipos morfogenéticos (Jennings, 1985): (i) as dolinas de dissolução são formadas pela dissolução diferencial acelerada concentrada em uma descontinuidade e com o carreamento do material pela fratura; (ii) as dolinas de

colapso ou abatimento são formadas pelo desabamento do teto ou parede de uma caverna; (iii) as dolinas de colapso devido ao carste subjacente ocorrem em áreas de carste cobertos onde o colapso incide subjacente a uma camada de outra litologia a qual também desaba; e (vi) as dolinas de aluviais ou de subsidência compreendem um rebaixamento resultante do carreamento gradual do solo através de fraturas. A coalescência de duas ou mais dolinas formam depressões em forma de flor que podem apresentar vários sumidouros e recebem o nome de uvala (Jennings, 1985; Piló, 1998).

Os poliés ou *poljé* representam outro tipo de feição exocárstica. Configuram largas depressões fechadas, de fundo plano coberto por aluviões e cortada por um fluxo de água, circundadas por paredes abruptas. Nesses, a planície de corrosão é resultante do processo de dissolução das bordas circundantes por inibição do rebaixamento do relevo. Muitos poliés alojam lagoas temporárias e são aptos ao desenvolvimento de áreas de agricultura e centros urbanos (Jennings, 1985; Kohler, 1995; Piló, 1998; 2000).

Regiões de transição morfológica que conjugam características fluviais e cársticas foram denominadas por White (1988) como fluviocársticas. São caracterizadas pela ocorrência de curso d'água com trechos superficiais e subterrâneos, na qual a drenagem pode ter sua origem no próprio carste (autóctone) ou fora dele (alóctone). Dentre essas feições destacam-se: (i) os sumidouros ou vales cegos que correspondem à interrupção abrupta da drenagem para o início do seu percurso subterrâneo; (ii) as ressurgências ou vales recuados que definem o retorno da drenagem ao curso superficial; (iii) os vales secos que configuram testemunhos de antigo vale fluvial cujo curso hoje corre subterrâneo; e (iv) os *canyons* que constam de vales encaixados com paredões abruptos com origem normalmente relacionada a abatimentos de sistemas subterrâneos (Jennings, 1985; White, 1988; Kohler, 1995; Piló, 1998, 2000). Kohler (1995) salienta que um fluviocarste ativo geralmente apresenta

acima de seu nível atual feições não funcionais, designadas fósseis, como vales suspensos, abrigos e cavidades naturais.

Formas residuais, fruto da dissolução diferencial da rocha, aparecem em amplitude no relevo cárstico assumindo formas distintas. No carste tropical, ocorrem feições constituídas por morros residuais que recebem denominações distintas como cone, torres, *mogote* e *cockpits*, sendo usado, no Brasil, o termo maciço calcário. Outra forma residual compreende as caneluras, sulcos, furos ou saliências irregulares de variadas dimensões que são definidas por *lapiaz*, *lapies*, *lapiás* ou *karren*. Tais feições se formam diretamente sobre a rocha ou em carste, parcial ou totalmente coberto, dado à dissolução promovida pela ação de ácidos húmicos do solo ou pelo escoamento das águas pluviais. Extensas superfícies cobertas por lapiesamento são designadas campos de lapiás (Kohler, 1995; Piló, 1998; 2000).

### **2.1.3.2 Epicarste**

A zona de subsuperfície do relevo cárstico é denominada epicarste e compreende os solos e o manto de intemperismo. Os solos cársticos são formados apenas pelo produto residual insolúvel da rocha carbonática, o qual não pode ser transportado em solução. Em decorrência da reduzida parcela de elementos insolúveis nas rochas carbonáticas, esses solos tendem a ser pouco espessos (White, 1988). Sendo o resíduo disponível para sua a formação restrito, menor que 10% nos calcários, compreendem solos antigos e essencialmente constituídos por sílica, alumino e ferro (Piló, 2000).

Ainda que pouco espesso, o manto de alteração epicárstico configura a zona mais dinâmica na elaboração do relevo cárstico por ser aí a dissolução do carbonato acelerada. Isso incide dado à baixa capacidade de absorção do solo que, saturado, induz o fluxo lateral ao longo do contato rocha-solo. O tempo de

residência da drenagem interna nessa zona também é maior o que igualmente auxilia o processo de dissolução (Piló, 2000).

### **2.1.3.3 Endocarste**

O domínio endocarste (Bögli, 1980) engloba as formas subterrâneas incluindo as cavernas e seus depósitos químicos, clásticos e orgânicos.

## **2.2. CAVERNAS**

Cavernas configuram *vazios* mantidos após porções da rocha matriz terem sido removidas por dissolução. Constam de leitos de rio subterrâneos, ocupados ou não pela água, os quais muitas vezes são controlados por diaclases, falhas, fratura e planos de estratificação (White, 1988; Piló, 2000; Auler et al., 2005).

### **2.2.1 Cavernas Primárias e Secundárias**

As cavernas cársticas e pseudo-cársticas podem ser divididas de acordo com sua formação em primárias e secundárias. As cavernas primárias têm origem simultânea à gênese da rocha encaixante sendo o exemplo mais comum aquelas desenvolvidas pelo resfriamento diferencial do magma. Nessas a superfície exterior do fluxo se solidifica primeiro, formando uma cobertura, enquanto correntes interiores de lava seguem curso deixando um vazio no leito interior que define a cavidade. Já as cavernas secundárias têm origem posterior à litificação sendo formadas por processos mecânicos como fraturamentos tectônicos e erosão física, como a ação de ondas do mar, e/ou por processos físico-químicos de erosão e dissolução (Guano Speleo, 2004).

### 2.2.2 Espeleogênese

Klimchouk & Ford (2000a) definem por espelogenese a criação e evolução de estruturas organizadas de permeabilidade na rocha, as quais foram desenvolvidas como resultado do aumento, por dissolução, da porosidade primitiva. A dissolução corresponde ao principal processo responsável pela gênese das cavernas sendo, portanto, as áreas de rochas solúveis as mais favoráveis à carstificação. Em rochas carbonáticas observa-se que as cavernas são formadas na zona vadosa, na zona freática e ainda no nível freático (Piló, 2000).

Em cavernas carbonáticas, o estágio de formação inicial sucede abaixo do nível freático, onde o fluxo laminar preenche a porosidade secundária da rocha. Com o aumento do fluxo, formam-se canalículos, designados protocondutos, que estabelecem a organização inicial e as conexões entre as zonas hidrológicas de recarga e descarga. Gradualmente, os protocondutos expandem, até alcançar diâmetro entre 5 e 15mm, que marca o estágio *breakthrough*, a partir do qual o fluxo passa a ter regime turbulento com conseqüente aceleração do desenvolvimento da cavidade. O aumento dos protocondutos e a definição de rotas de fluxo marcam a mudança do aquífero fraturado para aquífero de condutos. O desenvolvimento freático implica em condutos com cortes circular e elípticos já que o total preenchido por água permite a dissolução homogênea influenciada apenas pela porosidade secundária (Jennings, 1985; Karmann, 2000; Auler et al., 2005).

Com o contínuo rebaixamento do lençol freático, a caverna é exposta à zona vadosa. Os condutos se expandem pelo alargamento das fraturas, sendo favorecido o desenvolvimento vertical por ação gravitacional, conforme ocorre em redes de drenagem superficial. A formação de dutos estreitos e altos com forma de cânion é característica (Auler et al., 2005).

O perfil transversal do conduto pode ser modificado devido à obstrução parcial ou total desse por sedimentos. Carreados pelo fluxo d'água, sedimentos são depositados em cavernas quando a capacidade de transporte do fluxo diminui. O acúmulo desses depósitos isola o piso da caverna da dissolução, mas o processo segue atuando no teto (White, 1988). Tal processo espeleogenético é denominado paragênese e define a dissolução que ocorre de baixo para cima, na interface entre o topo do sedimento e a porção da rocha que compõe o teto da cavidade. Como morfologia resultante ocorrem os canais de teto (half-tubes) que figuram como cânions invertidos situados acima de condutos pré-existentes (Piló, 2000).

De forma conclusiva salienta-se que o desenvolvimento de cavernas resulta da interação da taxa com que a água pode se mover entre as fraturas e desenvolver os condutos com a taxa com que o calcário se dissolve (White, 2000). As cavernas evoluem gradualmente desde a rede de protocondutos até quando essas se tornam secas e prestes a ser interceptadas pela denudação do terreno. Neste contexto, entende-se por cavidades jovens aquelas em franco processo de escavação. Atinge-se a fase madura quando é observado o processo de incisão (desprendimento de blocos das paredes e tetos) e formação espeleotemas. A caverna passa à senil quando as águas a abandonam escavando níveis inferiores onde o ciclo recomeça com a origem de uma nova cavidade. Por fim, a caverna se torna fóssil ao ser obstruída por depósitos químicos ou clásticos (Guano Speleo, 2004; Auler et al., 2005).

### **2.2.3 Depósitos Endocársticos e Processos Associados**

No interior de cavernas são encontrados depósitos dos tipos (i) químicos, os quais são formados pela precipitação do material em solução como os espelotemas; (ii) clásticos, que representam fragmentos de rochas e

sedimentos; e (iii) orgânicos, que constam da matéria orgânica preservada da decomposição como fósseis e por vezes tufas.

Quanto à origem, os depósitos são designados alóctones quando correspondem materiais procedentes do meio externo à caverna. Esses podem ter sido transportados para o seu interior por agentes como água, vento ou gravidade. São exemplos a ocorrência de fósseis e de solo. Quando os depósitos agrupam materiais gerados dentro da própria caverna são definidos como autóctones, sendo exemplos os espeleotemas, blocos abatidos e resíduos insolúveis da rocha como argilas.

Diversos tipos de minerais são depositados em cavernas em decorrência da precipitação química e são genericamente denominados espeleotemas (Jennings, 1985). Os espeleotemas constam do tipo de depósito mais comum em cavernas carbonáticas e são compostos, principalmente, por carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), em geral sob forma de calcita e aragonita. Os espeleotemas recebem nomes específicos alusivos à forma como a contínua precipitação química o esculpe. A formação de depósitos de  $\text{CaCO}_3$  ocorre uma vez que, ao alcançar ambientes cavernícolas, a água infiltrante encontra atmosfera com baixa pressão parcial de  $\text{CO}_2$ . Saturada em bicarbonato de cálcio em solução, proveniente da dissolução do carbonato, a solução aquosa libera  $\text{CO}_2$  para a atmosfera da caverna o que resulta na precipitação do carbonato de cálcio e a consequente formação de espeleotemas. Tal processo pode ser sintetizado pela equação:  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \leftrightarrow 2\text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{2+}$  (Auler et al., 2005).

Outro depósito autóctone configura os blocos colmatados do teto e paredes das cavernas pelo processo designado desmoronamento, abatimento, colapso ou incasão. O acúmulo desses blocos forma os cones de dejeção que recobrem pisos e por vezes obstruem totalmente esses condutos. A incasão ocorre em função do ajuste mecânico das cavidades e incide em linhas de maior fraqueza como planos de estratificação e fraturas. Os abatimentos dependem de

fatores hidrológicos, morfológicos e, em especial, dos atributos litológicos e estruturais.

Depósitos orgânicos alóctones como fósseis e subfósseis encontram nas cavernas ambientes propícios à sua preservação. Adjuntos aos achados orgânicos em cavidades naturais estão informações paleoambientais exclusivas as quais arquivam o passado da região.

### **2.3. PALEONTOLOGIA EM CAVERNAS**

A paleontologia teve importante papel no nascimento da espeleologia como ciência moderna uma vez que a preocupação em explicar a origem da vida levou ao estudo de registros fossilíferos, abundantes nas cavidades naturais (Souza, 1999).

#### **2.3.1 Histórico**

Remota à exploração do salitre (nitrato de potássio), mineral utilizado na fabricação da pólvora, extraído de cavidades do Brasil central, no final do século XVIII e início do XIX, os primeiros fósseis encontrados nesses ambientes. Comentários acerca desses achados levaram viajantes naturalistas estrangeiros, no começo do século XIX, a visitar grutas (Couto, 1971; Souza, 1999). Múltiplos relatos de viajantes abordam a existência de fósseis em cavidades, no entanto, as cavernas constituíam objeto de interesse secundário frente à amplitude da natureza brasileira a explorar (Auler, 2004).

Dentre os naturalistas estrangeiros, destaca-se o dinamarquês Peter Wilhelm Lund (1801-1880), o primeiro a explorar sistematicamente as cavernas com o objetivo de estudar seus depósitos fossilíferos (Couto, 1971; Auler, 2004). Entre 1835 e 1846, Lund visita mais de 800 cavernas na região central de Minas Gerais, coletando 12.412 peças fósseis pertencentes a 100 gêneros e 149 espécies dos quais 19 gêneros e 32 espécies extintos (Cartelle, 1995). Além da

questão paleontológica, os estudos de Lund (1950) apresentam conceitos originais acerca da espeleogênese, da formação de salitre, da conservação de cavernas, da deposição de espeleotemas e da cronologia dos sedimentos em grutas (Couto, 1971; Auler, 2002; 2004). Sua coleção, que integra o acervo do Zoologiske Museum em Copenhague, permitiu estudos posteriores com destaque para a obra de Herluf Winge (1888-1915) que se tornou a principal referência da mastofauna pleistocênica brasileira (Cartelle, 1995; Leite & Costa, 2002).

Cinquenta anos após os trabalhos de Lund (1950), entre 1897 a 1905, o alemão Richard Kröne realiza trabalho semelhante, embora com resultados bem mais modestos, nas grutas do vale do Ribeira, em São Paulo (Cartelle, 1994; Auler et al., 2001; Auler, 2004). O legado de Kröne consta do cadastro de 41 cavernas, do mapa da Gruta do Monjolinho, do pioneirismo na fotografia subterrânea no Brasil e de acervo paleontológico, posteriormente, estudado pelo argentino Florentino Ameghino (Cartelle, 1994; Auler, 2004).

Apesar de estudos dispersos, especialmente do Museu Nacional do Rio de Janeiro, a continuidade concreta da pesquisa paleontológica em cavernas ocorre apenas na década de 1930 com a atuação da extinta Academia Mineira de Ciências no vale do rio das Velhas. Embora tenha sido a arqueologia o centro de interesse do estudo, as escavações encontraram vários fósseis muitos dos quais integram o Museu de História Natural da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) (Couto, 1953; Cartelle, 1994; Cartelle et al., 1998).

A partir da década de 1940, o gaúcho Carlos de Paula Couto se dedica ao estudo de fósseis em cavernas. Além da vasta coleção que compõe o acervo do Museu Nacional do Rio de Janeiro, onde trabalhava, a atuação de Paula Couto resultou em mais de duzentos artigos científicos, no resgate e tradução da obra de Peter Lund e na publicação de livros de referência fundamental na área de paleontologia de mamíferos brasileiros (Couto, 1953; Cartelle, 1994). O

trabalho de Paula Couto culminou, ainda, na publicação da lei de proteção aos depósitos fossilíferos de 1942 (Brasil, 1942) e na formação de uma geração de paleontólogos (Cartelle, 1994).

Pesquisas paleontológicas em cavernas de Minas Gerais continuaram de maneira esporádica a partir da década de 1970 na região de Lagoa Santa, com destaque para a expedição franco-brasileira na Lapa Vermelha. Sua consolidação, contudo, ocorre, principalmente, na década de 1980 com pesquisadores da UFMG e da Pontifícia Universidade Católica (PUC-MG) (Cartelle, 1994; Cartelle et al., 1998; Ferreira et al., 2003).

Desde os trabalhos de Lund (1950), os inventários paleontológicos em cavernas de Minas Gerais concentram-se na região instituída atualmente como APA Carste de Lagoa Santa. Em 1998, a região contou com extenso estudo, vinculado à gestão ambiental da Unidade de Conservação, que culminou em detalhada caracterização paleontológica e na composição de um mapa de grutas com registros fósseis (Cartelle et al., 1998; Ferreira et al., 2003).

### **2.3.2 Fossilização em Cavernas**

Toda fossilização consta da interrupção da decomposição e, portanto, deve ser sempre vista como processo excepcional que interrompe a passagem do tempo (Carvalho, 2004). A fossilização de um organismo depende de condições específicas para se realizar, constituindo desta forma em fenômeno bastante raro. Cassab (2004) descreve a fossilização como a resultante da ação do conjunto de processos físicos, químicos e biológicos que atuam no ambiente deposicional.

A dinâmica dos processos inerentes à vida é naturalmente destrutiva para a matéria orgânica, quase sempre formada por moléculas facilmente dissociadas em condição pós-morte. A mesma dinâmica natural, entretanto, determina mecanismos que reforçam a resistência e durabilidade de carcaças ou elementos dissociados e os protege da decomposição (Medeiros, 2004). Dentre

as premissas para a fossilização, destacam-se a existência de *partes duras* no organismo, em especial inorgânicas, e a ocorrência do soterramento rápido do material. Tais condições, associadas a um ambiente deposicional não-ácido evitam a decomposição.

Cavernas podem ser encontradas em distintas litologias, no entanto, registros fósseis apenas foram reportados em rochas carbonáticas (Auler et al., 2006). Cavidades desenvolvidas em calcários e dolomitos apresentam atributos que facilitam a formação de fósseis em seu interior. A estabilidade ambiental desses ambientes, com destaque para a ausência permanente de luz, e o ambiente não-ácido do interior das grutas limita a decomposição de organismos por agentes biológicos, físicos e químicos. O ambiente cavernícola isola o organismo do sistema externo e, portanto, das intempéries e, nesse sentido, funciona como o soterramento. Por outro lado, a água de percolação solubiliza compostos carbonáticos do solo e subsolo os quais são disponibilizados em eventos posteriores de precipitação onde promovem a fossilização de organismos.

#### **2.3.2.1 Tafonomia**

A tafonomia consta do estudo dos processos e das condições que permitiram a preservação dos fósseis e como eles afetam a informação no registro fossilífero (Cassab, 2004). Estudos tafonômicos são fundamentais para a pesquisa paleontológica, uma vez que levam ao conhecimento mais acurado da formação das jazidas fossilíferas encontrados em cavernas, bem como dos fatores envolvidos na preservação dos depósitos (Almeida, 2000, citado por Ferreira, 2003). Eventos de importação de material para o interior de cavernas são únicos e irreplicáveis, determinando sítios deposicionais ímpares (Ferreira, 2003).

Quanto aos mecanismos que podem causar a deposição no interior das cavernas, Lund (1950), com base em amplo estudo de registros fósseis da região de Lagoa Santa, reconheceu cinco processos pelos quais materiais são introduzidos em cavidades: (1) por meio de predadores que usam cavernas como abrigo; (2) através queda em abismos; (3) pelo extravio e conseqüente morte de animais que entram nas cavernas em busca de água ou abrigo temporário; (4) dado à morte de animais que habitam as grutas; e (5) através do transporte por enxurrada.

Os mesmos processos gerais definidos por Lund (1950) são aclarados por outros autores com destaque para o transporte fluvial. Cartelle (1994) defende que a ação de enxurradas, enchentes ou de rios que atravessam cavernas é o fato mais comum no aporte de organismos para o interior desses sistemas. Nesse mesmo sentido, Souza (1999) observa que grande quantidade de sedimentos são carreados para dentro das cavernas pelas águas das enxurradas levando contíguo restos de animais e vegetais. Couto (1953, p. 27-28) descreve as cavernas calcárias como depositárias de fósseis que “acumularam-se, ali, por ação de águas de enchentes periódicas ou de cursos d’água subterrâneos, freqüentemente de mistura com concreções estalagmíticas, próprias das cavernas de regiões calcárias”.

Ademais do transporte fluvial, Souza (1999) observa a ocorrência da fossilização dos próprios animais cavernícolas e Couto (1971, p. 7) acrescenta que às “corujas e mocós se devem milhares de ossadas de pequenos vertebrados (ratos) encontrados no interior das cavernas como resultado de suas regurgitações”. Couto (1971) afirma, ainda, que os restos de vertebrados encontrados em cavernas podem, também, ser provenientes de animais que as freqüentavam esporadicamente, procuravam-nas ocasionalmente ou chegavam ali acidentalmente.

A acumulação fossilífera encontrada em ambientes cavernícolas irá depender da estrutura da caverna e, em especial, do tamanho e número de aberturas que ela possui. Segundo Ferreira (2003), muitas das cavidades com registros fósseis possuem pelo menos uma entrada situada em fundo de dolina. O autor afirma que a localização da entrada da caverna em encosta médio-superior da vertente indica baixa possibilidade de aporte de material para seu interior.

#### **2.3.2.2 Processos**

Conforme Ximenes (2002), a preservação em cavernas ocorre basicamente por dois processos: a mumificação e a incrustação. A mumificação consiste em processo raro onde partes orgânicas do animal são preservadas por desidratação. Já a incrustação é mais comum, em vista da própria dinâmica de recristalização do carbonato de cálcio e pode ocorrer relativamente rápido não sendo indicativo de antiguidade da peça (Ximenes, 2002).

Na incrustação, as substâncias transportadas pela água cristalizam na superfície da estrutura, desta forma, o organismo é recoberto por película de mineral, normalmente calcita, que o preserva. Esse processo é amplamente observado em registros de fósseis encontrados em cavernas (Souza, 1999; Cassab, 2004). Além da incrustação, fósseis encontrados em cavernas são normalmente originados a partir de processos de permineralização e substituição. A permineralização trata do preenchimento de poros, canálculos ou cavidades internas existentes no organismo podendo ser este preenchimento mineral, calcita no caso de cavernas calcárias, ou clástico. A substituição é progressiva alteração do mineral que compõe originalmente a peça por outro composto. Em ambientes cavernícolas é comum o processo de substituição por calcificação (Cassab, 2004).

Cartelle (1994) afirma que o estado dos fósseis em cavernas é variado podendo uma única gruta apresentar registros com diferentes aspectos. Ferreira (2003) destaca que, no caso de ter sofrido substituições químicas, os materiais encontrados estarão efetivamente fossilizados ao passo que em registros desgastados ou superficialmente concrecionados, considera-se o material como sub-recente. Cassab (2004) acredita serem considerados fósseis somente os restos ou vestígios de organismos com mais de 11.000 anos, tempo calculado pela última glaciação que marca o início do Holoceno, registros com idade inferior são denominados subfósseis.

### **2.3.3 Tipos de Fósseis Encontrados em Cavernas**

Dois tipos de fósseis podem ser encontrados em cavernas. O primeiro refere-se aos fósseis inclusos na própria rocha encaixante, associando à fauna da idade da diagênese litológica (Souza, 1999). Rochas carbonáticas, na maioria das vezes, têm sua formação associada à sedimentação de depósitos ricos em carbonato de cálcio proveniente de restos de animais marinhos ou de compostos químicos produzidos por organismos. Dado a esta origem biogênica, a própria rocha carbonática pode apresentar restos ou vestígios de vida presentes durante sua diagênese.

No caso dos calcários e dolomitos do Grupo Bambuí, apenas fósseis referentes a formas de vida primitivas são observados dado à sua idade Neoproterozóica. São notáveis os estromatólitos encontrados na Formação Sete Lagoas, que indicam ambiente de depósitos marinho-rasos, influenciados por tempestades (Martins-Neto & Alkmim, 2001).

Cartelle (1995) afirma que no interior de grutas calcárias ocorre grande parte dos achados paleontológicos. Apesar da predisposição das cavernas à ocorrência de fósseis, o ambiente cárstico representa um sistema dinâmico que reestrutura ativamente suas feições. As cavernas são, portanto, bem mais

recentes que a rocha em que se inserem (Auler et al., 2006). Auler et al. (2006) baseados nas taxas de denudação do relevo da região cratônica, na qual se encontra a maioria das cavernas brasileiras, afirmam que é improvável que qualquer cavidade encontrada no presente possa ter sobrevivido na paisagem por mais de alguns milhões de anos sem ter sido desestruturada por erosão. A iniciação da espeleogênese pode por vezes ter ocorrido no Terciário, mas a morfologia atual das cavidades foi desenvolvida essencialmente em tempos geológicos recentes, durante o Quaternário (Auler et al., 2005).

Tal característica faz com que não seja presumível encontrar cavernas e, por conseguinte fósseis, de idades avançadas em rochas carbonáticas. Registros de vida Pleistocênica predominam no estudo de paleontologia de cavernas, enquanto materiais mais recentes, do Holoceno, são pouco pesquisados apesar de poder fornecer informações relevantes quanto ao passado recente do ambiente.

Acredita-se que as cavernas do Grupo Bambuí se desenvolveram, principalmente, durante o Quaternário e são especialmente relevantes no registro de vida do Pleistoceno (Cartelle, 1995; Ferreira, 2003; Ferreira et al., 2003). Para as cavernas inseridas no Vale do Rio Peruaçu acredita-se que o limite inferior da abertura dos condutos se deu no Plio-Pleistoceno (Kholer et al., 1989; Piló, 1989; Moura, 1997).

Desde a atuação de Peter Lund, as grutas do Grupo Bambuí inseridas no Vale do Rio das Velhas, especialmente da região de Lagoa Santa, têm ocupado lugar de destaque no registro fóssil da fauna Pleistocênica. Outras cavernas em regiões e domínios litológicos distintos têm igualmente fornecido material de grande importância para o melhor conhecimento da fauna extinta no final do Pleistoceno. Cartelle (1994) destaca as cavidades nos estados de São Paulo, Bahia, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí. Auler et al. (2001) salienta a importância da Toca da Boa Vista (Campo

Formoso, Bahia), maior caverna brasileira, como sítio paleoambiental onde “numerosos fósseis, muitos deles completos e em notável estado de preservação, permitiram expandir o conhecimento sobre a paleontologia de vertebrados pleistocênicos” (Auler et al., 2001, p. 71).

Ademais de vertebrados pleistocênicos, cavernas carbonáticas apresentam registros fósseis de invertebrados, principalmente moluscos uma vez que tais organismos apresentam *partes duras* associadas. Em inventário paleontológico da APA Carste de Lagoa Santa, Cartelle et al. (1998) registra fósseis de moluscos diversos em quatro cavidades. Ferreira (2003) evidencia moluscos (Bivalvia e Gastropoda) durante estudos paleontológicos empreendidos na Província Cárstica Arcos-Pains-Doresópolis. Baptista & Morato (2003) descrevem a incidência de gastrópodes terrícolas do gênero *Megalobulimus* Miller (1878) (Strophocheiloidea: Megalobulimidae) em cavernas de Arcos e Pedro Leopoldo.

#### **2.3.3.1 Datação de Fósseis Encontrados em Cavernas**

Achados fósseis em cavernas fornecem informações importantes sobre a história ambiental do passado recente do lugar, sendo crucial determinar o quanto um resto orgânico é antigo. Auler et al. (2005) destacam que a taxonomia e tafonomia dos sedimentos orgânicos de cavernas aliadas a datações fornecem dados importantes sobre o paleoambiente da superfície estudada.

Métodos de datação por radiocarbono e por séries de urânio são os mais utilizados em amostras encontradas em cavidades naturais. Ambos os métodos são radio-isotópicos e se baseiam na taxa de desintegração atômica da amostra.

O método  $^{14}\text{C}$  é baseado na desintegração radioativa desse elemento. Durante a vida, todo ser vivo assimila de forma constante o  $^{14}\text{C}$  do ambiente, havendo equilíbrio entre a quantidade desse elemento encontrado no organismo e no ambiente. Quando ocorre a morte do organismo, esse equilíbrio é rompido não sendo mais observada a assimilação do  $^{14}\text{C}$ , apenas sua desintegração

radioativa. A desintegração do  $^{14}\text{C}$  decai em taxa constante definida pela meia vida, ou seja, pelo tempo necessário para que a atividade do  $^{14}\text{C}$  se reduza à metade. A idade é encontrada pelo cálculo do  $^{14}\text{C}$  residual verificado no organismo sendo adotada a meia vida de  $5.560 \pm 30$  anos (Pessenda et al., 2005).

Dois tipos de análises podem ser utilizadas na datação por  $^{14}\text{C}$ . Pelo método convencional, a idade é encontrada pela contagem do decaimento do carbono em meias vidas. Em amostras reduzidas é usado um Acelerador de partículas acoplado a um Espectrômetro de Massa definida pela sigla AMS, do inglês *Accelerator Mass Spectrometry*. Vale ressaltar que a espectrometria de massa é uma técnica que emprega a fragmentação física da matéria e detecção da massa e de sua abundância para deduzir a composição do material.

A idade encontrada por  $^{14}\text{C}$  é dada com referência a 1950, quando foi descoberto a datação por carbono 14, tido como o ano que regula o antes do presente (AP ou BP before present).

Assim como exposto para o método carbono 14, o método de datação por séries de urânio baseia-se na taxa de desintegração atômica do elemento. No entanto, no caso da datação por séries de urânio, a desintegração desse elemento gera um novo elemento ou ainda elementos de mesmo número atômico e massas diferentes. A idade da amostra é determinada pela razão de decaimento entre  $^{234}\text{U}$  para  $^{230}\text{Th}$ , desde que a parcela de argila ou detritos insolúveis da amostra inexista ou que os métodos de correção, especialmente  $^{232}\text{Th}$ - $^{230}\text{Th}$ , possam ser utilizados (Latham & Schwarcz, 1992).

A aplicação da série do urânio (U) para datação de minerais carbonáticos só é possível devido à solubilidade do urânio em água que contrasta com a completa insolubilidade do tório (Th). Dessa forma, os precipitados de calcita e de outros minerais apresentarão quantidades de urânio, mas serão virtualmente desprovidos de tório (Latham & Schwarcz, 1992). Sendo assim, o  $^{230}\text{Th}$  presente

nos precipitados é fruto do posterior decaimento radioativo do  $^{234}\text{U}$  e a comparação radioativa entre os isótopos permite obter a idade dos depósitos.

A utilização do método  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  na datação de minerais carbonáticos já está bem estabelecida e esse método parece ser o mais indicado na datação desses materiais, por fornecer uma amplitude temporal elevada com uma confiabilidade razoável (Richards & Dorale, 2003). Dentre as técnicas utilizadas tem destaque o uso da espectrometria de massa associada a uma fonte de ionização por plasma, chamado de ICP-MS do inglês *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*, denominado no Brasil de *Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado*, ou simplesmente *Espectrômetro Plasma-Massa* (Shen et al., 2002). Segundo Shen et al. (2002), essa técnica tornou possível reduzir o tamanho das amostras, utilizar amostras de maior dureza e analisar amostras com baixos teores de elementos.

Assim como em todas as técnicas de datação absoluta, a do  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  ICP/MS apresenta limitações e está sujeita a erros. No caso dos espeleotemas de cavernas é freqüente a troca geoquímica conduzida por água saturada de  $\text{CaCO}_3$ , percolando nos depósitos mais velhos de carbonato, permitindo a entrada (ou saída) de U e Th (Latham & Schwarcz, 1992). De forma inequívoca é reconhecida a eficiência da datação pela série do urânio para os compostos carbonáticos secundários e sua aplicação geocronológica com significativas repercussões em estudos paleoambientais e paleoclimáticos do Quaternário.

#### **2.4 FÓSSEIS ENCONTRADOS NAS CAVERNAS DO PERUAÇU**

Conforme destaca Simões (2007), os estudos paleontológicos na área do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (PNCP) são recentes e ainda incipientes. As referências quanto à presença de material biológico nas cavernas do PARNA se resumem ao trabalho de Sales (2002, 2003) e ao inventário paleontológico que compõe o Plano de Manejo do PARNA (Ferreira et al., 2003).

O estudo de Sales (2002; 2003) aborda a ocorrência de aves na Lapa do Rezar em distintas fases de decomposição. O trabalho, apesar de intitulado *Fossilização de Aves na Lapa do Rezar* (Sales, 2002; 2003) tem seu mérito associado à apresentação de inventário de esqueletos de aves encontradas na caverna e à inferência quanto às possíveis causas de sua ocorrência na gruta.

Entre 2003 e 2004 são desenvolvidos os levantamentos ambientais que iriam compor o Plano de Manejo do PARNA. Na ocasião, análises de paleontologia foram empreendidas no PARNA por Ferreira et al. (2003) abordando a deposição de fósseis em diversas cavidades naturais. O amplo estudo desenvolvido foi aplicado na definição de áreas de visitação turística e empreende recomendações quanto à proteção do patrimônio paleontológico e seu uso na educação ambiental de visitantes.

A prospecção paleontológica realizada durante os estudos do Plano de Manejo buscou inventariar quaisquer restos ou vestígios fósseis encontrados nas cavernas. Das grutas então vistoriadas, apenas a gruta Bonita não demonstrou qualquer resto ou vestígio fóssil (Ferreira et al., 2003).

Na Gruta do Janelão os materiais fósseis encontrados por Ferreira et al. (2003) associam-se essencialmente a níveis de deposição química principalmente pisos estalagmíticos e represas de travertinos. Os jazigos fossilíferos, de tamanho reduzido, abrigam restos de aves, roedores, morcegos e uma serpente, sendo que apenas um fragmento de crânio de mocó (*Kerodon rupestris*) concrecionado foi passível de identificação *in loco* (Ferreira et al., 2003).

Segundo Ferreira et al. (2003), na Gruta do Brejal destacam esqueletos de mamíferos, aparentemente sub-recentes, encontrados ao longo do conduto principal da caverna. Dois sítios de maior relevância foram encontrados. O primeiro consta de restos ósseos concrecionados de um cervídeo de médio porte, aparentemente da espécie *Ozotoceros bezoarticus* associados a piso

estalagmítico. O segundo jazigo consiste em um depósito clástico aluvionar, elevado topograficamente e em processo de desmonte erosivo, onde foram evidenciados ossos fragmentados pertencentes a diferentes espécies de mamíferos, algumas pertencentes a cervídeos e outras a pequenos carnívoros (Ferreira et al., 2003).

Os fósseis presentes na Gruta do Cabloco compreendem ninhos de vespas fossilizados, aparentemente do gênero *Sceliphron* sp. (Hymenoptera: Sphecidae), os quais representam icnofósseis, ou registros indiretos de vida, bastante raros encontrados somente em outras poucas regiões do Brasil conforme destacam Ferreira et al. (2003).

Já na Gruta do Rezar foram encontrados partes ósseas extremamente frágeis de uma anta (*Tapirus americanus*) e ossos extremamente fragmentados de mamíferos não passíveis de identificação. Muitos organismos mumificados mostram-se presentes no conduto da caverna, com destaque para carcaças de aves, indicando considerável entrada de organismos acidentais no sistema (Ferreira et al., 2003).

No interior da gruta Olhos D'Água, Ferreira et al. (2003) observaram fragmentos ósseos fossilizados bastante desgastados associados a sedimentos conglomeráticos do piso da cavidade. O grau de alteração nas peças denota o transporte por longas distâncias e impediu a identificação do material *in loco*. Foram passíveis de identificação duas peças, uma vértebra torácica e uma ulna direita, ambas pertencentes aparentemente a carnívoros (Ferreira et al., 2003).

A gruta da Preguiça guarda uma das maiores descobertas paleontológicas do PARNA Peruaçu: vários ossos incrustados bem preservados de uma preguiça terrícola extinta pertencente à espécie †*Catonyx cuvieri* (Mylodontidae: Scelidotheriinae) imersos em sedimento clástico calcificado. No relatório do Plano de Manejo a dinâmica deposicional, a fossilização associada

ao registro e o detalhamento do jazigo foram apresentados em forma de esquemas didáticos contendo fotos e ilustrações (Ferreira et al., 2003).

Outro sítio paleontológico de relevância consta da gruta Volta da Serra III (Olhos do Brioco). É caracterizado pela grande quantidade de fósseis presentes em praticamente toda extensão da caverna. Durante as prospecções realizadas por Ferreira et al. (2003) foram encontrados fósseis pertencentes a pelo menos três espécies de mamíferos extintos: †*Catonyx cuvieri* e †*Valgipes bucklandii* ambas preguiças terrícolas, e †*Hoplophorus euphractus*, um gliptodontíneo pleistocênico. A substituição foi constatada como processo de fossilização recorrente sendo observada, nos materiais submersos, a incorporação de óxido de manganês. Muitos dos registros encontrados na caverna passaram por rearranjos que alteraram sua posição deposicional original o que impossibilitou o estudo tafonômico. Tal interpretação apenas foi possível em dois jazigos sendo apresentada no relatório em forma de esquemas didáticos com fotografias e desenhos (Ferreira et al., 2003).

No interior da Lapa do Carlúcio, de acordo com Ferreira et al. (2003), encontram-se, associados a pisos estalagmíticos, grande quantidade de fósseis originados a partir de processos de incrustação, permineralização e substituição. Tem destaque a ocorrência de moluscos fossilizados, cujas conchas concrecionadas estão dispostas em grande abundância no segmento mais interior da caverna. Na gruta foram ainda evidenciados ossos concrecionados de roedores, quirópteros e anuros; partes esqueléticas de um pequeno passeriforme; e uma ulna e um úmero pertencente a mamífero de médio a grande porte, aparentemente uma anta (*Tapirus americanus*). A deposição encontrada na Lapa do Carlúcio foi interpretada por Ferreira et al. (2003) como proveniente de um único evento de importação isolado onde a água invadiu essa cavidade e alcançou grande altura. Inferiu-se que o evento de importação foi conseqüente

de um represamento do Rio Peruaçu desencadeado pelo abatimento encontrado na entrada da Gruta do Brejal (Ferreira et al., 2003).

### **3 ÁREA DE ESTUDO**

#### **3.1 ESTUDOS AMBIENTAIS**

Inserida às margens do Rio São Francisco, no norte de Minas Gerais, a região do Vale do Rio Peruaçu configurou uma das primeiras áreas de ocupação luso-brasileira do interior do país em vista do estabelecimento da rota colonial Caminho da Bahia. O caminho que ligava Salvador, então capital do governo geral da colônia, ao território minerador da capitania das Minas Gerais permitiu o surgimento das principais cidades da região (Instituto Terrazul, 2007). No século XIX, naturalistas aproveitaram da rota colonial para empreender incursões científicas ao Brasil Central e registrar desta forma os primeiros relatos acerca da paisagem cárstica da região do Vale do Peruaçu.

A partir da primeira metade do século XX, as referências ao Vale do Peruaçu começam a se tornar mais precisas, inicialmente sendo abordadas em forma de relatos e logo tomando caráter mais científico. Posteriormente, na década de 1970, ocorrem as primeiras excursões espeleológicas e arqueológicas ao Vale do Peruaçu e são publicados os primeiros trabalhos geológicos que abordam a região. Nas décadas seguintes, importantes descobertas espeleológicas e acadêmicas ocorrem e, à medida que a exploração do Peruaçu se estabelece, observa-se a origem de uma preocupação quanto à conservação da região que culminaria com a criação da Área de Proteção Ambiental (APA) Cavernas do Peruaçu em 1989 e do Parque Nacional (PARNA) Cavernas do Peruaçu em 1999.

Contribuições ao conhecimento das mais diversas características ambientais do Vale do Rio Peruaçu já foram publicadas com destaque para o documento referente ao Plano de Manejo do PNCP, de 2003, o qual configura o mais completo acervo científico acerca da área do PARNA.

### **3.2. CLIMA**

O clima da região se caracteriza como uma transição entre o tropical chuvoso, quente e úmido, com inverno seco e verão chuvoso e o semi-árido, com invernos secos e chuvas escassas no verão (Almeida & Uchigasaki, 2003). Segundo a classificação de Köppen, o clima é tropical com estação seca (Aw), ou clima tropical quente conforme a categorização de Gaussen. A temperatura média anual de 24°C e precipitação média anual de 876,7 mm. (Moura, 1997; Serafini Junior, 2003).

Ocorrem duas estações bem definidas sendo que o período chuvoso de novembro a abril corresponde aos meses mais quentes e a estação seca, de maio a outubro, é bastante severa. O período de estiagem é prolongado, podendo alcançar sete meses. O trimestre de junho a agosto consta do mais seco, com precipitação inferior a 60 mm em pelo menos um dos meses. Nos meses de verão observam-se fortes chuvas isoladas ou precipitações generalizadas. O mês de dezembro é o mais chuvoso atingindo em média 216 mm. A evapotranspiração anual potencial está entre de 1.650 a 1.800 mm, com déficit anual no balanço hídrico que varia de 550 mm a 900 mm. (Moura, 1997; Piló, 1997a; Serafini, 2003).

### **3.3. GEOLOGIA**

A região do Vale do Rio Peruaçu se insere na unidade geotectônica do Cratón São Francisco (Almeida, 1977). Nesse cratón, estabilizado a partir da primeira metade do Pré-Cambriano Superior, encontra-se o embasamento

cristalino recoberto por rochas pertencentes aos Supergrupos Minas, Espinhaço e São Francisco, esse último composto pelos Grupos Macaúbas e Bambuí em Minas Gerais (Almeida, 1977; Campos et al., 1991; Almeida & Uchigasaki, 2003). No interior do cráton o grau de metamorfismo é baixo; em geral suas camadas são subhorizontais.

Na área de estudo, as seqüências pré-cambrianas foram afetadas por esforços tectônicos do Ciclo Brasileiro, resultando em falhas e diaclases com direções preferenciais NNE/SSW, e dobras suaves com eixo caindo para NW. Tais falhamentos foram reativados no Mesozóico com estruturação de blocos por falhas normais de direção NE/SW e formação de um sistema de *horst* e *gráben*. A reestruturação resultante permitiu o encaixe Rio São Francisco e sua planície aluvial no fundo do vale do lineamento estrutural (Lopes, 1981) e foi parcialmente responsável pelo entalhamento do paredão do Peruaçu (Campos et al., 1991).

Na região do PARNA Cavernas do Peruaçu ocorrem rochas granodioríticas e granito-gnáissicas do embasamento cristalino. Sobre estas rochas Pré-Cambrianas repousam em discordância seqüências de rochas Neoproterozóicas carbonáticas do Grupo Bambuí. Seqüências e eventos Paleozóicos que recobriam esta litologia foram apagados por hiato erosivo. Desta forma, assentam diretamente sobre o Grupo Bambuí rochas siliciclásticas de idade Cretácea da Formação Urucuia. Recobrando essas seqüências ocorrem, ainda, coberturas Cenozóicas indiferenciadas (Lopes, 1981; Campos et al., 1991; Simões, 2007; Karmann et al., 2003).

O Grupo Bambuí ocupa toda a região centro-norte de Minas Gerais e é constituído predominantemente por siltitos, ardósias, filitos, arcósios, calcários e dolomitos cuja sedimentação ocorreu em mar epicontinental (Piló, 1997a; Almeida & Uchigasaki, 2003). Dardenne (1978) afirma que na escala do Brasil Central o Grupo Bambuí inclui seis formações as quais representam, da base

para o topo, as Formações Jequitaiá, Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias.

Brandt (1980) destaca que a região norte de Minas Gerais é, sem dúvida, uma das mais importantes províncias espeleológicas brasileiras. Na área de estudo, o Grupo Bambuí é constituído, da base para o topo, pelas Sequências Januária/Itacarambi e Nhandutiba (Rabello et al., 1977), as quais passaram à Formação e são correlacionáveis, respectivamente, às Formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré. A Formação Januária/Itacarambi é constituída por dolomitos e calcários e a Nhandutiba é pelítica, formada por margas e siltitos intercalados por lentes de calcário preto (Dardenne, 1978; Campos et al., 1991; Piló, 1997a; Karmann et al., 2003).

O conjunto rochoso carbonático é considerado tipicamente sedimentar com acamamento subhorizontalizado ou apresentando leve caimento e metamorfismo incipiente ou ausente. Os carbonatos conferem grande pureza (mais de 90% de  $\text{CaCO}_3$ ) o que indica a facilidade de dissolução pela água. O calcário apresenta-se cinza escuro, bastante fraturado e falhado com concreções de chert em forma de placas com diâmetros bastante variáveis. (Sociedade Excursionista Espeleológica, 1975; Campos et al., 1991; Piló, 1997a).

Sobre os o Grupo Bambuí, com um hiato erosivo que abrange a escala do Proterozóico Superior ao Cretáceo, depositou-se um pacote de siltitos avermelhados e arenitos bem selecionados pertencentes à Formação Urucuia. Os depósitos detrítico-lateríticos, encontrados acima dos siltitos e arenitos, foram formados em época posterior à deposição e diagênese dos arenitos a partir da remobilização de óxidos de Ferro e Magnésio (Campos et al., 1991; Almeida & Uchigasaki, 2003; Simões, 2007).

Brandt (1980) afirma que as camadas areníticas que recobrem o Bambuí em alguns pontos promovem a infiltração de sílica no calcário, principalmente da Formação Lagoa do Jacaré, tornando-o silificado e modificando suas

características mecânicas e, conseqüentemente, transformando-o em menos elástico.

No Cenozóico ocorreu o retrabalhamento das litologias pré-existentes em ciclos de denudação e pediplanação sob condições climáticas oscilantes e regime tectônico estável (Piló, 1989). Coberturas detríticas Cenozóicas resultantes dos processos de retrabalhamento de unidades mais antigas aparecem depositadas, principalmente, ao longo das drenagens e junto a encostas (Almeida & Uchigasaki, 2003; Karmann et al., 2003).

A evolução recente do sistema cárstico do Rio Peruaçu resulta, ainda, na formação de um litotipo específico, fruto dos desmoronamentos que culminaram na abertura do cânion, designado por brecha de colapso. Esses depósitos compreendem fragmentos angulosos de calcário e couraça laterítica, podendo exibir cimentação carbonática e fragmentos de espeleotemas. Estão presentes na entrada e embaixo de clarabóias de cavidades inseridas no cânion e definem cones de dejeção que por vezes sifonam o Rio Peruaçu (Karmann et al., 2003).

Localmente ocorrem, ainda, tufas carbonáticas com destaque para as encontradas no Vale dos Sonhos. As tufas constituem em deposições de carbonato de cálcio por efeito da liberação de CO<sub>2</sub> da solução bicarbonatada, freqüentemente por influência da turbulência de fluxo em áreas com significativo gradiente hidráulico e, de modo coadjuvante, pelo consumo de CO<sub>2</sub> por organismos vivos em seu metabolismo (Corrêa, 2006). As tufas do Vale dos Sonhos apresentam em sua composição restos vegetais como folhas, galhos e troncos (Karmann et al., 2003).

### **3.4. GEOMORFOLOGIA**

A região do Rio Peruaçu se insere na margem esquerda do Rio São Francisco. Apresenta relevo variado onde o arcabouço geológico impera como fator dominante e condiciona o desenvolvimento do modelado. Em sua porção

ocidental, a bacia do Rio Peruaçu drena formas tabulares, esculpidas sobre pacotes sedimentares da Formação Urucuia, conhecidas como chapadas. Nesse domínio dos planaltos situados a altitudes de 830 metros desenvolvem veredas que abrigam as nascentes do Rio Peruaçu. Em seu médio curso, o rio corre sobre rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, onde domina morfologia tipicamente cárstica com feições particulares resultante de processos de dissolução e corrosão. No baixo curso, o Rio Peruaçu transpõe as coberturas Cenozóicas inconsolidadas da depressão do São Francisco na qual a morfologia aplanada é fragmentada pela presença de morros residuais.

#### **3.4.1 Compartimentação Morfológica**

Para a bacia do Rio Peruaçu, Piló (1989) define três compartimentos morfológicos: o de Cimeira, o Carstificado e o da Depressão do São Francisco. A compartimentação pioneira proposta por esse autor foi modificada Karmann et al. (2003) quando foram apresentados quatro domínios morfológicos: o Planalto dos Gerais, a Zona de Transição, o Carstificado e o da Depressão do São Francisco. Em linhas gerais a segunda proposta se diferencia da estabelecida por Piló (1989) por dividir o compartimento de Cimeira em duas novas unidades denominadas por Planalto dos Gerais e Zona de Transição.

O compartimento de Cimeira se desenvolve sobre os arenitos da Formação Urucuia e se situa nas cotas topográficas acima de 750 metros. Apresenta relevo aplainado, com ondulações suaves, baixa densidade de drenagem e ocorrência de veredas que abrigam as nascentes do Rio Peruaçu. Esse compartimento, excluindo a unidade Zona de Transição, foi reconhecido por Karmann et al. (2003) como Planalto dos Gerais. O compartimento da Zona de Transição, abordado apenas na proposta de Karmann et al. (2003), marca a transição entre o relevo de baixos gradientes das chapadas e o relevo cárstico. Essa unidade de transição situa-se entre as cotas 720 e 760 metros e tem como

particularidade a ocorrência de morros tabulares residuais na cobertura arenosa e o gradativo surgimento de feições cársticas como dolinas.

Ambas as propostas de Piló (1989) e Karmann et al. (2003) admitem a ocorrência dos compartimentos Carstificado e o da Depressão do São Francisco sendo o primeiro compartimento diminuto da Zona de Transição na proposta de Karmann et al. (2003). O compartimento Carstificado é definido pelo desenvolvimento de relevo cárstico acidentado no médio curso do Rio Peruaçu, sobre metassedimentos do Grupo Bambuí. Por conformar especificamente a área de estudo do presente trabalho, esse compartimento será mais detalhado no item seguinte. Por fim, no baixo curso do Rio Peruaçu, em cotas abaixo de 500 metros, ocorre o compartimento da Depressão do São Francisco onde depósitos coluvionares e aluvionares associados à dinâmica do Rio São Francisco preencheram a área tectonicamente rebaixada. A morfologia dessa área é aplainada e suavemente ondulada, com ocorrência de dolinas e uvalas rasas, bem como morros carbonáticos residuais bem individualizados testemunhos do recuo remontante da escarpa calcária para oeste. Várias pequenas cavernas podem ser observadas no sopé dessas elevações, principalmente em Itacarambi (Piló, 1989; 1997b; Karmann et al., 2003).

#### **3.4.1.1 Compartimento Carstificado**

Em seu médio curso o Rio Peruaçu percorre área de carbonatos e pelitos, domínio do compartimento Carstificado definido por Piló (1989) e, posteriormente, abordado por Karmann et al. (2003). Processos de dissolução, incisão, deposição e transporte de sedimentos modelam um relevo acidentado com grande diversidade de feições exocársticas e endocársticas conforme exposto a seguir (Piló, 1989; 1997b; Karmann et al., 2003).

### ***Domínio Exocárstico***

No exocarste ocorre um conjunto de dolinas e uvalas nas áreas de topo do compartimento, entre as cotas de 750 e 615 metros, não associadas diretamente ao sistema fluviocárste do Peruaçu (Piló, 1997a). Maciços bem individualizados, torres ruiformes e lapiez (ou karrens) aparecem como feições residuais. Conectando o planalto cárstico com a área de depressão e situado paralelo à calha do Rio São Francisco, encontra-se o escarpamento rochoso, localmente definido por serras (Marmelada, Mãe Joana, Cardoso das Minas), o qual configura uma escarpa típica do modelo de pedimentação (Piló, 1997a;b).

Especial evidência é dada à ocorrência de um típico fluviocarste com a presença de sumidouros, ressurgências e de um cânion situado no curso principal do Rio Peruaçu cuja drenagem superficial contínua é segmentada por cavernas e arcos (Piló, 1997a;b). A morfologia da calha principal do rio altera, à jusante do local conhecido como Silú, definindo um cânion margeado por paredões abruptos de 150 m de profundidade e 50 m de largura que se prolonga por 17 quilômetros até próximo ao povoado de Fabião I (Piló, 1997a; Rubbioli, 1999).

A gênese da morfologia atual do vale cárstico se associa ao processo pretérito de aprofundamento do nível de base do Rio Peruaçu, aprofundamento esse que teria causado alterações e descompressões as quais resultaram em grandes abatimentos sucessivos ao longo do canal (Ferreira et al., 2003). A dinâmica cárstica do Rio Peruaçu tem sido estudada por diferentes autores, principalmente, quanto à ocorrência de enchentes e obstrução no curso principal do rio em função dos processos de incasão do teto do cânion (Rubbioli, 1999; Ferreira et al., 2003; Rodet et al., 2003a;b; 2004; 2005; Rodet & Rodet, 2004; Piló et al., 2005).

### ***Domínio Endocárstico***

No compartimento Carstificado o domínio endocárstico é representado principalmente pelo sistema fluvio-carste do Rio Peruaçu. Trechos subterrâneos desse rio, ao longo do cânion, que abrigam amplas cavernas de dissolução e de abatimento, hidrologicamente ativas configuram o primeiro grupo de cavernas definido por Piló (1997a). Para Kohler et al. (1989) essas cavernas representam testemunhos de um único paleoconduto que evoluiu, a partir de abatimentos sucessivos ao longo do seu curso, para o atual fluvio-carste. São elas: Lapa do Brejal, Arco do André, Sexta Água, Troncos, Cascudos e Janelão.

Um segundo grupo de cavidades são cavernas secas as quais se situam acima do nível freático e estão diretamente associadas ao vale cárstico (Piló, 1997a). Essas cavernas se localizam (i) em cânions menores perpendiculares à calha do Rio Peruaçu como a Lapa dos Desenhos; (ii) nos paredões recuados como a Lapa do Caboclo, Bonita, Índio, Capim Vermelho e Boquete; (iii) em maciços residuais como a Lapa da Hora; e (iv) inseridas nos paredões do cânion principal como a Lapa do Carlúcio, Fóssil, Bichos, Abelinhas, Morcegos e Ossos. Esse grupo de cavidades configura testemunhos do rebaixamento da drenagem uma vez que compunham antigos canais secundários abandonados e expostos em função da mudança no nível de base (Piló & Kohler, 1991; Piló, 1997a; Karmann et al, 2003; Piló & Rubbioli, 2003; Simões, 2007).

O terceiro grupo de cavernas definido por Piló (1997a) refere-se àquelas que não se associam ao sistema do Cânion do Rio Peruaçu. Geralmente inseridas em fundo de dolinas, essas cavidades se situam no topo do planalto cárstico e constam da gruta Olhos D'Água e Água D'Olhos bem como dos abismos do Quintal e da Liasa (Piló, 1997a; Simões, 2007).

### **3.5. PEDOLOGIA**

Os tipos de solos encontrados na área do Vale do Rio Peruaçu são fortemente condicionados pelo material de origem e posição no relevo em que esses se encontram. Alarsa (2003) agrupou os tipos de solos da área em unidades associativas relacionadas aos grandes compartimentos geomorfológicos definidos por Piló (1989) e, posteriormente, por Karmann et al. (2003).

O domínio das áreas aplainadas da chapada desenvolvida, sob a Formação Urucuia, definida por compartimento de Cimeira (Piló, 1989) ou dos Gerais predominam os Latossolos Vermelho-Amarelos em associação com Neossolo Quartzarênico. Pontualmente nas áreas das cabeceiras e topos de interflúvios das chapadas areníticas são encontrados solos álicos e freqüentemente distróficos do tipo Latossolos Vermelho em associação com Neossolo Quartzarênico e Organossolo. A conservação dos solos desse compartimento é fundamental uma vez que propiciam a ocorrência de veredas as quais garantem estabilidade do sistema e das formações vegetais de cerrado, bem como a perenidade do Rio Peruaçu (Moura, 1997; Alarsa, 2003).

No compartimento Carstificado (Piló, 1989; Karmann et al., 2003) ocorrem Nitossolo Vermelho Eutroférico, Latossolos Vermelhos, Neossolos Litólicos, Cambissolos Eutróficos e, ainda, afloramentos de rochas carbonáticas. A ocorrência de cada tipo de solo depende da declividade do relevo à que este se associa. Nas áreas de menores aclives e, portanto, menores taxas de erosão predominam os Nitossolo Vermelho como no caso do Vale Cárstico, enquanto que em locais de intenso movimento de massa imperam os Neossolos Litólicos ou mesmo os afloramentos. Os solos desenvolvidos, a partir de material carbonático, apresentam escassez de alumínio constituindo perfis com elevada fertilidade natural o que resulta na presença de Formações Florestais Perenifólias e da Mata Seca.

No domínio da Depressão do São Francisco Neossolos Flúvicos ocorrem contíguos ao leito maior do Rio São Francisco, sendo influenciados pela hidromorfia e aporte de sedimentos aluviais, enquanto nos terraços dessa drenagem aparecem Cambissolos. Neossolos Litólicos se associam aos afloramentos rochosos que pontuam a depressão. Solos desenvolvidos a partir de material residual intemperizado do Grupo Bambuí ocorrem em depósitos de tálus e colúvios situados junto à base escarpa das serras carbonáticas e em depósitos aluvionares com destaque para os Latossolos Vermelhos e Argissolo Vermelhos-Amarelos Eutróficos.

Para o baixo curso do Rio Peruaçu Piló (1997a) afirma que quatro grandes grupos de solos encontram-se bem preservados na região: os Latossolos Vermelho-Amarelo, que ocorrem predominantemente no planalto cárstico; os Argissolos Vermelho-Amarelo, com maior incidência na Depressão Sanfranciscana; os Neossolos Litólicos, associados aos relevos com cobertura móvel restrita; e os Neossolos Flúvicos que ocorrem já nas proximidades do Rio São Francisco.

### **3.6. VEGETAÇÃO**

O PARNA Cavernas do Peruaçu se localiza em área transicional entre os domínios morfoclimáticos do cerrado e caatinga (Ab'Saber, 1977). O mapa de vegetação do Brasil do IBGE (1993), citado por Vianna & Amado (2003), define para a região a ocorrência de Floresta Estacional Decidual Montana, Floresta Estacional Semidecidual, Savana Arborizada e Área de Tensão Ecológica entre Savana Estépica e Floresta Estacional.

Piló (1997a) afirma ser o mosaico florístico do Vale do Peruaçu complexo por se tratar de área de transição. Vianna & Amado (2003) acrescentam que as tipologias vegetais seguem as características das estruturas

geológicas e pedológicas, o que resulta na ocorrência de diferentes ambientes na região do Peruaçu.

Segundo Piló (1997a), a vegetação do Vale do Peruaçu é caracterizada por elementos da caatinga nos afloramentos calcários ou terrenos litólicos e por três formações florestais: (i) a perenifólia representada pela mata ciliar do Rio Peruaçu e encontrada em locais de permanente umidade; (ii) a subcaducifólia ou mata-seca observada em manchas nas áreas mais elevada do planalto e que apresenta elementos da caatinga arbórea e do cerrado; e (iii) a mata caducifólia que caracteriza a Depressão Sanfranciscana.

Em estudo desenvolvido para compor o Plano de Manejo do PARNA, Vianna & Amado (2003) definiram as tipologias que configuram a cobertura vegetal da região do Vale do Rio Peruaçu. A caracterização é composta por Formações Florestais, Formação Savânica, Formação Savânica-Estépica, Formação Rupestre, Comunidades Aluviais e Ambientes antropizados as quais:

#### ***Formações Florestais***

- Floresta Estacional Decidual (mata seca) - é encontrada em dois tipos de ambientes, na planície sanfranciscana e nas zonas de lapiás do relevo cárstico local. Dado as diferenças quanto à estrutura fisionômica e representatividade das espécies essas foram diferenciadas. A Floresta Estacional Decidual SanFranciscana encontra-se atualmente representada por poucos fragmentos e em meio a extensas áreas de pastagens e ambientes secundários na forma de capoeiras. A Floresta Estacional Decidual do Carste consta da tipologia vegetal com maior ocorrência na área do Parque sendo observadas extensas áreas contínuas em bom estado de conservação. Essa tipologia se associa à escassa presença de solo sobre os afloramentos de rochas carbonáticas.

- Floresta Estacional Semidecidual - encontrada compondo a mata ciliar do Rio São Francisco e na base das escarpas onde se associam às florestas decíduais, distinguindo pela maior presença de árvores perenifólias.

- Floresta Perenifólia Ribeirinha - é representada por duas categorias florestais. A primeira delas consta das florestas paludosas que se encontram a montante do Rio Peruaçu, associadas às veredas. A outra se refere às matas ciliares dos rios Peruaçu e dos Sonhos onde, apesar da influência da mata seca, observa-se a predominância de plantas perenifólias. Nos pontos do Rio Peruaçu onde ocorrem planícies sujeitas a inundações, a densidade do sub-bosque e o número de espécies são restritos em decorrência das limitações impostas pelo ritmo das cheias.

#### ***Formação Rupestre***

- Vegetação Hiperxerófila - desenvolve-se somente sobre os afloramentos calcários com predomínio de formas arbustivas e herbáceas e estreita ligação com as matas secas.

#### ***Formação Savânica***

- Cerrados - predominam no setor superior do Vale do Rio Peruaçu, sendo encontrados nas porções norte e oeste do PARNA.

#### ***Formação Savânica-Estépica***

- Carrasco - ocorre na região do Peruaçu entre as formações mata seca e cerrado, conformando alguns elementos comuns a esses ambientes que o circundam, mas com diversas espécies próprias as quais muitas são comuns à caatinga.

### ***Comunidades Aluviais***

- Veredas - encontradas nas nascentes do Rio Peruaçu.
- Campos Hidromórficos - freqüentes no alto Rio Peruaçu.
- Comunidade Aluvial Sub-arbórea - encontrada na planície sanfranciscana no entorno da Lagoa Bonita até a foz do Rio Peruaçu.
- Comunidade Aluvial Arbórea - trata da evolução da comunidade anterior, dado à redução das inundações periódicas.
- Vegetação Aquática de Ambientes Lênticos - vegetação brejosa encontrada na foz do Rio Peruaçu.

### ***Ambientes Antropizados***

- Ambiente Urbano ou Urbanizado
- Agrícola
- Pastagens Cultivadas
- Capoeira
- Ambiente Significativamente Degradado - processos erosivos.

## **3.7. ENCHENTES NO RIO PERUAÇU**

As elevações do nível do Rio Peruaçu são notadas pela população local e aparecem na *história oral* contada por moradores da região. Conforme informações de Labegalini (2008), espeleólogo que conheceu o senhor Silú, antigo morador do atual Centro de Apoio ao Visitante Silú / Centro de Apoio à Pesquisa Zé da Hora do PARNA, situado nas proximidades da Lapa do Caboclo, Silú sempre comentou sobre a grande lagoa do Rio Peruaçu que se formava na época das chuvas. Apesar das referências orais, pouco foi escrito sobre as inundações e enchentes do Rio Peruaçu.

No primeiro registro encontrado acerca das cavernas do Peruaçu, datado de 1917, Alfredo dos Anjos disserta sobre algumas cavernas do vale e relata o

represamento das águas do rio, possivelmente, na região das Lapas dos Troncos, Cascudo e Arco do André. Acompanhando o curso do Rio Peruaçu, a montante da Gruta do Janelão, o autor descreve um corredor descoberto com prolongamento de três quilômetros e 50 metros de largura. Ao final desse trecho superficial do rio Alfredo dos Anjos, seguindo a drenagem em direção a montante, afirma que

as serras tornam a encontrar-se e formam a belíssima e imensa gruta dos Campos Elíseos cuja porta chamei Porta dos Deuses e é, talvez, a mais bela de todas. A gruta dos Campos Elíseos tem uma extensão de 3 quilômetros formando uma magestosa galeria subterrânea que se vai tornando cada vez mais difícil de transitar até que a água do rio não deixa mais prosseguir sem grave risco de ser colhido por alguma sucuriúba. Além d'esta serra o rio esprasia-se formando uma enorme lagoa que se estende a alguns quilômetros e só vai entrando na gruta por uma medida certa todo o ano visto a sua passagem ser muito estreita e não permitir que passe maior volume de água. Toda a água que o rio traz na época das chuvas fica ali represada e vai saindo lentamente (Anjos, 1918, p. 25-26).

Posteriormente, em 1998, durante os trabalhos do Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas (GBPE) que iriam compor o Levantamento Espeleológico da APA Cavernas do Peruaçu - Subsídios para Conservação e Manejo (Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas/Fundo Nacional do Meio Ambiente, 1999) foram observados elementos que apontam para a ocorrência de enchentes no Rio Peruaçu os quais foram publicados por Rubbioli (1999). Na Lapa do Brejal constataram-se marcas de antigas enchentes e troncos situados mais de 30 metros acima do nível atual da drenagem. O autor afirma que o mesmo fato pôde ser observado no Arco do André. Segundo o artigo, tais elementos se referem a cheias anteriores à atual ocupação da região uma vez que, caso tais marcas fossem recentes, várias casas situadas imediatamente antes do Brejal teriam sido inundadas (Rubbioli, 1999).

Durante os levantamentos paleontológicos do Plano de Manejo, Ferreira et al. (2003) interpretaram o registro fóssil encontrado na Lapa do Carlúcio como proveniente de um evento de importação decorrente do represamento das águas do Rio Peruaçu. Os autores inferiram que o enorme abatimento que gerou

o vale próximo à entrada da Lapa do Brejal, ou mesmo sua grande clarabóia, barrou a drenagem e elevou consideravelmente o nível das águas, as quais invadiram cavernas locadas em níveis topográficos mais elevados. Segundo Ferreira et al. (2003), o rebaixamento do nível desse reservatório natural ocorreu progressivamente até que o rio retornou ao seu leito normal, sem se elevar novamente até a cota altimétrica referente à entrada da Lapa do Carlúcio.

No mesmo estudo Ferreira et al. (2003) constataram, na Lapa do Brejal, a ocorrência de um depósito clástico aluvionar estratificado refinado, precipitado em finas camadas. Os autores interpretaram a deposição como evidencia do represamento cíclico da água do Rio Peruaçu no conduto principal da cavidade.

Ainda durante os estudos do Plano de Manejo do PNCP, nos trabalhos espeleológicos do GBPE foi identificada uma possível marca d'água, imprimida na parede do cânion, imediatamente a montante do grande abatimento do Arco do André que parecia indicar um episódio de inundação que atingiu grande área a montante do local (Piló et al., 2005).

Em uma série de estudos de caráter essencialmente franco brasileiro no âmbito das ciências da terra, empreendidos na bacia do Rio Peruaçu, vislumbrados pelo pesquisador Joël Rodet apontam a ocorrência de um barramento natural no Rio Peruaçu conseqüente do abatimento da Dolina dos Macacos na Gruta do Janelão. Os estudos inferiram, no desmoronamento da rede subterrânea e conseqüente efeito de barragem do Rio Peruaçu, como responsáveis pelo desenvolvimento de um *polje* na Terra Brava e em parte pela abertura do cânion (Rodet et al., 2003a;b; 2004; 2005; Rodet & Rodet, 2004).

Em 2005, o GBPE apresentou o trabalho Dados Topográficos, Morfológicos e Orgânicos Evidenciam Grandes Inundações no Cânion do Rio Peruaçu no workshop Cadastro e Mapeamento de Cavernas. Um perfil longitudinal entre o Arco do André e a Lapa do Brejal foi elaborado com o

objetivo de medir as marcas de atividade hídrica nas paredes e a ocorrência de troncos e galhos suspensos nas galerias. A marca d'água, encontrada na parede do cânion a montante do abatimento do Arco do André, durante os levantamentos do Plano de Manejo, foi medida em 41,5 metros acima do nível do Rio Peruaçu em julho de 2004. Quanto aos restos orgânicos, troncos e galhos de árvores identificados no interior do Arco do André foram topografados na altura de 40,1m acima do curso do rio. Na Lapa do Brejal, os restos vegetais foram constatados em terraços situados a 28,06m acima da drenagem. O estudo permitiu evidenciar a ocorrência de uma ou mais enchentes a montante do Arco do André as quais atingiram ainda a Lapa do Brejal (Piló et al., 2005). O tronco encontrado na Lapa do Brejal foi datado em anos de 580±80 anos BP (Piló, 2008).

#### 4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. Os Domínios morfoclimáticos na América do Sul. **Geomorfologia**, São Paulo, v. 52, p. 1-21, 1977.

ALARSA, C. Pedologia/susceptibilidade. In: IBAMA; FIAT AUTOMÓVEIS S/A; CSD-GEOKLOCK GEOLOGIA E ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA. **Plano de manejo do parque Nacional Cavernas do Peruaçu – MG**: relatórios de pesquisa das campanhas de avaliação ecológica rápida (AER). São Paulo, 2003. v. 2, cap. 3, p. 187-264.

ALMEIDA, A. M.; UCHIGASAKI, K. **Mapeamento geológico em área dos municípios de Cônego Marinho e Januária - MG**. 2003. 83 p. Monografia (Graduação em Geologia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

ALMEIDA, F. F. M. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 7, n. 4, p. 349-364, 1977.

ANJOS, A. **O rio S. Francisco**: o Vale do Rio S. Francisco será o celeiro do Brasil. Rio de Janeiro: F. Borgonovo, 1918. 62 p.

AULER, A. S. Peter Wilhelm e sua visão das cavernas. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 14, n. 1, p. 24-31, 2002.

AULER, A. S. **Histórico da espeleologia brasileira**: o Brasil colonial e a época dos naturalistas. São Paulo, SP, 2004. Disponível em: <<http://www.redespeleo.org.br/>>. Acesso em: 11 out. 2007.

AULER, A. **Relevância de cavidades naturais subterrâneas**: contextualização, impactos ambientais e aspectos jurídicos. Brasília, DF: MME/PNUD, 2006. 166 p.

AULER, A. S.; PILÓ, L. B.; SAADI, A. Ambientes Cársticos. In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E. de. **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: ABEQUA/Holos, 2005. p. 321-342.

AULER, A. S.; PILÓ, L. B.; SMART, P. L.; WANG, X.; HOFFMANN, D.; RICHARDS, D. A.; EDWARDS, R. L.; NEVES, W. A.; CHENG, H. U-series datind and tathonomy os Quaternary vertebrates from Brazilian Caves. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 204, p. 508-522, 2006.

AULER, A. S.; RUBBIOLI, E.; BRANDI, R. **As grandes cavernas do Brasil**. Belo Horizonte: Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, 2001. 214 p.

BAPTISTA, M. C.; MORATO, L. Horizontes de mortandade de *Megalobulimus* sp. (Gastropoda) em cavernas. **Paleontologia em destaque**, Porto Alegre, v. 44, 2003. Disponível em: <<http://www.sbpbrasil.org/boletim/boletins/boletim44.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2007.

BÖGLI, A. **Karst hydrology and physical speleology**. New York: Springer-Verlag, 1980. 270 p.

BRANDT, W. Aspectos geológicos de interesse para a espeleologia do norte de Minas Gerais, Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE ESPELEOLOGIA, 14., 1980, Belo Horizonte, MG. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG/SBE, 1980. p. 48-60.

BRASIL. **Decreto-lei nº 4.146**, de 4 de março de 1942. Dispõe sobre proteção dos depósitos fossilíferos. Brasília, DF, 1942.

CAMPOS, A. B. C.; KOHLER, H. C.; FANTINEL, L. M. Influências Litoestruturais nos padrões de lapiezamento sobre rochas carbonáticas do grupo Bambuí na região de Itacarambi/MG. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO (ABEQUA), 3., 1992, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: MHN; JB/UFGM, 1991. p. 3-12.

CARTELLE, C. G. **Tempo passado**: mamíferos do Pleistoceno em Minas Gerais. Belo Horizonte: Palco, 1994. 132 p.

CARTELLE, C. G. **A fauna local de mamíferos Pleistocênicos da Toca da Boa Vista (Campo Formoso-BA)**. 1995. 131p. Tese (Concurso de Professor Titular) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CARTELLE, C. G.; ABUHID, V.; FERREIRA, M. A. C.; FERREIRA, R. L. Levantamento Paleontológico. In: INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS; COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **APA Carste de Lagoa Santa - MG**. Belo Horizonte: IBAMA/CPRM, 1998. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/gestao/apacarste/Patrimonio%20Espeleologico.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2007.

CARVALHO, I. S. (Ed.). **Paleontologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 2 v.

CASSAB, R. C. T. Objetivos e princípios. In: CARVALHO, I. S. (Ed.). **Paleontologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. v. 1, p. 3-11.

CORRÊA, D. **Caracterização, cronologia e gênese das tufas da Serra das Araras - Mato Grosso**. 2006. 79 p. Dissertação (Mestrado em Geografia e Análise Ambiental) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

COUTO, C. P. **Paleontologia brasileira**: mamíferos. Rio de Janeiro: Instituto Nacional do Livro-Biblioteca Científica Brasileira, 1953. 516 p.

COUTO, C. P. Mamíferos fósseis das cavernas de Minas Gerais. **Espeleologia**, Ouro Preto, ano 3, n. 3/4, p. 39-52, 1971.

DARDENNE, M. A. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife, **Anais...** Recife: SBG, 1978. v. 2, p. 597-610.

FERREIRA, R. L. Depósitos em cavernas: registros de vida passada. **Bios**, Belo Horizonte, v. 11, n. 11, p. 39-52, 2003.

FERREIRA, R. L. **A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos**. 2004. 158 p. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

FERREIRA, R. L.; SOUZA, M.; SANTANA, R.; SILVA, M. S. Bioespeleologia e paleontologia. In: IBAMA; FIAT AUTOMÓVEIS S/A; CSD-GEOKLOCK GEOLOGIA E ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA. **Plano de manejo do parque Nacional Cavernas do Peruaçu – MG**: relatórios de pesquisa das campanhas de avaliação ecológica rápida (AER). São Paulo, 2003. v. 5, cap. 4, p. 875-1026.

GRUPO BAMBUÍ DE PESQUISAS ESPELEOLÓGICAS; FUNDO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Levantamento espeleológico da área de proteção ambiental - APA cavernas do Peruaçu**: subsídios para o plano de manejo. Belo Horizonte; 1999. 135 p.

GUANO SPELEO. **Curso de introdução à espeleologia**. Belo Horizonte: UFMG, 2004. 47 p. Apostila.

INSTITUTO TERRAZUL. **Relatório da expedição caminhos antigos das Minas à Bahia**. 2007. Disponível em: <<http://www.terrazul.org.br/Caminho7/Expedicao.php>>. Acesso em: 16 dez. 2007.

JENNINGS, J. N. **Karst geomorphology**. Oxford: Basil Blackwell, 1985. 293p.

KARMANN, I. **Evolução dinâmica e atual do sistema cárstico do alto Vale do Rio Ribeira de Iguapé, Sudoeste do Estado de São Paulo**. 1994. 269 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

KARMANN, I. O ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M. de; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Org.). **Decifrando a terra**. São Paulo: Oficina de textos, 2000. p. 113-138.

KARMANN, I.; PEREIRA, R. F.; PERRIN, J.; FERREIRA, T. D. A. Geologia, geomorfologia, hidrogeologia e recursos hídricos. In: IBAMA; FIAT AUTOMÓVEIS S/A; CSD-GEOKLOCK GEOLOGIA E ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA. **Plano de manejo do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu – MG**: relatórios de pesquisa das campanhas de avaliação ecológica rápida (AER). São Paulo, 2003. v. 1, cap. 3, p. 97-186.

KLIMCHOUK, A. B.; FORD, D. C. Types of karst and evolution of hydrogeologic setting. In: KLIMCHOUK, A. B.; FORD, D. C.; PALMER, A. N.; DREYBRODT, W. (Ed.). **Speleogenesis**: evolution of karst aquifers. Alabama: National Speleological Society, 2000a. p. 45-53.

KLIMCHOUK, A. B.; FORD, D. C. Lithologic and structural controls of dissolutional cave development. In: KLIMCHOUK, A. B.; FORD, D. C.; PALMER, A. N.; DREYBRODT, W. (Ed.). **Speleogenesis**: evolution of karst aquifers. Alabama: National Speleological Society, 2000b. p. 54-64.

KOHLER, H. C. Geomorfologia cárstica. In: TEIXEIRA, A. J. G.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 1995. p. 309-334.

KOHLER, H. C.; PILÓ, L. B.; MOURA, M. T. T. Aspectos geomorfológicos do sítio arqueológico Lapa do Boquete: Januária/MG. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO (ABEQUA), 2., 1989, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 1989. p. 46.

LABEGALINI, J. A. **Pesquisa Peruaçu** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <belsmascarenhas@yahoo.com.br> em 23 fev. 2008.

LATHAM, A. G.; SCHWARCZ, H. P. Carbonate and sulphate precipitates. In: IVANOVICH, M.; HARMON, R. S. **Uranium series disequilibrium**: applications to earth, marine and environmental sciences. Oxford: Clarendon, 1992. p. 423-459.

LEITE, Y. L. R.; COSTA, L. P. Peter Wihlelm Lund e a fauna de mamíferos do Vale do Rio das Velhas. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 14, n. 1, p. 32-41, 2002.

LOPES, O. F. Evolução paleogeográfica e estrutural da porção central da Bacia Bambuí, no Norte do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 115-127, 1981.

LUND, P. W. Notícia sobre ossadas humanas fósseis achadas numa caverna do Brasil. In: COUTO, C. de P. (Ed.). **Memórias sobre a paleontologia brasileira**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional do Livro, 1950. p. 465-488.

MARTINS-NETO, M. A.; ALKMIM, F. F. Estratigrafia e evolução tectônica das bacias neoproterozóicas do paleocontinente São Francisco e suas margens: registro da quebra de rodínia e colagem de gondwana. In: PINTO, C. P.; MARTINS-NETO, M. A. (Eds.). **Bacia do São Francisco, geologia e recursos naturais**. Belo Horizonte: SBG-MG, 2001. p. 31-54.

MEDEIROS, M. A. Fossilização. In: CARVALHO, I. S. (Ed.). **Paleontologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. v. 1, p. 47-59.

MILANOVIC, P. **Karst hydrogeology**. Littleton, Colorado: Water Resources, 1981. 434 p.

MOURA, M. T. T. **A evolução do sítio arqueológico Lapa do Boquete na paisagem cárstica do Vale do Rio Peruaçu**: Januária (MG). 1997. 208 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

PESSENDA, L. C. R.; GOUVEIA, S. E. M.; FREITAS, H. A.; RIBEIRO, A. S.; ARAVENA, R.; BENDASSOLLI, J. A.; LEDRU, M. P.; SIEFEDDINE, A. F.; SCHEEL-YBERT, R. Isótopos do carbono e suas aplicações em estudos paleoambientais. In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E. de. **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: ABEQUA/Holos, 2005. p. 75-93.

PILÓ, L. B. **A morfologia cárstica do baixo curso do Rio Peruaçu, Januária/Itacarambi, MG**. 1989. 80 f. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PILÓ, L. B. Caracterização regional do Vale do Rio Peruaçu. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 9, n. 2, p. 22-29, 1997a.

PILÓ, L. B. Rochas carbonáticas e relevos cársticos em Minas Gerais. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 9, n. 3, p.72-78, 1997b.

PILÓ, L. B. **Morfologia cárstica e materiais constituintes**: dinâmica e evolução da depressão poligonal Macacos-Baú: Carste de Lagoa Santa, Minas Gerais. 1998. 269 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

PILÓ, L. B. Geomorfologia cárstica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 1, n. 1, p. 88-102, 2000.

PILÓ, L. B. **Pesquisa peruaçu** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <belsmascarenhas@yahoo.com.br> em 11 mar. 2008.

PILÓ, L. B.; KOHLER, H. C. (Coord.). Do Vale do Peruaçu ao São Francisco: uma viagem ao interior da Terra, Januária – Itacarambi. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO (ABEQUA), 3., 1991, Belo Horizonte, MG. **Roteiro das excursões...** Belo Horizonte: UFMG, 1991. v. 2, p. 57-73.

PILÓ, L. B.; MOURA, V.; ALT, L.; CHABERT, C.; BOULLIER, N.; AULER, A. Dados topográficos, morfológicos e orgânicos evidenciam grandes inundações no cânion do Rio Peruaçu - Parque Nacional Cavernas do Peruaçu - MG. In: WORKSHOP - CADASTRO E MAPEAMENTO DE CAVERNAS, 1., 2005, Belo Horizonte, MG. **Resumos...** Belo Horizonte: Redespeleo Brasil, v. 1, p. 15.

PILÓ, L. B.; RUBBIOLI, E. Cavernas do Vale do Rio Peruaçu: obra-prima de Carste Brasileiro. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. L. C. (Eds.). **Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil**. Brasília: DNPM/CPRM/SIGEP, 2003. p. 453-460.

RABELLO, E. A.; LOPES, O. F.; COSTA, P. C. G. **Geologia da região de Januária/Itacarambi**. Belo Horizonte: Projeto Bambuí Norte/METAMIG, 1977. 37 p.

RICHARDS, D.; DORALE, J. Uranium-series chronology and environmental applications of speleothems. **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**, v. 52, p. 407-450, 2003.

RODET, J.; MARIANO, D.; RODET, M. J.; POUCKET, A.; PILÓ, L. B.; WILLEMS, L. Evolução Cárstica do Vale do Rio Peruaçu (Minas Gerais): uma nova abordagem. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 12., 2003, Ouro Preto, MG. **Resumo...** Ouro Preto: SBG-MG, 2003b. p. 97.

RODET, J.; RODET, J. Sítio a céu aberto: um aspecto pouco conhecido da arqueologia em contexto cárstico (sítio arqueológico Terra Brava, Vale do Peruaçu, Minas Gerais, Brasil). **O Carste**, Belo Horizonte, v. 16, n. 1, p. 2-12, 2004.

RODET, J.; RODET, M. J.; MARIANO, D.; NASCIMENTO, S. P.; HUGUET, Y. A Gruta do Janelão, elemento chave da evolução geomorfológica do Vale Cárstico do Rio Peruaçu (Januária - Itacarambi, Minas Gerais). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 27., 2003, Januária.

**Resumo...** Januária: SBE, 2003a. p. 173-174.

RODET, J.; RODET, M. J.; MARIANO, D. F.; WILLEMS, L.; POUCLLET, A.; PILÓ, L. B. Do Brejal ao Janelão, uma historia geomorfológica do Terra Brava. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ESTUDOS DO CARSTE, 1., 2004, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: Redespeleo Brasil, 2004. p. 23.

RODET, J.; RODET, M. J.; MARIANO, D. F.; WILLEMS, L.; POUCLLET, A.; PILÓ, L. B. New Approach of the karstic evolution of the canyon of the Peruaçu River (Januária-Itacarambi, Minas Gerais, Brazil). In: UIS CONGRESS, 14., 2005, Atenas/Kalamos, Grécia. **Anais...** Atenas, Kalamos: UIS, 2005. 1 CD-ROM.

RUBBIOLI, E. Cavernas do Peruaçu: tópicos abordados no levantamento espeleológico da área de proteção ambiental. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 11, n. 2, p. 34-37, 1999.

SALES, H. R. Fossilização de aves na Lapa do Rezar. **InformAtivo SBE**, Campinas, n. 82, p. 8-9, 2002.

SALES, H. R. Fossilização de Aves na Lapa do Rezar, Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, Minas Gerais, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 27., 2003, Januária. **Anais...** Januária: SBE, 2003. p. 212-215.

SERAFINI JUNIOR, S. Clima. In: IBAMA, FIAT AUTOMÓVEIS S/A; CSD-GEOKLOCK GEOLOGIA E ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA. **Plano de manejo do parque nacional Cavernas do Peruaçu – MG**: relatórios de pesquisa das campanhas de avaliação ecológica rápida (AER). São Paulo: 2003. v. 1, cap. 3, p. 42-96.

SHEN, C.; EDWARDS, R.; CHENG, H.; DORALE, J.; THOMAS, R.; MORAN, S.; WEINSTEIN, S.; EDMONDS, H. Uranium and thorium isotopic and concentrations measurements by magnetic sector inductively coupled plasma mass spectrometry. **Chemical Geology**, n. 185, p. 165-178, 2002.

SIMÕES, P. R. **Caracterização física de ambientes cársticos através de sensoriamento remoto e SIG**: o caso do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu

- Januária/Itacarambi MG. 2007. 110 p. Dissertação (Mestrado em Geociências)  
- Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SOCIEDADE EXCURSIONISTA ESPELEOLÓGICA. Província espeleológica de Januária - MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 10., 1975, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: Espeleologia, 1975. Não paginado.

SOUZA, K. de. Paleontologia e sua Relação com a Espeleologia. **Espeleologia**, Ouro Preto, n. 10, p. 44-45, 1999.

VIANNA, L.; AMADO, J. C. Cobertura vegetal. In: IBAMA; FIAT AUTOMÓVEIS S/A; CSD-GEOKLOCK GEOLOGIA E ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA. **Plano de manejo do parque nacional Cavernas do Peruaçu – MG**: relatórios de pesquisa das campanhas de avaliação ecológica rápida (AER). São Paulo. 2003. v. 2, cap. 4, p. 287-422.

WHITE, W. B. **Geomorphology and hydrology of karst terrains**. New York: Oxford University, 1988. 464 p.

WHITE, W. B. Development of speleogenetic ideas in the 20th century: the modern period, 1957 to the present. In: KLIMCHOUK, A. B.; FORD, D. C.; PALMER, A. N.; DREYBRODT, W. (Ed.). **Speleogenesis**: evolution of karst aquifers. Alabama: National Speleological Society, 2000. p. 39-43.

XIMENES, C. L. Acumulação de ossos em cavernas: algumas considerações. **InformAtivo SBE**, Campinas, n. 81, p. 16-18, 2002.

## **CAPÍTULO I**

### **CARACTERIZAÇÃO DA ASSEMBLÉIA SUBFÓSSIL DA LAPA DO CARLÚCIO E SUAS REFERÊNCIAS PALEOAMBIENTAIS**

## 1 INTRODUÇÃO

Ambientes cársticos são favoráveis à preservação de importantes registros paleoambientais. Depressões fechadas e condutos subterrâneos funcionam como *capturadoras* de materiais provenientes do meio externo, sendo a dinâmica hídrica do sistema em que as cavidades se inserem responsável pelo aporte e deposição de sedimentos e bioclastos (Kohler, 1995; Ferreira, 2003; Auler et al., 2005).

Regiões carbonáticas consistem de habitats preferenciais de muitas espécies de moluscos, dada a existência do carbonato de cálcio (presente nas rochas) necessário à fabricação das conchas desses organismos. Registros fósseis de moluscos em cavernas carbonáticas são freqüentes, tendo em vista a existência, nesses organismos, de *partes duras* associadas às conchas as quais ou seus fragmentos são encontrados soltos ou contíguos a depósitos químicos ou clásticos. O transporte para o meio hipógeo desses organismos pode ter sido ativo ou passivo.

Em cavernas (especialmente calcárias), registros fósseis ficam a salvo das intempéries, podendo ser conservados por intervalos de tempo superiores a vestígios semelhantes dispostos em superfície (Auler et al., 2005). Informações externas eventualmente aportadas para cavernas podem se conservar e constituir registros importantes sobre o passado de uma região. Fósseis apontam, por exemplo, a ocorrência de espécies que, por sua vez, podem indicar os paleoambientes aos quais elas se associavam (Ferreira, 2003).

A paleoecologia procura reconstruir as variáveis que determinavam os ambientes pretéritos balizando-se no registro fóssil, em datações e informações isoladas. Os achados fósseis em cavernas fornecem informações importantes sobre a história ambiental do passado recente de um lugar, sendo crucial

determinar o quanto um resto orgânico é antigo. Auler et al. (2005) destacam que a taxonomia e a tafonomia dos sedimentos orgânicos de cavernas, aliadas a datações por radiocarbono e pela série do urânio, fornecem dados importantes sobre o paleoambiente da superfície estudada.

No Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, o ambiente cárstico de grande geodiversidade consta de um dos mais importantes sítios espeleológicos e geomorfológicos do Brasil (Piló & Rubbioli, 2003). Em seu médio curso, o Rio Peruaçu percorre imponente área carbonática, com morfologia marcada por extenso cânion, onde a drenagem é segmentada pela ocorrência de amplas cavernas de dissolução e de abatimento (Piló & Kohler, 1991).

Perpendicular ao curso do Rio Peruaçu, à média vertente do cânion se localiza a Lapa do Carlúcio. Na área afótica dessa cavidade, encontram-se depósitos orgânicos, constituídos de fósseis e subfósseis, de diversas morfologias com destaque para a abundância de conchas de moluscos (Ferreira et al., 2003).

A localização da entrada da Lapa do Carlúcio induz a questionamentos quanto à dinâmica deposicional do jazigo no interior da caverna. Infere-se que o evento de importação foi conseqüente do represamento do Rio Peruaçu com elevação de seu nível d'água para montante resultante de abatimentos em seu curso (Ferreira et al., 2003).

Em linhas gerais este estudo tem o objetivo de contribuir para o entendimento da dinâmica deposicional dos fósseis e subfósseis encontrados na Lapa do Carlúcio, utilizando-se dos mesmos para compreender quais foram os efeitos da formação de reservatórios no passado da área. Neste sentido buscou-se inventariar a assembléia fóssil e subfóssil desta caverna e delinear os eventos de importação e deposição do material. A investigação procurou, ainda, gerar subsídios para a compreensão do alcance e impactos de novos reservatórios

naturais que possam vir a ser formados por eventos naturais (como abatimentos) em diferentes áreas do cânion.

Para tal, o trabalho teve como objetivos responder às seguintes questões:

1. Qual a distribuição dos registros fósseis e subfósseis no interior da Lapa do Carlúcio?
2. Quais as idades de alguns fósseis encontrados na caverna?
3. Qual o nível mínimo atingido por um paleoreservatório, indicado a partir da posição mais elevada dos restos fósseis presentes na caverna?
4. Onde poderia ter ocorrido o barramento do Rio Peruaçu que originou esse paleoreservatório?
5. No relevo atual qual seria a área atingida por esse paleoreservatório?

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo se insere no Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (PNCP), unidade de conservação criada em 1999, situada nos municípios de Januária, Itacarambi e São João das Missões, norte do Estado de Minas Gerais. O PNCP protege 56.649 hectares da região cárstica do médio curso do Rio Peruaçu. Esse rio representa uma das únicas drenagens perenes afluentes da margem esquerda do alto-médio curso do Rio São Francisco. A figura 1 mostra a localização da área de estudo.

Situado em área transicional entre os domínios morfoclimáticos do cerrado e caatinga (Ab'Saber, 1977), o PNCP apresenta clima tropical com estação seca (Aw), segundo a classificação de Köppen, ou clima tropical quente, segundo a classificação de Gaussen. A temperatura média anual é de 24°C e a

precipitação média anual de 876,7 mm. O clima é marcado por duas estações bem definidas sendo que o período chuvoso de novembro a abril corresponde aos meses mais quentes e a estação seca, de maio a outubro, é bastante severa (Moura, 1997; Serafini Junior, 2003).

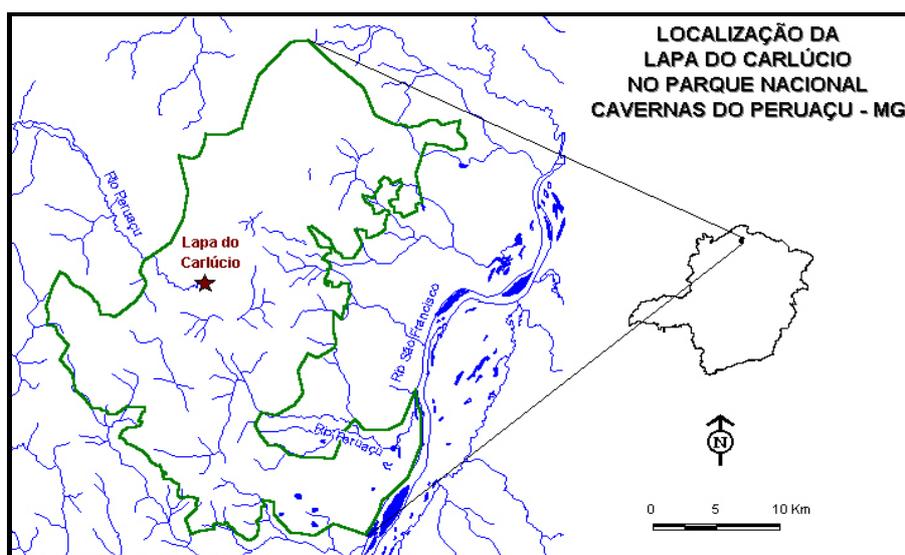


FIGURA 01 Localização da área de estudo, no Parque Nacional Cavernas do Peruaçu e em Minas Gerais. Modificado de Ibama et al. (2003).

A região do médio curso do Rio Peruaçu apresenta um modelado cárstico desenvolvido sobre as rochas carbonáticas do Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas (2003). Na área de estudo, esse Grupo é constituído, da base para o topo, pela Formação Januária/Itacarambi, composta por dolomitos e calcários e pela Formação Nhandutiba, unidade pelítica formada por margas e siltitos intercalados por lentes de calcário preto. Essas Formações são correlacionáveis, respectivamente, às Formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré (Karmann et al., 2003).

Inserido no Planalto Cárstico do São Francisco, o modelado cárstico do médio Rio Peruaçu se situa entre 500 e 750 metros de altitude. O relevo,

tipicamente cárstico, é resultante de processos de dissolução e corrosão das rochas carbonáticas. Um cânion de abatimento de 17 Km abriga a calha principal do rio cuja drenagem superficial é segmentada por sumidouros e ressurgências representada por grutas e arcos (Karmann et al., 2003).

A gênese da morfologia atual do denominado vale cárstico se associa ao processo pretérito de aprofundamento do nível de base do Rio Peruaçu, aprofundamento que teria causado alterações e descompressões as quais resultaram em grandes abatimentos sucessivos ao longo do canal (Piló & Kohler, 1991). Brechas de colapso são encontradas embaixo das clarabóias e na entrada de cavidades situadas no cânion e compreendem fragmentos angulosos de calcário e couraça laterítica. Tais depósitos referem-se à evolução recente do sistema cárstico local, sendo resultante dos desmoronamentos que culminaram na exposição dos condutos subterrâneos e conseqüente abertura do cânion (Karmann et al., 2003). Conformam cones de dejeção que por vezes sifonam o Rio Peruaçu. Atualmente, são observados três grandes sifonamentos, sendo eles, de jusante para montante, o do Arco do André, o da Sexta Água e o do Brejal conforme indica a figura 2.

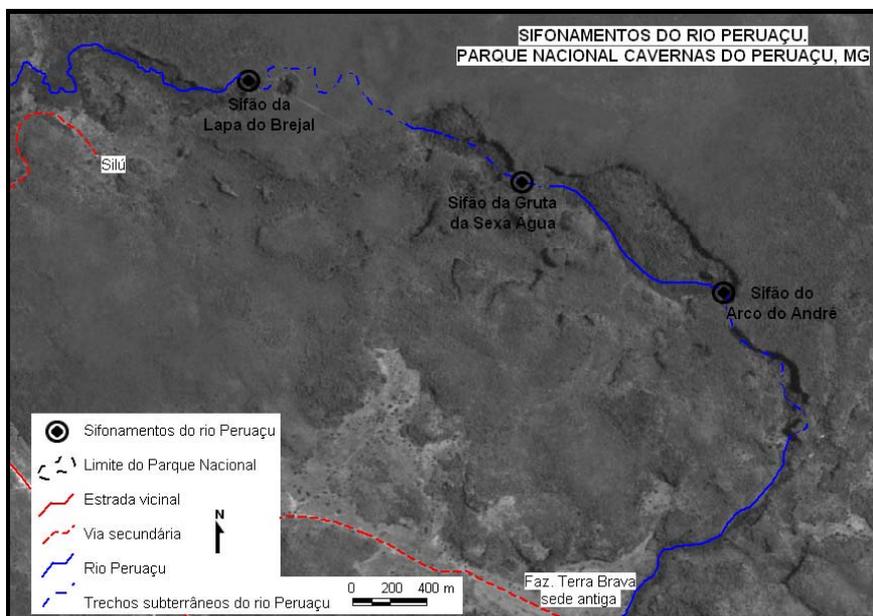


FIGURA 02 Localização dos três grandes sifonamentos do Rio Peruaçu.

A Lapa do Carlúcio integra a margem esquerda do cânion e se situa à montante da Lapa do Brejal, o primeiro segmento subterrâneo do Rio Peruaçu. Perpendicular ao cânion principal, essa caverna se situa à média vertente de encosta com forte aclave, formada por blocos abatidos, originados do recuo da parede do cânion (Ferreira et al., 2003). A entrada da cavidade se localiza nas coordenadas UTM 579.224 e 8.332.151 e se situa a 21,9 metros acima do nível do Rio Peruaçu medido em julho de 2007. Acima da Lapa do Carlúcio, no domínio do exocarste, observa-se uma dolina de subsidência.

A figura 3 ilustra o Vale Cárstico, com os trechos subterrâneos do Rio Peruaçu, e indica a localização da Lapa do Carlúcio, à montante da Lapa do Brejal.

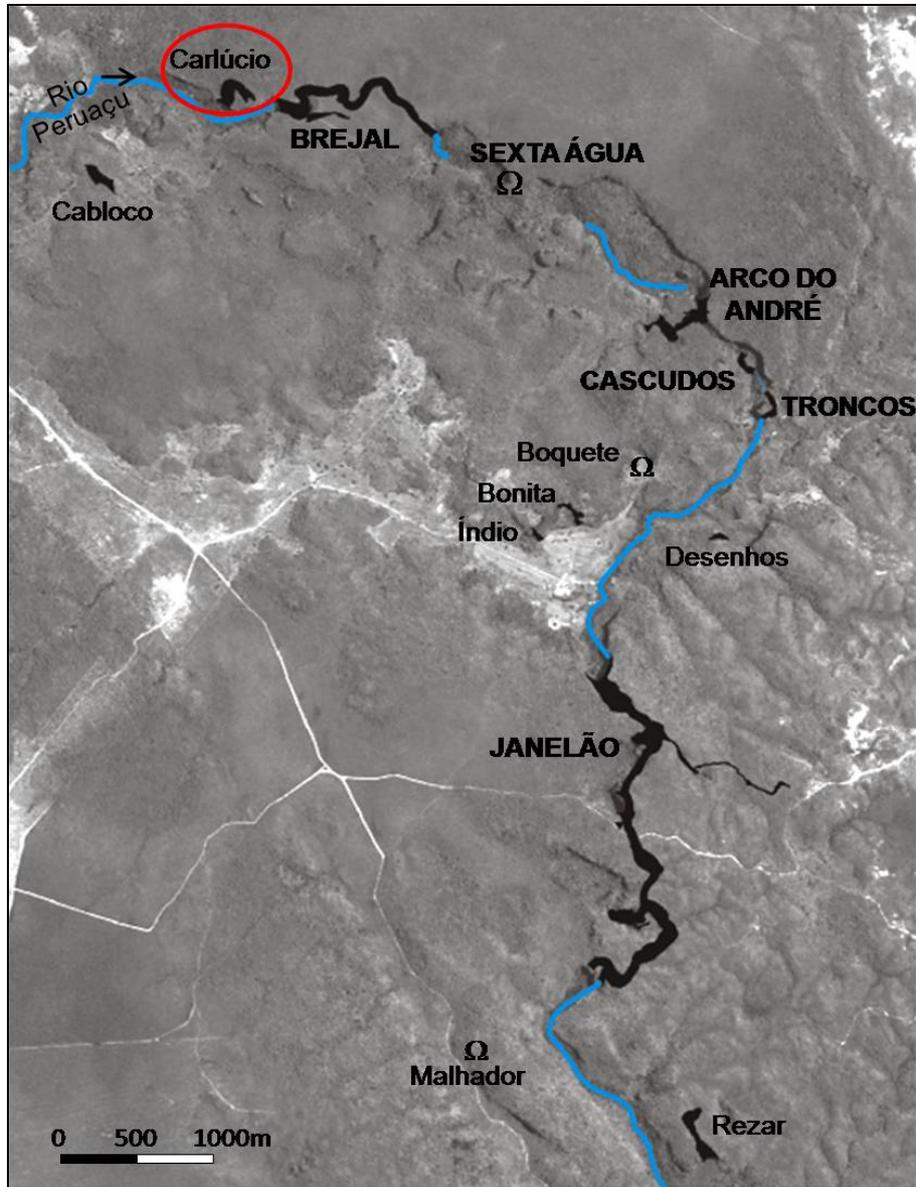


FIGURA 03 Vale cárstico do Rio Peruaçu com destaque para a Lapa do Carlúcio (Modificado de Rubbioli et al., 2003).

A Lapa do Carlúcio apresenta padrão planimétrico retilíneo e geometrias das seções transversais e longitudinais retangulares, com paredes escalonadas. A caverna compreende um conduto único cuja projeção horizontal é de 160 metros. Inicialmente, um amplo segmento, controlado por fraturas N330 e N220, prolonga-se por 100 metros e atinge 20 metros de altura por 40 metros de largura conforme ilustra a figura 5. O segundo segmento da caverna é mais baixo e estreito e consta da extensão do conduto principal por mais 60 metros na direção leste, controlado por fraturas N70, até sua obstrução por sedimentos químicos (Rubbioli et al., 2003).

A entrada da Lapa do Carlúcio é recoberta por sedimentos inconsolidados, matacões e blocos rochosos que fazem dessa área a porção mais elevada da caverna. Da entrada ao piso do primeiro salão ocorre um desnível de 8,7 metros. No segmento inicial da Lapa do Carlúcio predominam sedimentos lamosos originados da entrada, blocos e matacões abatidos associados, principalmente, ao ajuste mecânico da cúpula do teto na porção central.

No segundo segmento da caverna, extensão do conduto principal na direção leste, o piso se situa entre 3,6 e 9,3 metros mais rebaixado que a cota encontrada para a entrada. Na porção central desse segmento são observadas duas grandes colunas e uma área onde dominam espeleotemas abatidos. O segundo segmento é revestido por represas de travertino, algumas contendo pérolas e conjuntos de colunas, estalactites e estalagmites que integram pisos estalagmíticos. Destaca-se o controle do alinhamento de depósitos químicos, particularmente as colunas, por fraturas N30 (Rubbioli et al., 2003).

Nas paredes predominam escorrimentos calcíticos. O calcário está exposto apenas parcialmente nas paredes norte e sul da caverna. A parcela mais interior da cavidade apresenta um salão superior pequeno limitado por uma represa de travertino o qual se mostra bastante ornamentado. Apesar de apresentar um único conduto, a morfologia da Lapa do Carlúcio é bastante

recortada pela abundância de espeleotemas, alguns de considerável tamanho, como ilustram as figuras 5 e 6. Associados aos depósitos químicos da zona afótica do segundo segmento da caverna se encontra grande quantidade de fósseis e subfósseis (Ferreira et al., 2003; Rubbioli et al., 2003). A figura 4 ilustra a topografia da Lapa do Carlúcio com segmentos e feições espeleológicas e seus perfis longitudinais.

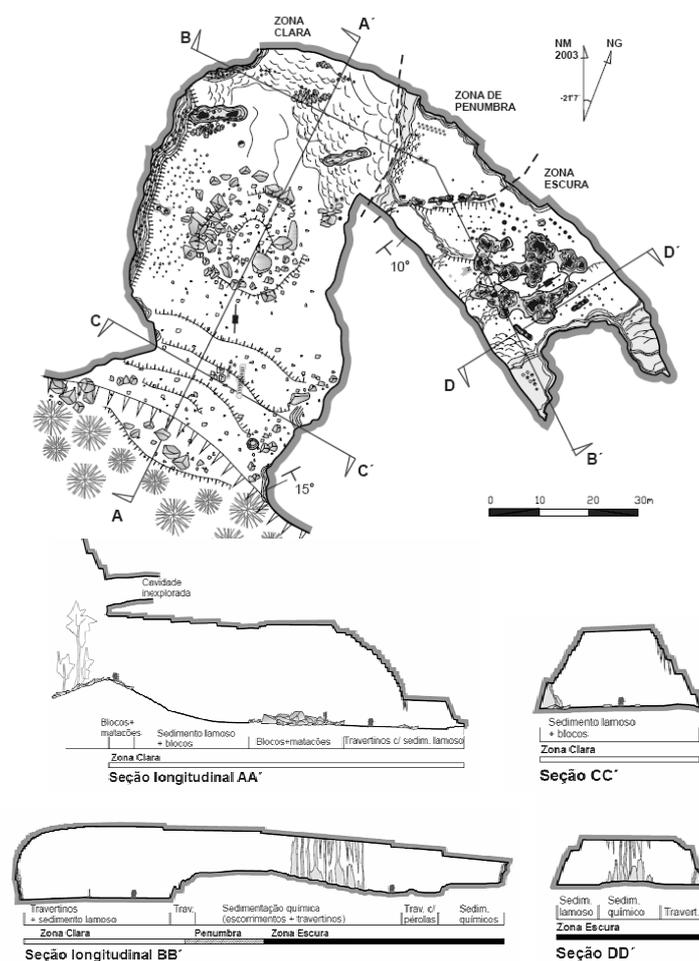


FIGURA 04 Planta topográfica e perfis longitudinais da Lapa do Carlúcio.  
Fonte: Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas (2003).

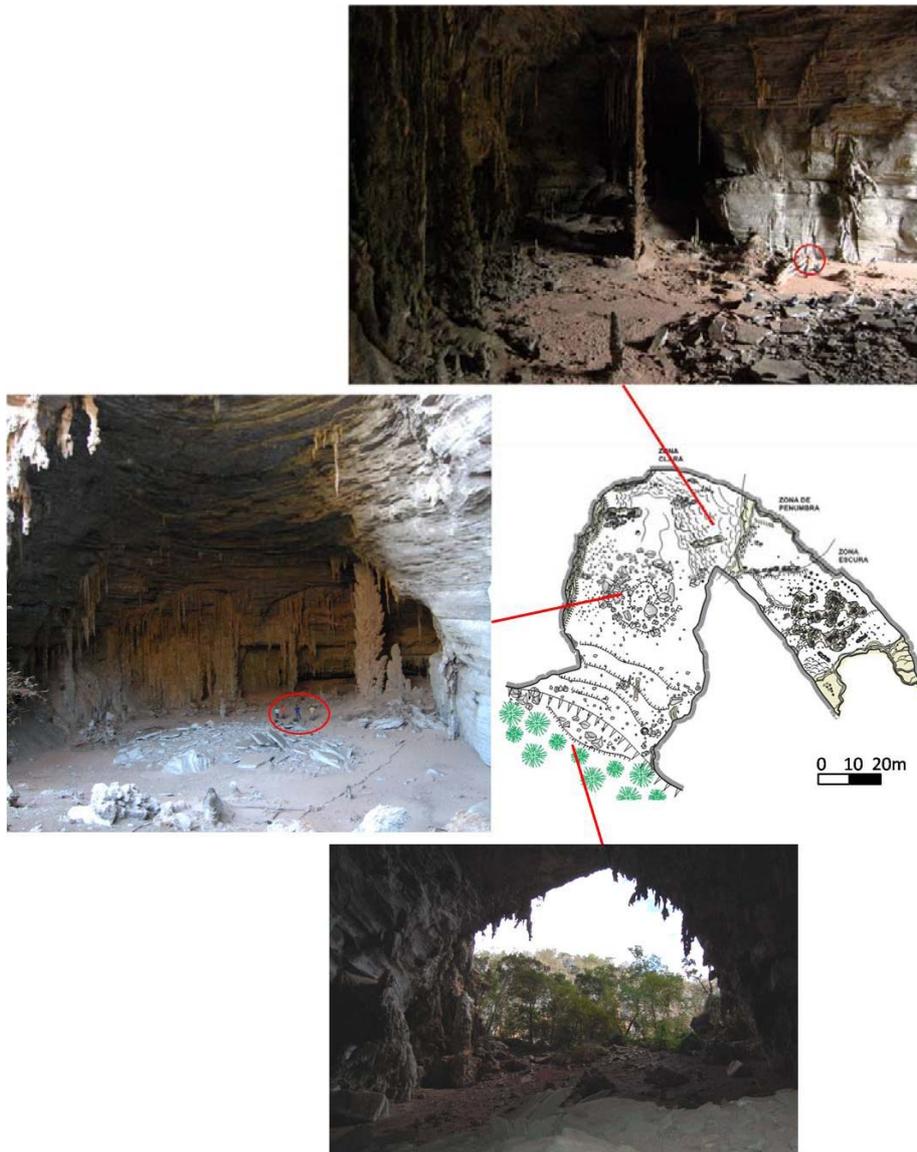


FIGURA 05 Zona fótica da Lapa do Carlúcio. Os círculos vermelhos destacam pessoas situadas nas fotos.

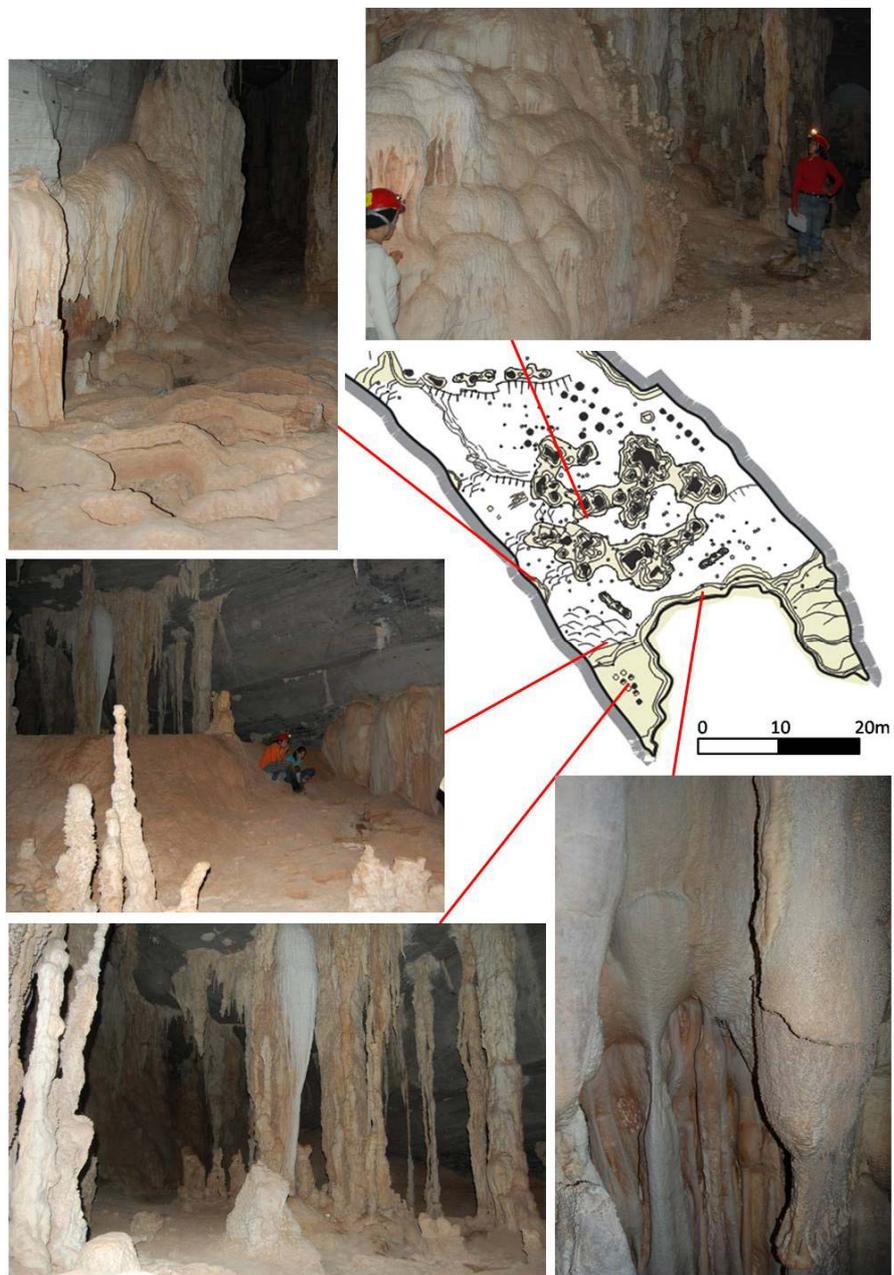


FIGURA 06 Zona escura da Lapa do Carlúcio e diversos tipos de espeleotemas aí localizados.

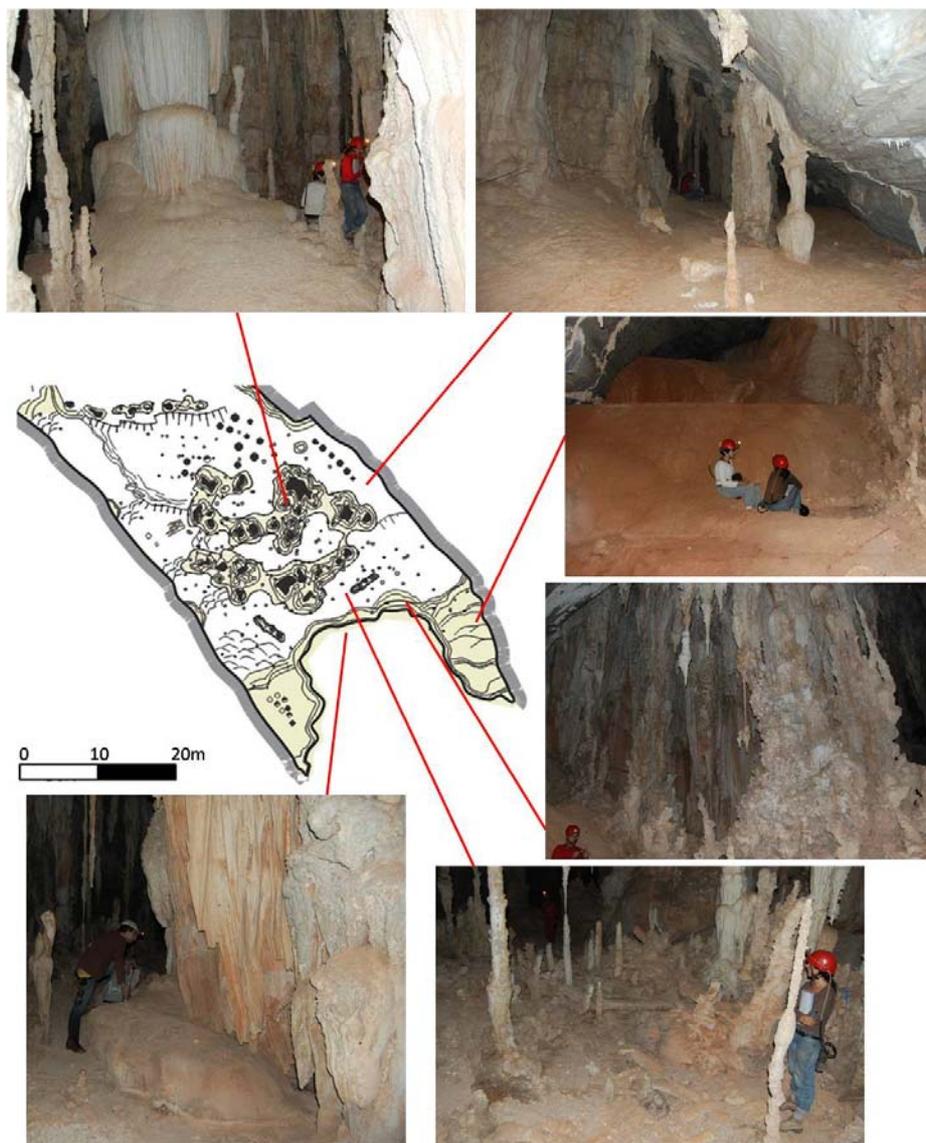


FIGURA 07 Zona escura da Lapa do Carlúcio com localização de diferentes tipos de espelotemas.

À margem direita do Rio Peruaçu, oposta à Lapa do Carlúcio, ocorrem cavernas que apresentaram interesse secundário neste trabalho. Imediatamente à montante da Lapa do Brejal observa-se um conjunto de três pequenas cavidades inseridas na parede do cânion. A Lapa das Abelhinhas consta da cavidade topograficamente mais rebaixada, com entrada localizada a 7 metros acima do leito do Rio Peruaçu. Contígua, estão a Lapa dos Ossos, cuja boca se situa a 21 metros e o ponto mais rebaixado a 4 metros acima da drenagem, e a Lapa dos Morcegos, com entrada a 24 metros e o piso interno a 14 metros acima do Rio Peruaçu. À montante de Carlúcio, próximo ao Centro de referência Silú, ocorrem ainda a Lapa do Cabloco, situada a 49 metros acima do leito do rio, e a Lapa dos Cavalos a 36 metros acima dele. Todas essas medidas foram registradas em relação ao nível do Rio Peruaçu medido em maio de 2007. A localização dessas cavernas pode ser observada na figura 08.



FIGURA 08 Localização das cavernas situadas à margem direita do Rio Peruaçu à montante da Lapa do Brejal (Modificado de Rubbioli et al., 2003).

## **2.2 MÉTODOS**

### **2.2.1 Análise de cavernas à margem direita do rio**

Foram visitadas as cavernas: Abelhinhas, Ossos, Morcegos, Caboclo e Cavalo, localizadas à margem direita do cânion, para verificar a existência de deposições fósseis e registros de fluxos de inundação semelhantes aos observados na Lapa do Carlúcio.

As cotas topográficas das cavidades da Lapa do Carlúcio e do leito do Rio Peruaçu foram medidas com auxílio de altímetro. As medidas encontradas serviram apenas como base para interpretações de diferenças altimétricas entre as cavidades e o atual leito do Rio Peruaçu. As cotas obtidas não são de todo confiáveis dado à impossibilidade da calibração do aparelho decorrente da destruição do marco do IBGE que existia na estrada próxima ao Fabião para construção de uma entrada de garagem. Desta forma, o altímetro foi calibrado de acordo com a altitude fornecida pelo aparelho GPS. A intenção do uso do altímetro foi, essencialmente, averiguar as diferenças entre as cotas das cavernas encontradas na margem do rio oposta à Lapa do Carlúcio.

### **2.2.2 Catalogação dos fósseis e subfósseis**

Optou-se por denominar todas as ocorrências por subfósseis uma vez que muitas delas não apresentavam processos de fossilização visíveis.

A zona afótica da Lapa do Carlúcio foi minuciosamente avaliada sendo a ocorrência de quaisquer registros subfósseis marcada com fita. De modo a melhor representar a distribuição espacial do material orgânico encontrado na Lapa do Carlúcio, a caverna foi setorizada em 14 áreas homogêneas. A divisão foi feita visualmente separando áreas as quais apresentam morfologia semelhante conforme mostra o tabela 01 e a figura 09. As áreas foram individualizadas em campo com o auxílio de barbante.

Para cada ocorrência foi preenchida uma ficha de catalogação previamente criada para tal finalidade. Para cada subfóssil ou sítio encontrado foi descrito o local de deposição, o grau de incrustação e o tipo de processo de fossilização envolvido. Um amplo registro fotográfico com escala foi realizado.

TABELA 01 Morfologia das 14 áreas homogêneas definidas para a zona afótica da Lapa do Carlúcio.

Área	Definição morfológica
01	Amplas represas de travertino que drenam para a entrada da caverna e pequeno conjunto de três colunas.
02	Represas de travertino que drenam para a área 01 e que são limitadas por colunas.
03	Colunas com microrepresas de travertino na base sobre piso estalagmítico.
04	Represas de travertino que, apesar de contíguas às da área 01, apresentam menor amplitude, maior declividade e se situam mais internas à cavidade.
05	Escorrimento na parede sudoeste da caverna com microrepresas de travertino na base.
06	Piso estalagmítico com colunas e estalagmites na porção central e escorrimentos com microrepresas de travertino nas laterais delimitado por uma grande represa de travertino e situado em nível elevado da caverna.
07	Represas de travertino com pequeno conjunto de colunas e escorrimentos associado a piso estalagmítico.
08	Represa de travertino com piso estalagmítico, limitando a área com espeleotemas abatidos, com colunas, estalagmites e estalactites de pequeno diâmetro individualizadas e escorrimento nas imediações.
09	Escorrimento com uma série de fendas que reveste a parede mais interior da caverna.
10	Represas de travertino e colunas individualizadas associadas a piso estalagmítico com espeleotemas abatidos.
11	Seqüência de três colunas revestidas de coralóides entre as quais se encontra piso estalagmítico com microrepresas de travertino associadas.
12	Aglomerado de colunas de grande porte entre as quais se encontra microrepresas de travertino e piso estalagmítico na base.
13	Coluna de grande porte revestida por escorrimento liso e por coralóide com microrepresas de travertino em determinados pontos.
14	Região declivosa coberta com piso estalagmítico com espeleotemas abatidos e represas de travertino na porção mais elevada.

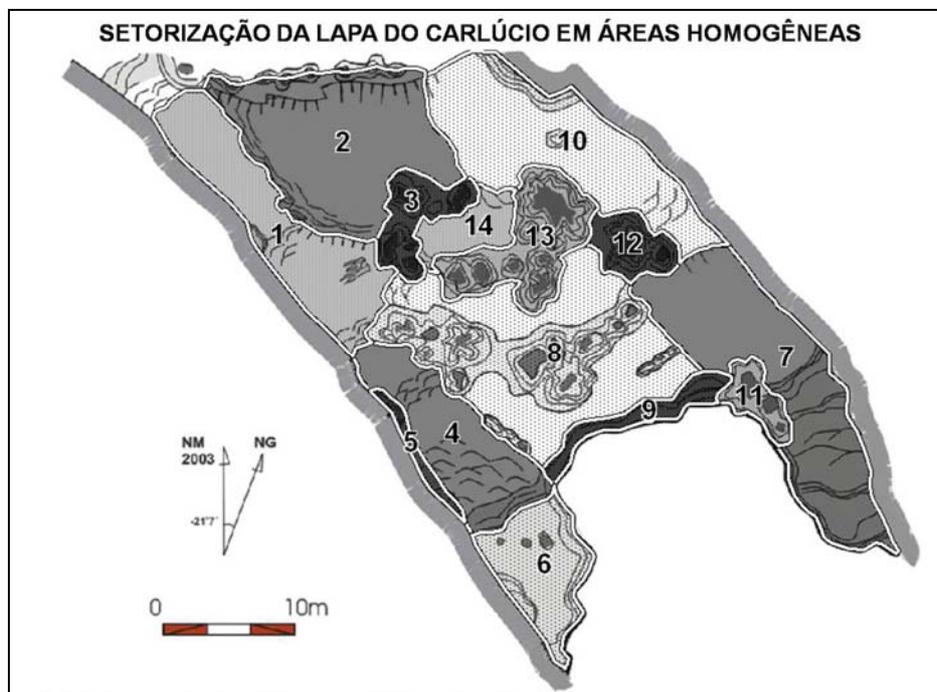


FIGURA 09 Mapa das áreas homogêneas setorizadas na Lapa do Carlúcio.

Não sendo possível individualizar folhas, galhos e troncos que, na maioria dos casos, encontravam-se associados, optou-se por identificar registros de vegetais a partir dos seus sítios de deposição. Desta forma, cada ocorrência de fósseis vegetais não representa necessariamente apenas uma amostra. O mesmo ocorre para acúmulos de ossos catalogados, também registrados como ocorrências.

A identificação das conchas de moluscos foi realizada até o nível taxonômico possível contando com o auxílio da literatura malacológica (Simone, 2006). As conchas de tamanho reduzido, em geral bastante alteradas por processos de incrustação, foram agrupadas genericamente na categoria Pulmonata uma vez que não havia como identificá-las taxonomicamente.

Algumas conchas puderam ser identificadas como pertencentes à subfamília Streptaxinae (Streptaxoidea: Streptaxidae).

### **2.2.3 Topografia**

Tendo como referência a planta da Lapa do Carlúcio elaborada pelo Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas (GBPE) foi realizada uma topografia de base na caverna (Rubbioli et al., 2003). Nesse mapeamento, bases fixas foram definidas para balizar a plotagem de registros e aumentar a acurácia da distribuição espacial dos fósseis e subfósseis. O mapeamento foi feito com o auxílio de trena, clinômetro e bússola.

Todas as ocorrências fósseis foram mapeadas. As ocorrências situadas em pontos de maior altura, em cada uma das diferentes áreas homogêneas da caverna foram topografadas, sendo os demais registros plotados visualmente no mapa da cavidade e medidos quanto à altura do piso. Todas as amostras coletadas para datação foram topografadas.

Os dados foram digitalizados, usando os programas OnStation e CorelDraw, sendo elaborada a representação da caverna contendo a distribuição de registros fósseis e subfósseis. Com base nos dados de distribuição das ocorrências fósseis e subfósseis foi avaliada a existência de padrões de deposição dos registros.

### **2.2.4 Datação e coleta de amostras**

De modo a ter precisão quanto ao evento de importação do material subfóssil para a Lapa do Carlúcio, foram realizadas datações em amostras, utilizando os métodos carbono 14 pelo laboratório Beta Analytic (Florida, EUA) e séries de urânio pela Universidade de Minnesota (EUA). Ambos os métodos de datação utilizados são radio-isotópicos e baseiam-se na taxa de desintegração atômica da amostra. As idades encontradas para o método radiocarbono têm

como referência o ano de 1950, quando foi descoberto a datação por  $^{14}\text{C}$ , tido como o ano que regula o antes do presente (AP ou BP before present).

O método  $^{14}\text{C}$  é baseado na desintegração radioativa desse elemento. Durante a vida, todo ser vivo assimila de forma constante o  $^{14}\text{C}$  do ambiente havendo equilíbrio entre a quantidade deste elemento encontrado no organismo e no ambiente. Quando ocorre a morte do organismo, esse equilíbrio é rompido não sendo mais observada a assimilação do  $^{14}\text{C}$ , mas apenas sua desintegração radiotiva. A desintegração do  $^{14}\text{C}$  decai em taxa constante definida pela meia vida, ou seja, pelo tempo necessário para que a atividade do  $^{14}\text{C}$  se reduza à metade. A datação é dada pelo  $^{14}\text{C}$  residual verificado no organismo sendo adotada a meia vida de  $5.560 \pm 30$  anos (Pessenda et al., 2005).

Pelo  $^{14}\text{C}$  método convencional a idade é encontrada pela contagem do decaimento do carbono em meias vidas. Em amostras reduzidas é usado um Acelerador de partículas acoplado a um Espectrômetro de Massa definida pela sigla AMS, do inglês *Accelerator Mass Spectrometry*.

Foram datados por  $^{14}\text{C}$  três amostras, sendo um tronco e duas conchas de *Megalobulimus* Miller (1878) (Strophocheiloidea: Megalobulimidae) situados em locais de deposição e alturas diferenciados no interior da caverna. Em uma das amostras de concha, dada a baixa quantidade de material disponível, foi realizado o método espectroscopia de massa atômica definido por AMS. A outra concha e o tronco foram datados por procedimento radiométrico habitual.

A datação por  $^{14}\text{C}$  em áreas cársticas é complicada uma vez que as rochas carbonáticas apresentam em sua composição carbono já decaído (morto) originário da calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). O contato de materiais com a água repleta de bicarbonato de cálcio acarreta na incorporação de carbono antigo devido ao chamado *efeito da água dura*. Sendo o carbono morto muito antigo, pode haver a tendência de superestimar a idade real da amostra analisada (Auler, 2008). No caso de conchas o uso do método de datação por  $^{14}\text{C}$  é ainda mais problemática

uma vez que, na formação da concha, os moluscos absorvem tanto o carbono atmosférico (novo) quanto o carbono já decaído da calcita.

A fim de equacionar este problema, o uso da datação por  $^{14}\text{C}$  em conchas de moluscos deve ser associado a datações adicionais de outros métodos. No presente estudo foram feitas datações por séries de urânio nas calcitas que recobriam as duas conchas datadas por método  $^{14}\text{C}$ .

Foram coletadas cinco amostras de *Megalobulimus* e uma amostra de tronco, no entanto apenas a amostra de tronco e duas conchas foram enviadas para datação. As demais amostras de conchas não foram datadas por não ser possível enviar amostras paralelas de calcita para encontrar a idade mínima da deposição.

Assim como exposto para o método carbono 14, o método de datação por séries de urânio baseia-se na taxa de desintegração atômica do elemento. No caso da datação por séries de urânio, no entanto, a desintegração desse elemento gera um novo elemento ou ainda elementos de mesmo número atômico e massas diferentes. A idade da amostra é determinada pela razão de decaimento entre  $^{234}\text{U}$  para  $^{230}\text{Th}$ , desde que a parcela de argila ou detritos insolúveis da amostra inexista ou que os métodos de correção, especialmente  $^{232}\text{Th}$ - $^{230}\text{Th}$  possam ser utilizados (Latham & Schwarcz, 1992).

A aplicação da série do urânio (U) para datação de minerais carbonáticos só é possível devido à solubilidade do urânio em água que contrasta com a completa insolubilidade do tório (Th). Dessa forma, os precipitados de calcita, como as capas calcíticas que revertiam as conchas, apresentam originalmente quantidades de urânio, mas são virtualmente desprovidos de tório (Latham & Schwarcz, 1992). Sendo assim o  $^{230}\text{Th}$  presente nos precipitados é fruto do posterior decaimento radioativo do  $^{234}\text{U}$  e a comparação radioativa entre os isótopos permite obter a idade dos depósitos.

A utilização do método  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  na datação de minerais carbonáticos já está bem estabelecida e esse método parece ser o mais indicado na datação desses materiais, por fornecer uma amplitude temporal elevada com uma confiabilidade razoável (Richards & Dorale, 2003). A técnica de datação empregada no presente trabalho fez uso da espectrometria de massa associada a uma fonte de ionização por plasma, chamado de ICP-MS do inglês *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*, denominado no Brasil de *Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado*, ou simplesmente *Espectrômetro Plasma-Massa* (Shen et al., 2002). Segundo Shen et al. (2002), tal técnica tornou possível reduzir o tamanho das amostras, utilizar amostras de maior dureza e analisar amostras com baixos teores de elementos.

Diante do exposto, percebe-se, quanto à relação entre as técnicas de datação usadas, que a idade encontrada por  $^{14}\text{C}$  para a concha representa a idade máxima e para a calcita a idade mínima das importações.

Já a idade encontrada pelo método  $^{14}\text{C}$  para o tronco representa uma idade mais aproximada do transporte. Tal fato se explica pela assimilação pela árvore restrita ao carbono atmosférico (novo) e, ainda, pela rápida decomposição do tronco no caso de ter permanecido no ambiente externo. Vale salientar que o tronco também está sujeito à contaminação por carbono já decaído dado ao *efeito da água dura*.

A contaminação das amostras e, conseqüentemente, as idades encontradas, pode ocorrer ainda por carbono secundário, ou seja, por carbono distinto daquele original da amostra. De forma a reduzir a amostra a um único componente e eliminar o carbono secundário, foi realizado pelo laboratório Beta Analytic pré-tratamentos. No preparo das amostras de concha, o pré-tratamento adotado constou da limpeza por ácido (acid etch) enquanto no tronco foi usado ácido, alcalino e ácido (acid/alkali/acid).

As amostras de conchas receberam o pré-tratamento com ácido (Acid etch) as quais foram primeiramente lavadas em água deionizada, removendo possíveis sedimentos e detritos orgânicos associados. O material foi então reduzido a pó e repetidamente submetido a ataques ácidos (HCl etches) para eliminar carbonato secundário. O número de exposições aos ácidos, as concentrações e o número de repetições foram definidos pelo laboratório de acordo com as características específicas da amostra.

O tratamento prévio dado à amostra do tronco é considerado um pré-tratamento completo. Primeiramente a amostra foi reduzida a pó e dispersa em água deionizada. Logo após, recebeu lavagens quentes ácidas (HCl) para eliminar carbonatos e lavagens alcalinas (NaOH) para remover ácidos orgânicos secundários. Contaminantes mecânicos foram igualmente eliminados nas lavagens. Concentrações químicas, temperaturas, número de vezes de exposição e de repetições foram aplicadas pelo laboratório em conformidade com a especificidade da amostra.

A determinação das amostras a serem coletadas foi feita em campo. Para tal, foram consideradas a situação deposicional, espacial e topográfica dos jazigos. Optou-se pela coleta de materiais situados em níveis elevados e espacialmente distantes.

A datação pela técnica radiométrica tradicional do  $C^{14}$  requer quantidade mínima de material, logo o volume das amostras constituiu fator limitante à coleta. Sendo assim a coleta restringiu-se a amostras de conchas de *Megalobulimus* e de troncos de tamanhos maiores.

Outro fator limitante à coleta dizia respeito à incrustação das amostras. Àquelas incrustadas pela calcita freqüentemente resultam em dados cronológicos inconsistentes, já que as análises radiométricas são, via de regra, irreversivelmente influenciadas por relações isotópicas diversas dos elementos. É difícil mensurar a influência radiométrica de camadas de calcita secundária

sobre os materiais orgânicos, como conchas e troncos, logo é fundamental a seleção de amostras livres (ainda que do ponto de vista macroscópico) da influência deste mineral.

As coletas foram feitas com auxílio de talhadeira, ponteira e martelo, sendo cada uma das amostras identificada e armazenada em recipientes individualizados. As amostras foram inventariadas e o local de deposição topografado e fotografado com escala.

No laboratório do Centro de Pesquisa Professor Manuel Teixeira da Costa do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (CPMTC-IGC-UFMG), com auxílio de esmeril, foram individualizadas porções de calcita que recobriam as amostras de duas conchas coletadas. Tais amostras foram enviadas para o laboratório da Universidade de Minnesota para serem datadas por séries de urânio.

### **2.2.5 Barramento**

A inferência do local em que se deu o eixo do barramento baseou-se em referências bibliográficas e na análise do perfil topográfico longitudinal elaborado por Piló et al. (2005).

Para a projeção do reservatório no relevo atual foram usadas bases digitais do Rio Peruaçu e curvas de nível da área, com equidistância de 10 metros, de Simões (2007). Na elaboração de tal base, o autor utilizou as ortofotocartas da Ruralminas (1990), citado por Simões (2007) de números 217803, 217805, 217813, 217814, 217815, 217824, 217825, 217835, em escala de 1:10.000, com resolução espacial 1.3 metros e curvas de nível com 10 metros de equidistância.

Não sendo possível plotar a cota de 19,6 metros acima do Rio Peruaçu, dado à disponibilidade apenas de curvas de nível de 10 metros de equidistância, foi feito um arredondamento sendo, portanto, utilizado a cota de 20 metros. A

projeção do barramento e cálculo da área afetada foram realizados no programa MapInfo 6.5. Os aplicativos de software ArcMap 9.1, GPS TrackMaker PRO e GPS TrackMaker deram suporte ao trabalho.

### **3 RESULTADOS**

#### **3.1 LAPA DO CARLÚCIO E DESNÍVEIS DE INTERESSE**

À exceção da entrada da Lapa do Carlúcio, nenhum outro contato relevante do meio externo com o meio endógeno foi observado na cavidade ou em seu entorno.

Segundo as medidas encontradas para cavernas situadas na margem direita do Rio Peruaçu (oposta à Lapa do Carlúcio), apenas a boca da Lapa das Abelhinhas estaria em nível abaixo da cota de inundação. O interior das cavernas de Morcegos e Ossos (figura 10) teria igualmente níveis abaixo da medida encontrada para a Lapa do Carlúcio e, conseqüentemente, para a inundação. Apenas na porção mais interior da Lapa das Abelhinhas, contudo, foi encontrado um pequeno sítio de deposição com ocorrência concentrada de conchas, as quais apresentam processos de fossilização semelhantes aos observados na Lapa do Carlúcio, como mostra a figura 11. O local de deposição representa o ponto de maior elevação da cavidade, situado a cerca de 7 metros de altura acima da cota da entrada. Também na Lapa das Abelhinhas constatou-se a ocorrência de paleopisos cuja morfologia de sua face inferior sugere que revestiam depósitos inconsolidados.



FIGURA 10 A) Entrada da Lapa dos Morcegos; B) Entrada da Lapa dos Ossos e C) seu salão inferior.

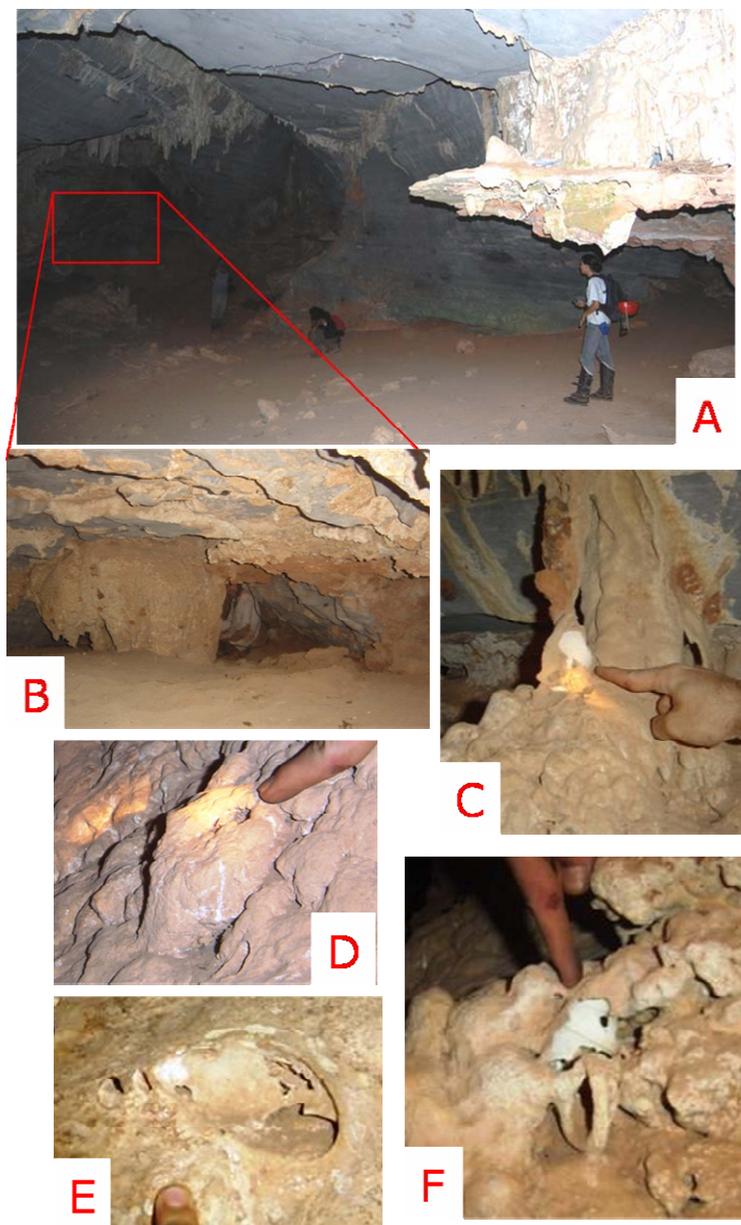


FIGURA 11 A) Salão principal da Lapa das Abelhinhas, com destaque para o paleopiso em primeiro plano, e B) sua porção mais interior; C) D) E) e F) retratam conchas de moluscos incrustadas encontradas nesse setor.

### 3.2 ASSEMBLÉIA SUBFÓSSIL

A assembléia subfóssil encontrada no interior da Lapa do Carlúcio possui ossos e restos vegetais, mas é composta principalmente por conchas de moluscos terrestres das famílias *Megalobulimidae* e *Bulimulidae*.

A assembléia se associa a pisos estalagmíticos e a espeleotemas localizados na porção afótica da caverna. O carbonato presente na água de percolação garantiu a preservação de peças sendo que grande parte dos registros apresenta algum grau de incrustação. Muitas amostras, no entanto, não apresentavam sinais aparentes de processos de fossilização enquanto outras sofreram desidratação.

Não foram constatados subfósseis associados a depósitos clásticos. Em nenhum dos subfósseis foi observado o preenchimento das cavidades internas por sedimentos. Tampouco foram observados desgastes ou corrosões alusivos ao transporte.

Encontrou-se o total de 1.479 ocorrências de subfósseis na Lapa do Carlúcio. A grande maioria dos registros encontrados são conchas as quais somam 1.399 ocorrências inventariadas nessa caverna. Um total de 990 conchas pertence a moluscos do gênero *Drymaeus* Albers (1850) (*Bulimuloidea*: *Bulimulidae*). 238 conchas pertencem genericamente à Ordem Pulmonata e 171 conchas pertencem ao gênero *Megalobulimus* Miller (1878) (*Strophocheiloidea*: *Megalobulimidae*). A figura 12 mostra algumas conchas catalogadas pertencentes aos gêneros *Drymaeus* e *Megalobulimus* e genericamente classificados como da ordem Pulmonata. À exceção de alguns poucos registros, todos os *Drymaeus* e *Megalobulimus* encontrados apresentavam praticamente o mesmo tamanho de concha.

Foram observadas 20 ocorrências de ossos, sendo que uma delas consta do esqueleto quase completo de um passeriforme. Os ossos encontrados pertencem a animais de pequeno porte, principalmente, de roedores e aves,

sendo também constatada a ocorrência de ossos de quirópteros e anuros. De mamíferos de médio porte apenas ossos aparentemente pertencentes a uma anta (*Tapirus americanus*) e a um veado mateiro (*Mazama* sp.) foram encontrados na caverna. A figura 13 ilustra alguns dos ossos descritos.

Dentre as ocorrências vegetais, incluindo folhas, troncos e galhos, foram catalogados 57 sítios de deposição. Identificou-se um nível de deposição de restos vegetais que circundava uma coluna, o qual parece aludir a um registro de marca d'água. Alguns desses sítios são apresentados na figura 14. Um tronco de maior tamanho cuja localização se destacava foi coletado para datação e não se encontrava incrustado, apenas desidratado.

Foi catalogada a presença de 4 carvões presos por calcita em coluna ou escorrimento, mas exibindo face que permitiu a identificação. Constatou-se, ainda, a ocorrência de um coquinho incrustado, localizado em escorrimento na base de coluna, e de um sabugo de milho incrustado encontrado preso a escorrimento situado na porção mais interior da caverna e em nível elevado. Tais subfósseis estão representados na figura 15.

De modo geral a assembléia subfóssil da Lapa do Carlúcio se apresenta íntegra. No entanto, foram observadas conchas com sinais de pisoteio. Segundo relato de moradores locais, muitas conchas já foram retiradas e levadas por visitantes.

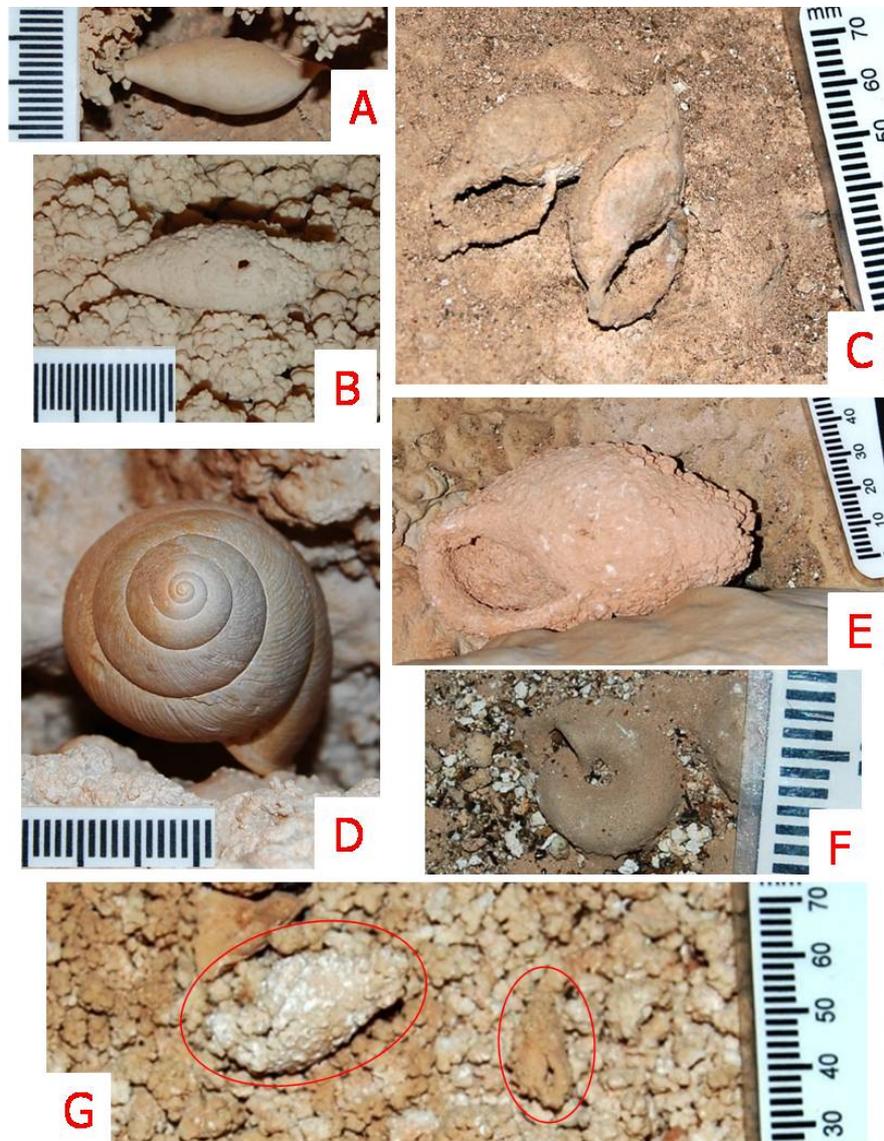


FIGURA 12 As imagens A) B) e C) retratam conchas incrustadas do gênero *Drymaeus*; D) e E) ilustram conchas do gênero *Megalobulimus*; F) representa concha da subfamília Streptaxinae, englobada neste trabalho na ordem Pulmonata; G) apresenta conchas muito incrustadas genericamente classificadas como pertencentes à ordem Pulmonata.

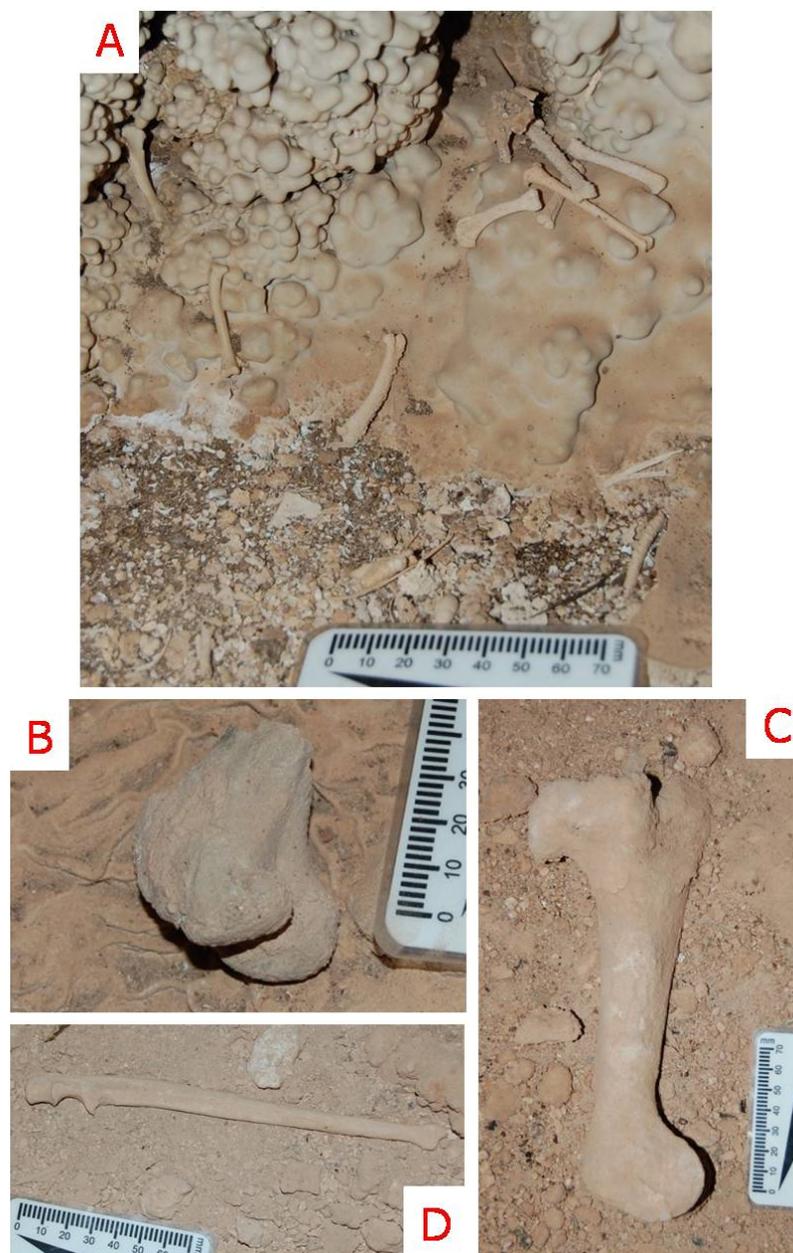


FIGURA 13 A) esqueleto desarticulado de um passeriforme; B) epífise distal de um fêmur de *Mazama* sp. (veado mateiro); C) úmero e D) ulna de *Tapirus americanus* (anta).

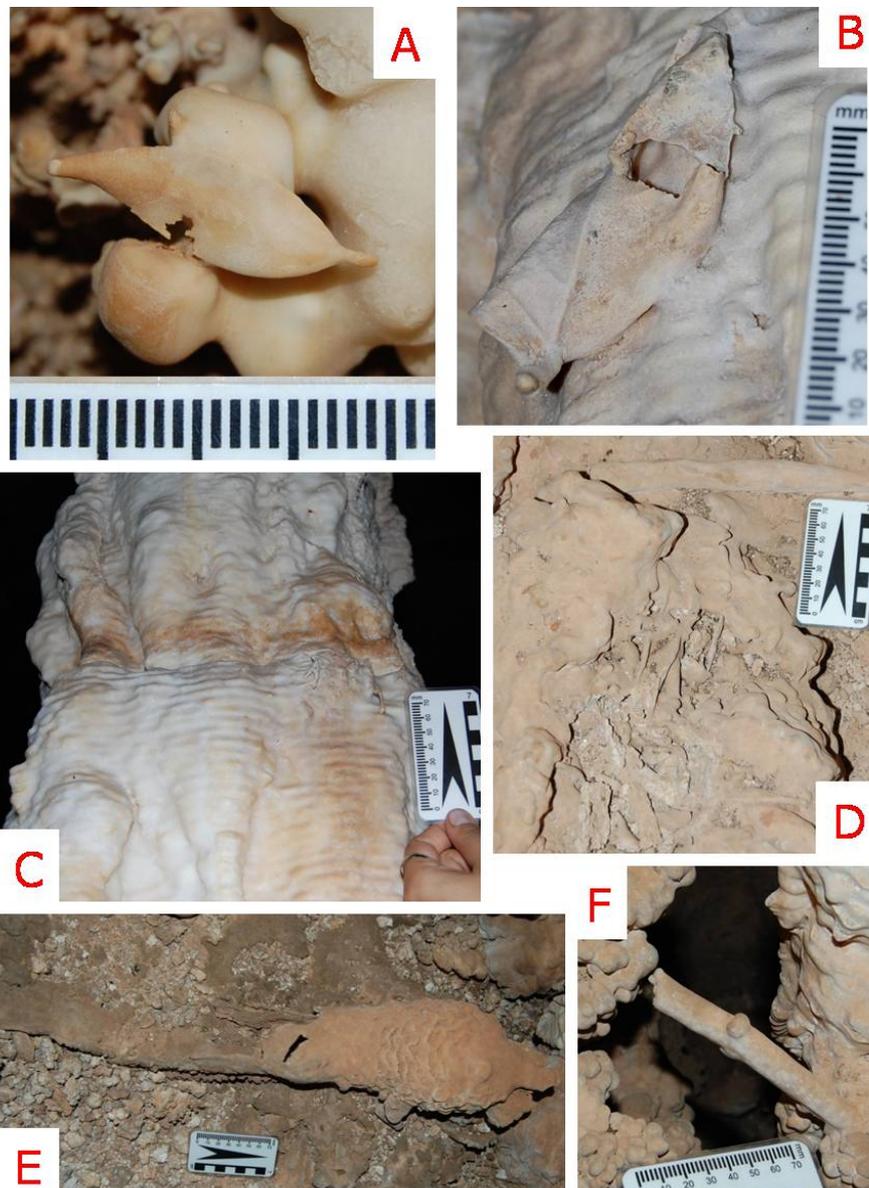


FIGURA 14 As imagens A) e B) ilustram folhas encontradas associadas à espeleotemas do tipo colunas; C) ilustra a deposição de vegetais que circunda uma coluna e parece aludir a uma marca d'água; D) representa um sítio de deposição vegetal; E) e F) compreendem troncos incrustados.

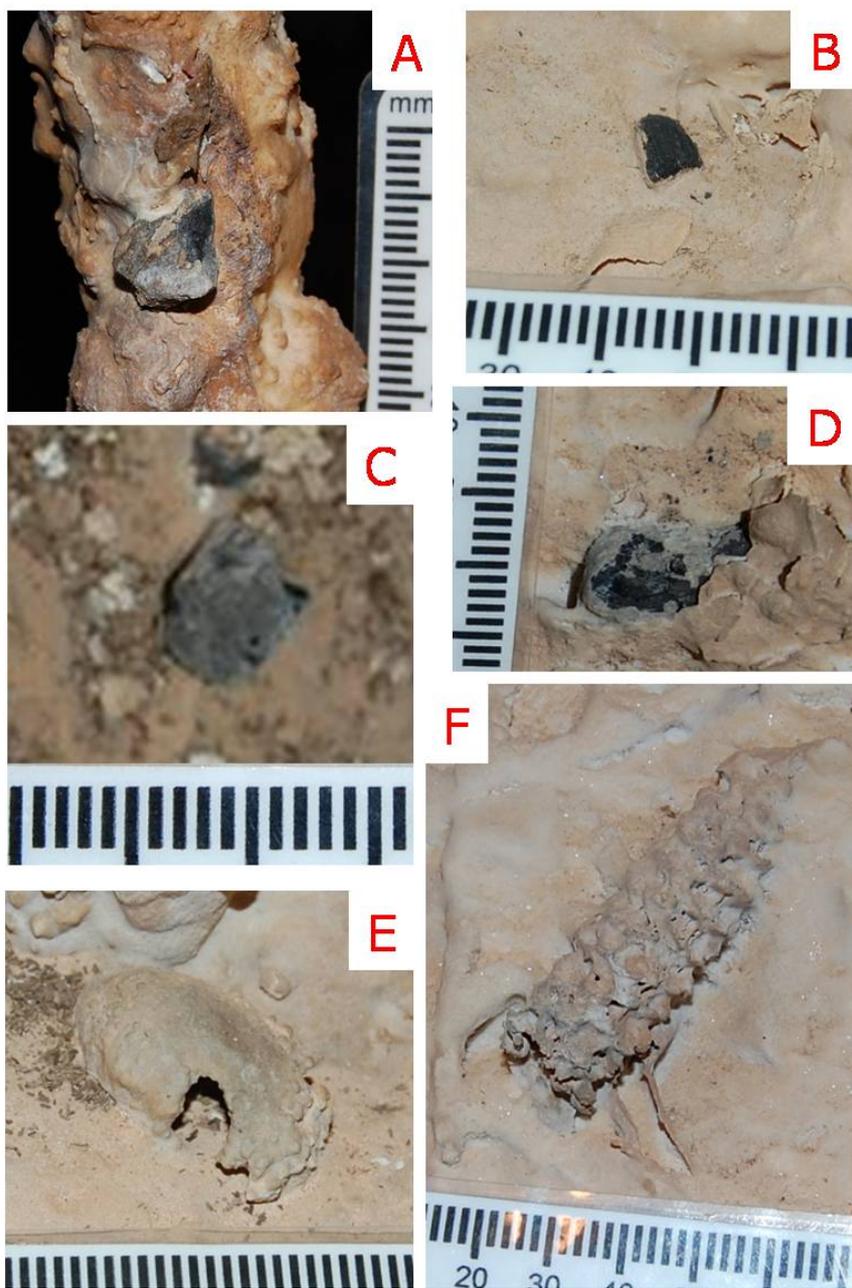


FIGURA 15 A), B), C) e D) retratam os carvões encontrados na Lapa do Carlúcio; E) ilustra o coquinho e F) o sabugo de milho.

### **3.3 ESPELEOTEMAS E SÍTIOS DE DEPOSIÇÃO DE SUBFÓSSEIS**

As áreas de maior acúmulo de subfósseis ocupam os locais mais interiores da caverna. O maior aglomerado é observado em uma seqüência de três colunas revestidas de coralóides, entre as quais se encontra piso estalagmítico, com micro-represas de travertino, associadas às bases das colunas, definidas por área 11. No piso dessa área se localizam amostras de conchas com sinais de pisoteio. Uma das amostras de concha datada (F-06) encontrava-se nesse sítio.

Uma área, delimitada por uma grande represa de travertino, situada em nível elevado da caverna, igualmente se destaca pelo acúmulo de e subfósseis. Esse sítio, definido como área 06, apresenta piso estalagmítico, com colunas e estalagmites na porção central, escorrimentos nas laterais e micro-represas de travertino no piso. Nessa área verificou-se elevada diversidade de tipos de materiais, sendo observado, além de conchas, troncos, galho, folhas, carvão, ossos e um sabugo de milho. As amostras de tronco (F-03) e de uma concha (F-02) datadas foram coletadas nessa área 06.

A figura 16 mostra a disposição espacial dos subfósseis encontrados na zona afótica da Lapa do Carlúcio enquanto a figura 17 exhibe a localização das amostras coletadas para a datação. A figura 18 ilustra conchas pisoteadas localizadas na área 11.

**SUBFÓSSEIS DA LAPA DO CARLÚCIO  
PARQUE NACIONAL CAVERNAS DO PERUAÇU - MG**

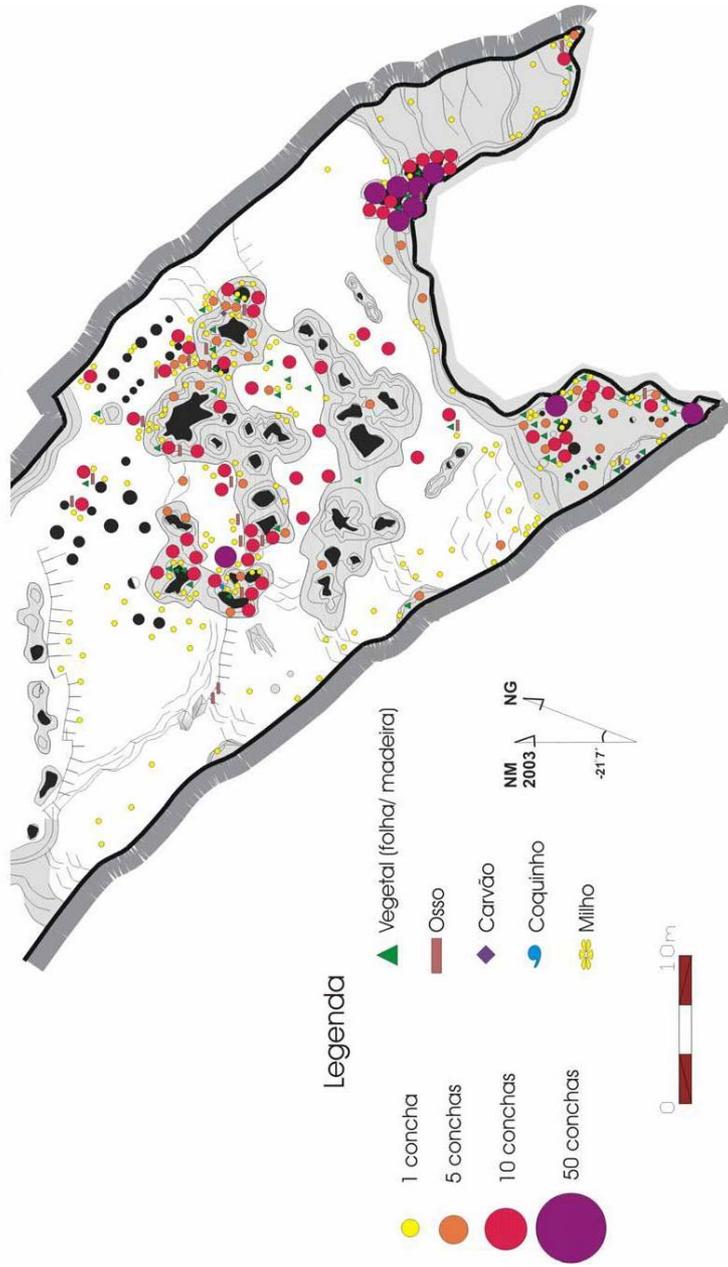


FIGURA 16 Localização espacial dos subfósseis encontrados na zona afótica da Lapa do Carlúcio.

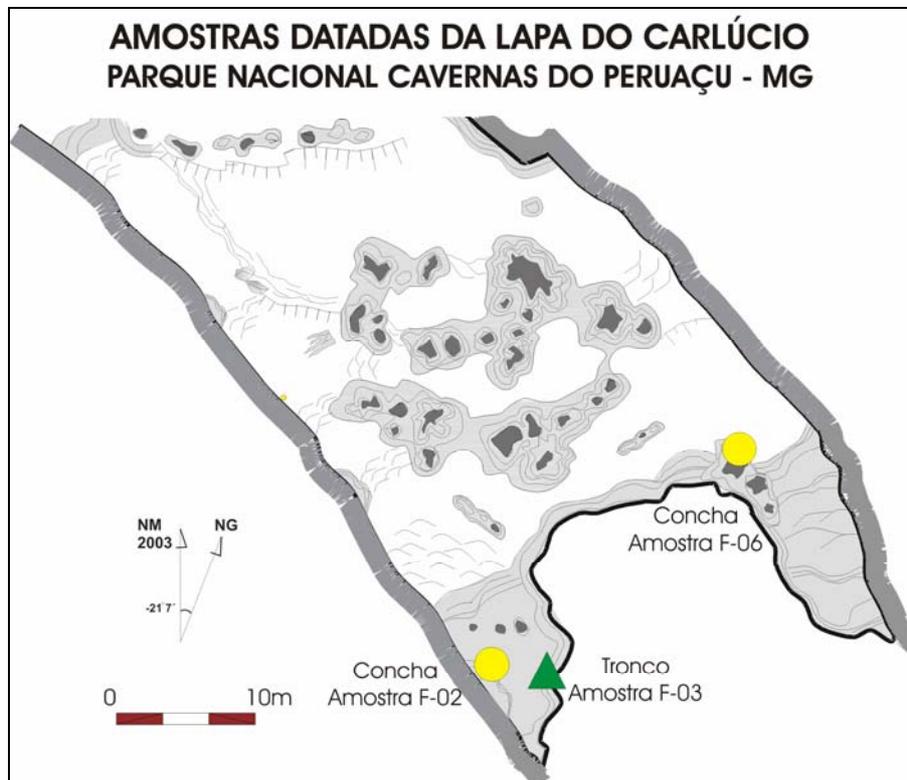


FIGURA 17 Localização das amostras de subfósseis coletadas e datadas.



FIGURA 18 A) e B) retratam conchas subfósseis pisoteadas encontradas na área 11 da Lapa do Carlúcio.

A topografia dos subfósseis mostra que estes ocorrem até a altura de 19,6 metros acima do nível do Rio Peruaçu medido em julho de 2007, sendo o registro mais alto pertencente a uma concha do gênero *Drymaeus* (figura 19). Outras conchas do mesmo gênero foram topografadas às alturas de 17,4 metros e 17,7 metros. Além disso, outras três amostras foram mapeadas na cota de 19,2 metros acima do leito do rio. A figura 20 ilustra a topografia desses subfósseis em relação ao Rio Peruaçu no perfil longitudinal da caverna.

Conchas do gênero *Megalobulimus* foram registradas a 16,5 metros, 16,6 metros, 17,5 metros e 19,3 metros acima da drenagem atual (figura 20). As conchas desse gênero, coletadas para datação estavam locadas a 14,4 metros (F-02) e 19,3 metros (F-06) acima do Rio Peruaçu conforme ilustra a figura 21.

A quase totalidade dos ossos se encontrava localizada no piso estalagmítico ou em represas de travertino. Já o material vegetal encontrava-se disperso em várias áreas da caverna, sendo os sítios de deposição associados a escorrimentos, pisos estalagmíticos e especialmente colunas.

Uma folha situada em cota elevada foi topografada à altura de 19,1 metros acima do nível do Rio Peruaçu (figura 20). Foi possível identificar um nível de deposição de restos vegetais que circundava uma coluna, os quais parecem aludir a um registro de marca d'água, na altura de 16,9 metros acima do leito do rio (figura 19). O tronco inserido em reentrância no escorrimento, coletado para datação (F-03), encontrava-se à altura de 19,2 metros acima do nível da drenagem (figura 21).

A figura 19 mostra o perfil longitudinal dos segmentos da Lapa do Carlúcio com o nível de deposição máximo registrado, considerado nível mínimo atingido por um paleoreservatório, bem como a cota de alcance referente à marca d'água. Em seqüência, a figura 20 ilustra os diferentes níveis de deposição topografados no interior da Lapa do Carlúcio e a figura 21 retrata as cotas das amostras datadas.

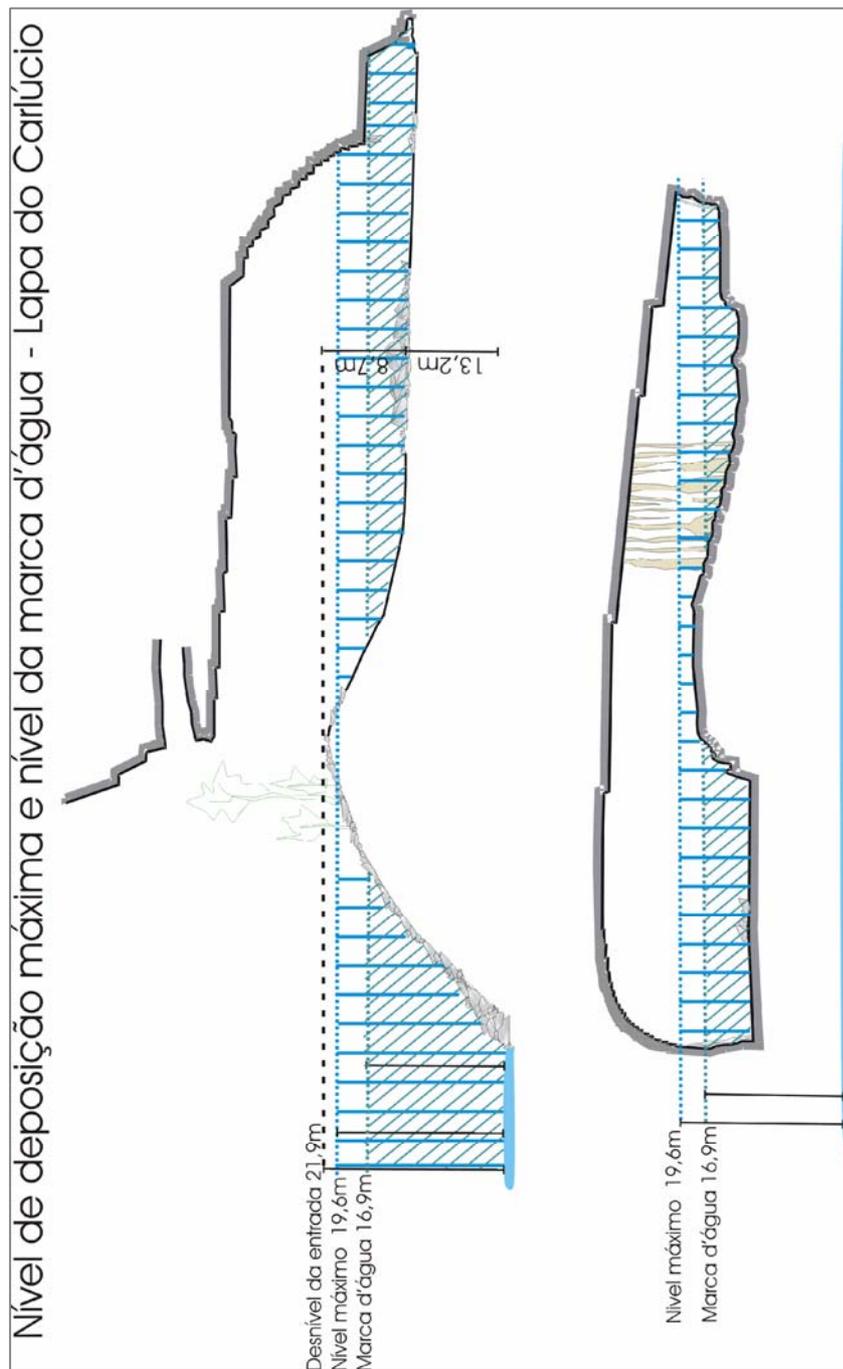


FIGURA 19 Ilustração dos níveis de deposição mais elevado encontrado e da marca d'água.

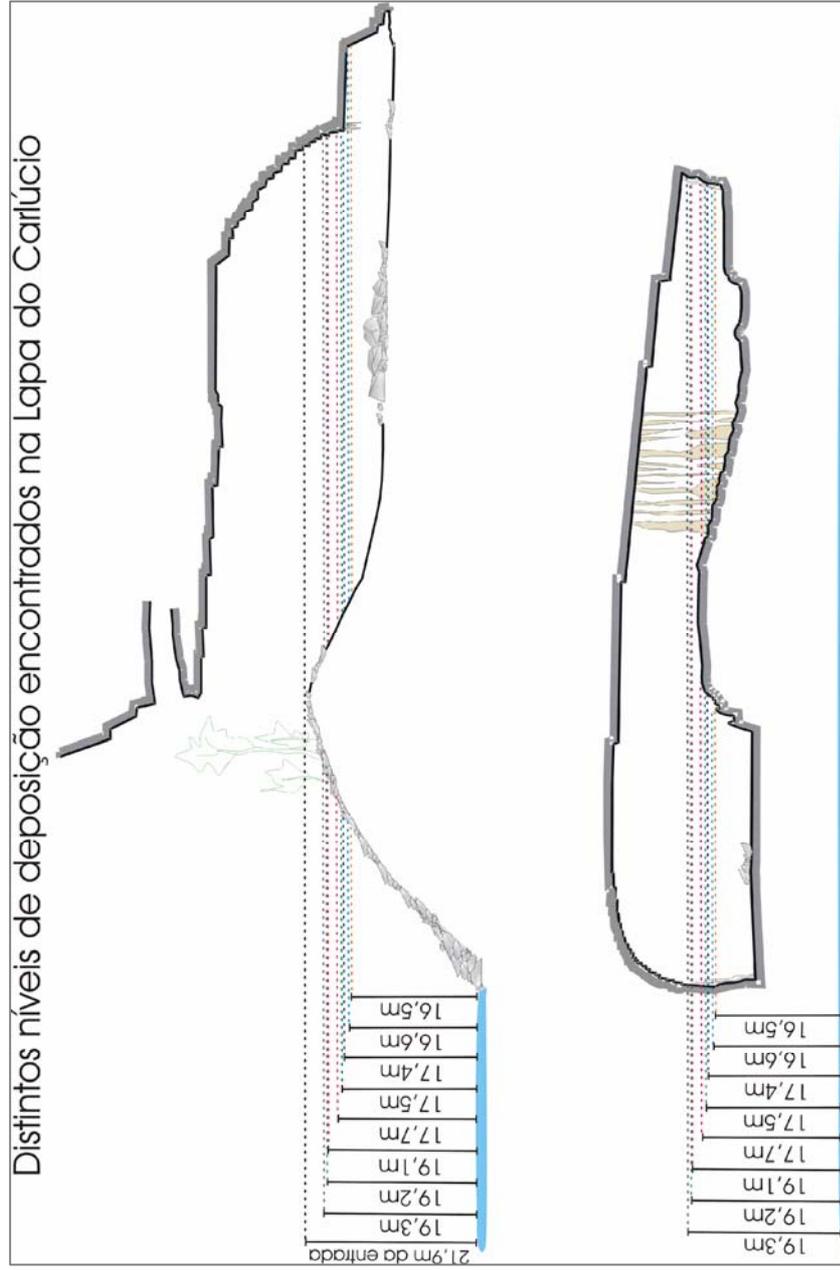


FIGURA 20 Plotagem de diversos níveis encontrados na topografia dos subfósseis.

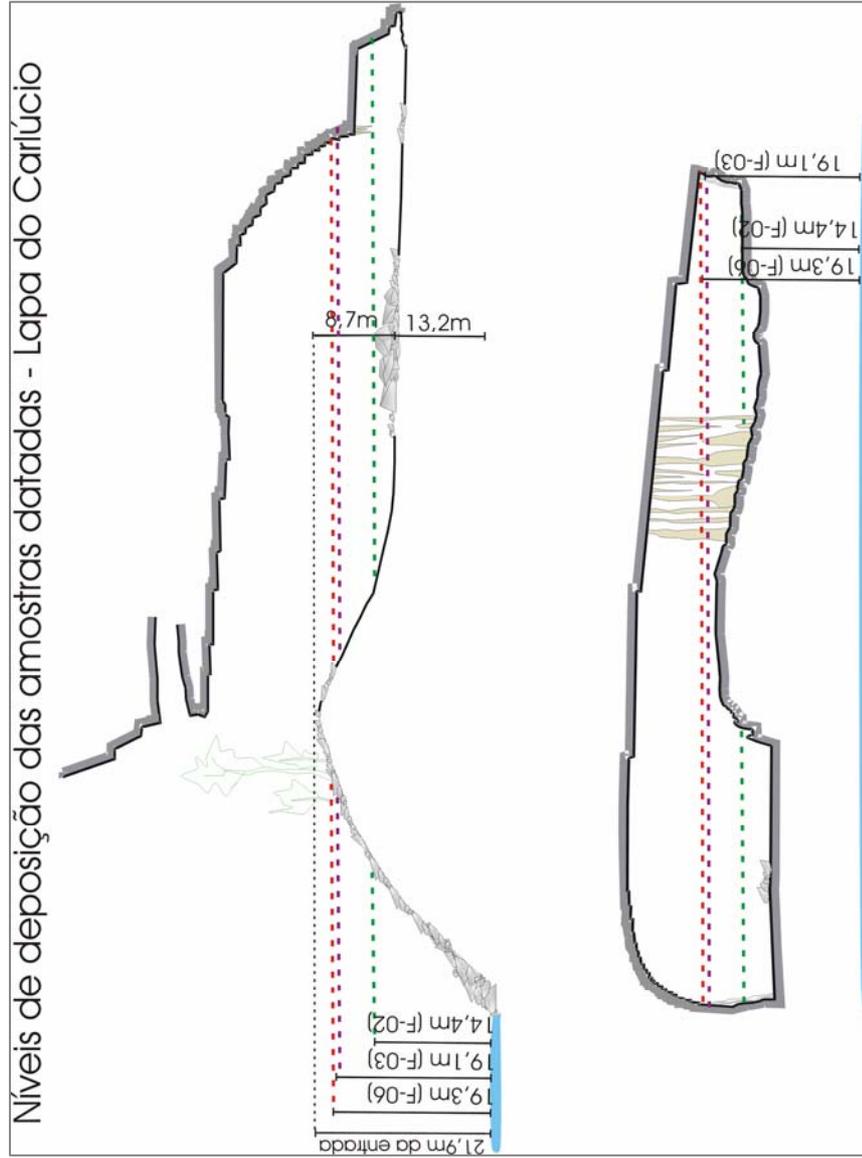


FIGURA 21 Cotas encontradas para as amostras de subfósseis coletadas e datadas.

Mil e uma conchas se encontravam presas ou encaixadas, enquanto 397 estavam soltas. Os subfósseis de outros tipos também se situavam basicamente presos ou encaixados. Os registros se associavam à diferentes tipos de espeleotemas, como mostra a figura 22, entretanto a grande maioria destes se situava em colunas ou próxima à base destas estando também amplamente localadas na base das paredes da cavidade, as quais em grande parte conformavam escorrimentos. Nas áreas essencialmente compostas por represas de travertino o número de subfósseis encontrados é menor.

O tipo de incrustação variou de acordo com o espeleotema ao qual o subfóssil se associava como retrata a figura 23. Em colunas a incrustação observada conformava superfície lisa. Os subfósseis presentes no interior de represas de travertino apresentavam, no geral, maior nível de incrustação, sendo a superfície da estrutura rugosa. As amostras inseridas nas bordas de represas ou em micro-represas de travertino se apresentavam lisas.

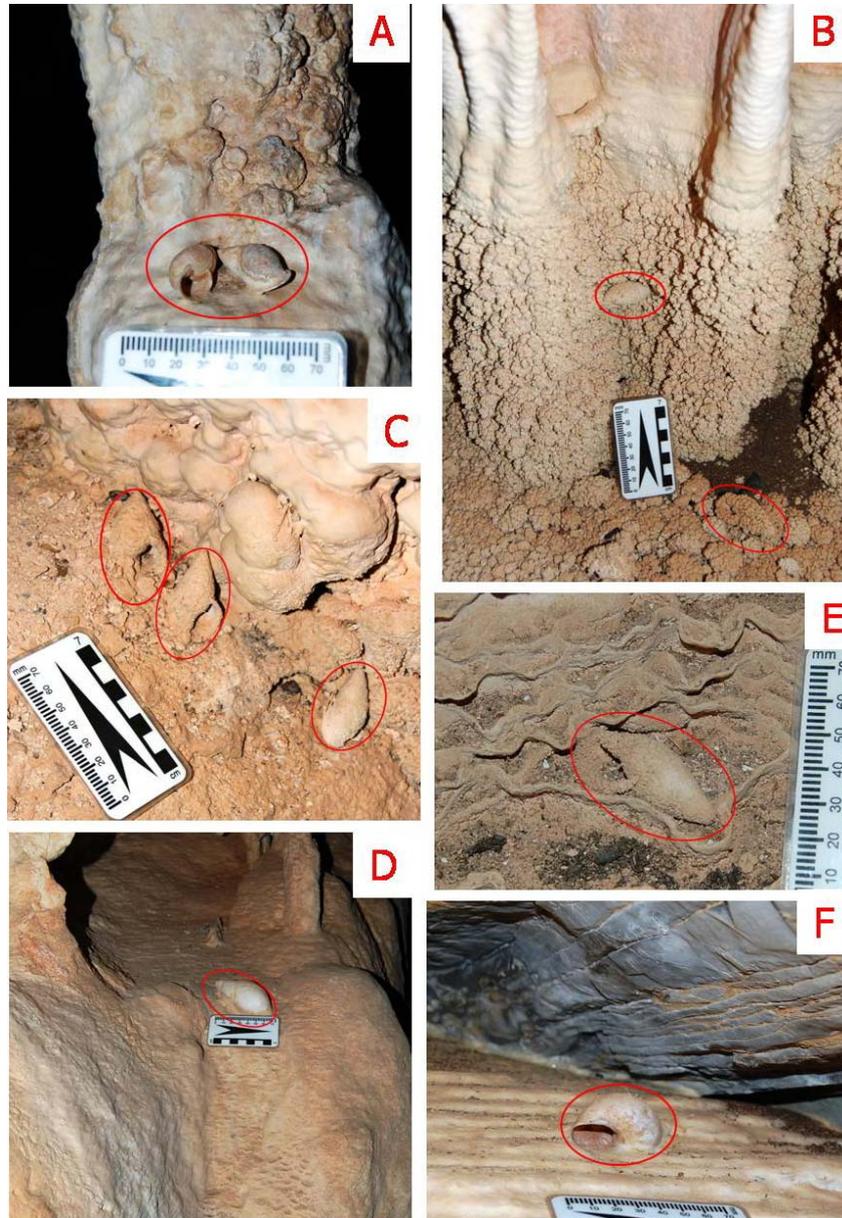


FIGURA 22 A) representa conchas subfósseis localizadas em colunas e B) situadas na base; C) ilustra peças encontradas em piso estalagmítico; E) em represa de travertino; D) em escorrimento e F) associada à base da parede da caverna.

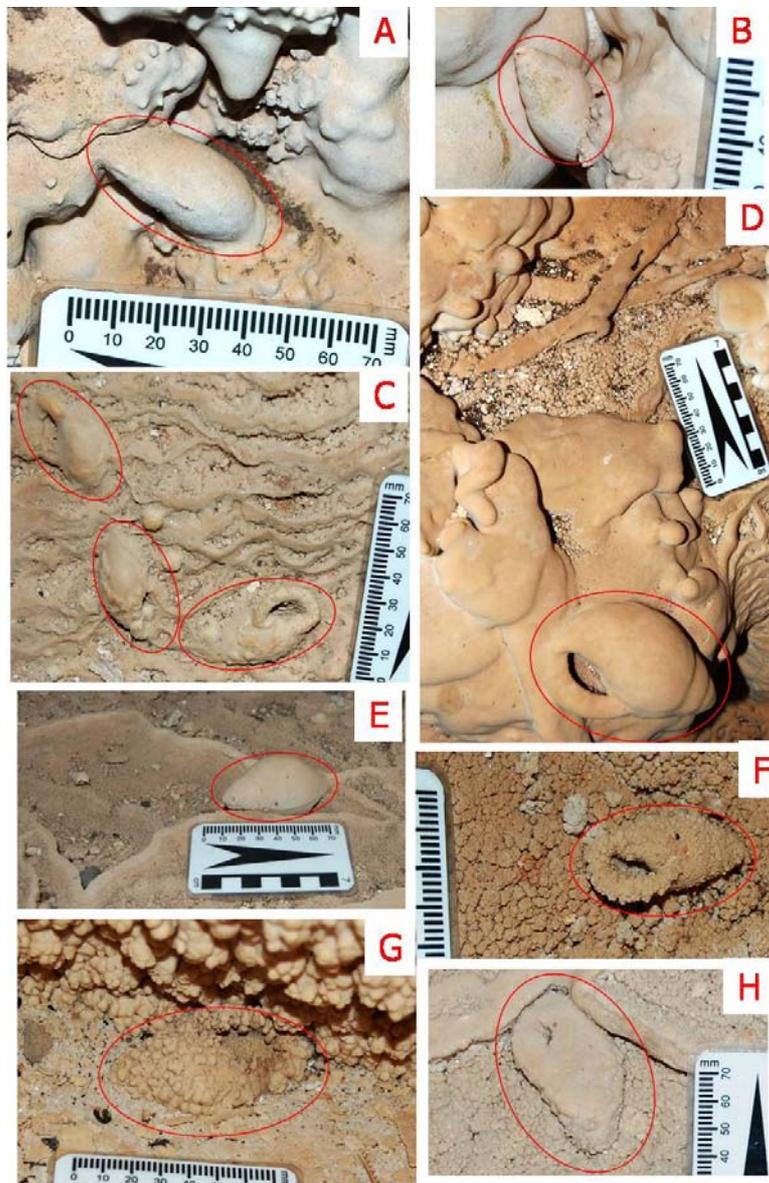


FIGURA 23 Incrustação com superfície: lisa associada à A) e B) colunas, C) micro-represas de travertino, D) escorrimentos e E) borda de represas de travertino; rugosa referente à F) e G) represas de travertino; e mista H) com face superior lisa situada na borda da represa de travertino e inferior rugosa locada dentro desta.

### 3.4 DATAÇÃO

As idades encontradas por datação pelo método  $^{14}\text{C}$  foram de: (i) 1.630 +/- 50 anos BP para uma amostra de tronco (F-03); (ii) 3.050 +/- 50 anos BP para uma concha de *Megalobulimus* (F-02); e (iii) 9.380 +/- 40 anos BP para outra concha de *Megalobulimus* (F-06). As idades das calcitas que revestiam as conchas, determinadas por séries de urânio, corresponderam a 1.758,5 +/- 430,5 anos BP para a concha (F-02); e a 8.108,5 +/- 49,0 anos BP para a concha (F-06). As idades encontradas por ambos os métodos foram sintetizadas no quadro abaixo (Tabela 02) para melhor visualização. Os sítios de deposição das amostras coletadas são ilustrados pela figura 24.

TABELA 02 Idades corrigidas encontradas para as amostras datadas pelos métodos  $^{14}\text{C}$  e Urânio-Thório.

<b>Amostra</b>	<b>Idade <math>^{14}\text{C}</math> (anos BP)</b>		<b>Idade U Th</b>	
F02	3.260	± 50,0	1.758,5	± 430,5
F03	1.610	± 50,0	--	--
F06	9.650	± 40,0	8.108,5	± 49,0

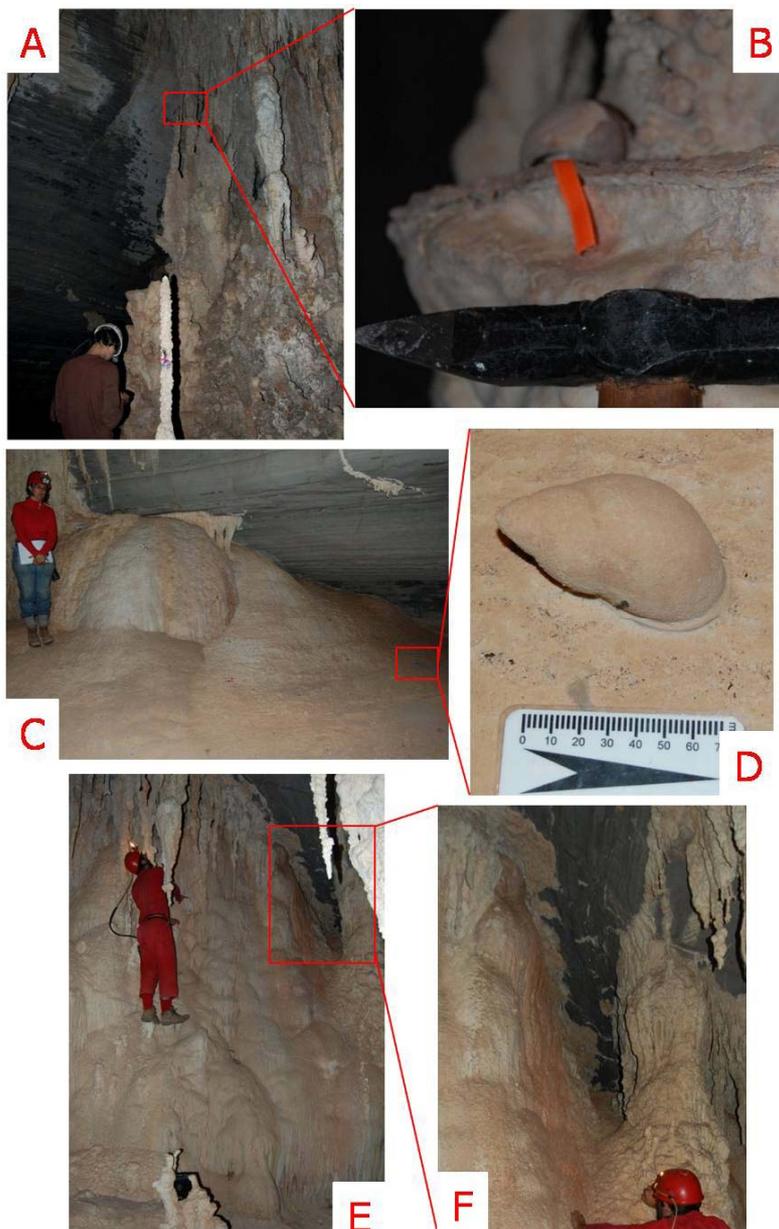


FIGURA 24 Sítio de deposição das amostras coletadas de A) e B) concha de *Megalobulimus* (F-06); C) e D) de outra concha de *Megalobulimus* (F-02); e E) e F) de tronco (F-03).

### 3.5 - BARRRAMENTO

Segundo o perfil topográfico longitudinal elaborado por Piló et al. (2005), o cone de dejeção da Lapa do Brejal apresenta altura suficiente para promover inundação que alcance o interior da Lapa do Carlúcio, conforme mostra a figura 25.

A figura 26 ilustra a ocorrência de um barramento, com eixo na Lapa do Brejal, que alcançasse a altura de 20 metros, usada como arredondamento da altura de 19,6 metros encontrada para a máxima deposição de subfósseis e considerada o nível mínimo atingido por um paleoreservatório. Neste caso a área total atingida seria correspondente a 230,8 hectares e a alteração do nível do rio seria sentida em até 10,64 quilômetros à montante do local do barramento.

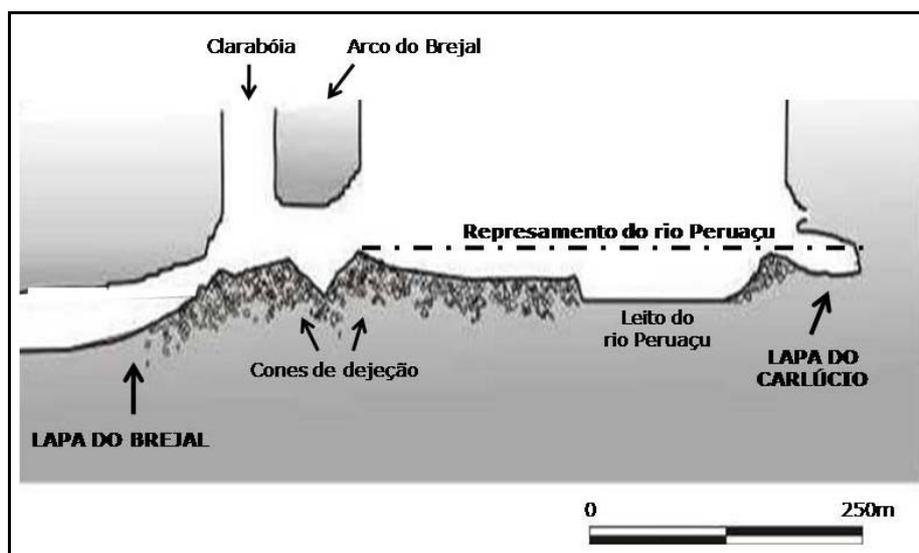


FIGURA 25: Perfil topográfico do Vale do Rio Peruaçu à montante da Lapa do Brejal com a projeção do alcance de possível represamento da drenagem ocasionada pelo cone de dejeção da Lapa do Brejal (Modificado de Piló et al., 2005).

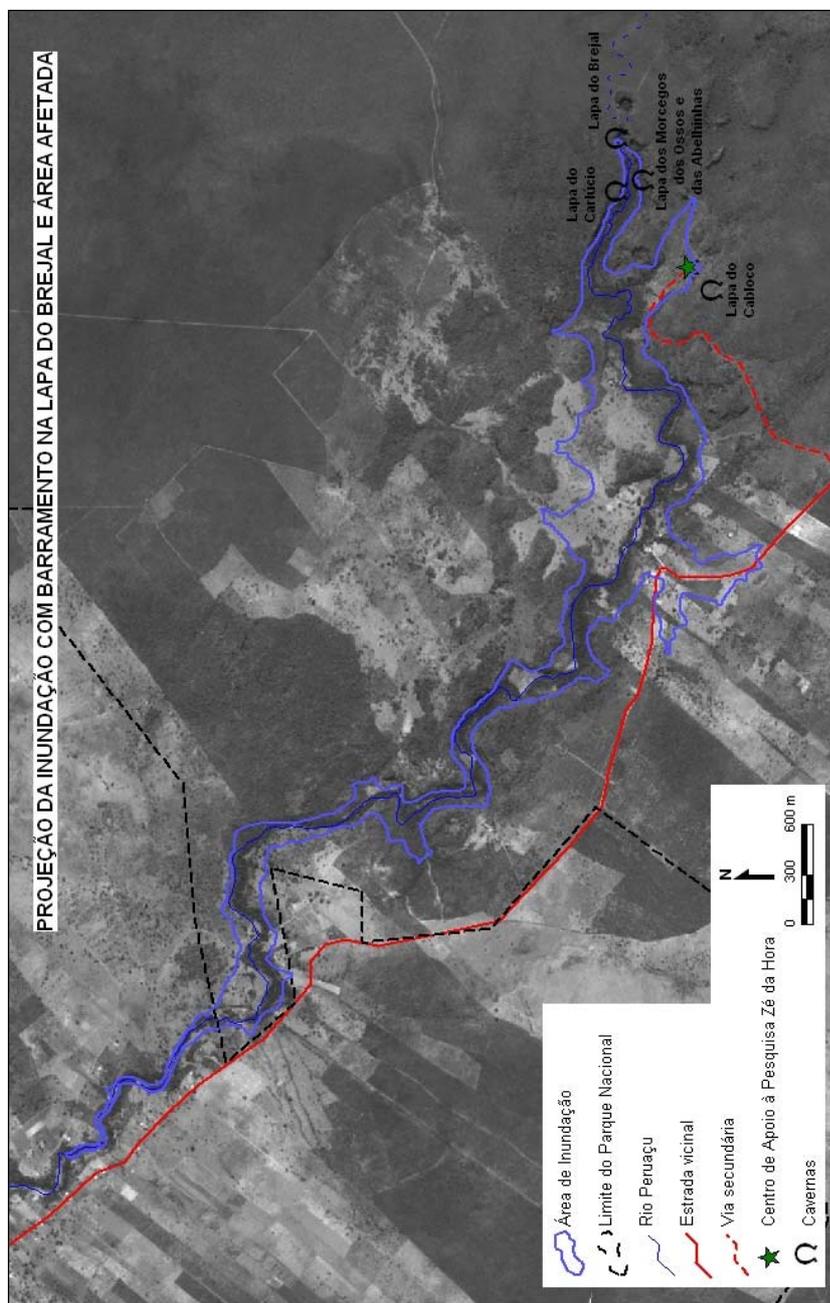


FIGURA 26 Projeção da inundação com alcance de 20 metros acima do leito do rio Peruau e eixo do barramento localizado na Lapa do Brejal.

## 4 DISCUSSÃO

O uso de depósitos presentes em cavernas carbonáticas tem contribuído sobremaneira para pesquisas paleoambientais, ora pelo uso de depósitos químicos na investigação climática, ora pelo uso de depósitos clásticos na pesquisa hidrológica e morfodinâmica. Quanto aos depósitos orgânicos, a maioria dos estudos paleontológicos, realizados em cavernas brasileiras, restringiu-se ao simples inventário sem que fossem abordados os processos e condições de transporte e preservação do registro fóssil. Apenas recentemente depósitos orgânicos têm sido usados na análise paleoambiental, no entanto, os estudos empreendidos se limitam à dinâmica morfoclimática pleistocênica (Cartelle, 1995; Auler et al., 2006).

Buscou-se com o presente trabalho ocupar uma lacuna na pesquisa ambiental e ecológica até então inexplorada. Contribuições oriundas de dados paleontológicos, geocronológicos e geográficos são usados na reconstrução de um ambiente fluvial cárstico, colapsível e cíclico. Salienta-se que, por compreender um estudo inédito, muitas análises contidas nesta discussão se baseiam em observações *ad hoc*.

Apesar de moluscos serem freqüentemente encontrados em cavernas carbonáticas, inventários desses registros são escassos e, praticamente, inexistem estudos tafonômicos acerca desses depósitos. Em Minas Gerais inventários paleontológicos empreendidos na APA Carste de Lagoa Santa por Cartelle et al. (1998) e na Província Cárstica Arcos-Pains-Doresópolis por Ferreira (2003) evidenciaram a ocorrência de fósseis de moluscos em cavernas. O trabalho de Baptista & Morato (2003) compreende, no entanto, o único que aborda especificamente a incidência de moluscos em cavernas e infere quanto à tafonomia dos depósitos. Os autores descrevem horizontes de mortandade de

moluscos do gênero *Megalobulimus* em cavidades de Arcos e Pedro Leopoldo, afirmam a ocorrência de transporte ativo desses organismos para essas cavernas e sugerem que, em épocas de seca, moluscos se refugiam nesses ambientes em função da alta umidade apresentada, podendo vir a morrer se as fontes secarem (Baptista & Morato, 2003). Ferreira (com. pessoal) afirma que observações bioespeleológicas não corroboram com a ocorrência dessas migrações.

Compondo o Plano de Manejo do PNCP, foi realizado o inventário paleontológico em algumas das cavidades do PARNA. Ferreira et al. (2003) descrevem a assembléia de moluscos fósseis da Lapa do Carlúcio e apresentam uma hipótese para a ocorrência do registro. Os autores interpretam a deposição como consequência de um represamento do Rio Peruaçu desencadeado pelo abatimento encontrado na entrada da Lapa do Brejal.

A Lapa do Carlúcio apresenta uma única via relevante de comunicação com o meio externo a qual possibilitaria a entrada dos materiais encontrados. Dada a ocorrência de restos vegetais no jazigo, entende-se que o transporte do material biológico para o interior da caverna foi passivo. Apesar de haver relato de entrada ativa de moluscos em cavernas, a quantidade de conchas encontradas, a heterogeneidade dos sítios de deposição e sua associação com outros tipos de subfósseis excluem tal possibilidade enquanto fator principal no transporte.

Em vista da morfologia meandrante e recortada da Lapa do Carlúcio o transporte do material não poderia apresentar outro agente senão a água. Cartelle (1994) defende que a ação de enxurradas, enchentes ou de rios que atravessam cavernas é o fato mais comum no aporte de organismos para o interior desses sistemas. Vale ressaltar que, na presença de água, o transporte de conchas é facilitado por sua flutuabilidade. Tal condição decorre da presença de grande cavidade interna nas conchas, em geral expostas pela deterioração das partes orgânicas dos moluscos.

A ocorrência de grandes elevações do nível do Rio Peruaçu já foi relatada por diversos autores (Anjos, 1918; Rubbioli, 1999; Ferreira et al., 2003; Rodet et al., 2003a;b; 2004; 2005; Rodet & Rodet, 2004; Piló et al., 2005). O represamento das águas do Rio Peruaçu foi interpretado por Ferreira et al. (2003) como o evento de importação do registro subfóssil encontrado na Lapa do Carlúcio.

Os estudos de Piló et al. (2005) evidenciaram a ocorrência de uma ou mais enchentes ao longo do Rio Peruaçu a partir de dados topográficos, morfológicos e orgânicos. Na gruta Arco do André uma marca d'água foi medida em 41,5 metros acima do nível do Rio Peruaçu (julho de 2004) e troncos e galhos de árvores foram identificados e topografados na altura de 40,1m acima do rio (Piló et al., 2005). Na Lapa do Brejal restos vegetais foram registrados em terraços situados a 28,06m acima da drenagem, sendo um tronco datado por carbono 14 em 580 +/- 80B.P. (Piló, 2008).

Piló et al. (2005) traçaram um perfil topográfico longitudinal entre a lapa Arco do André e a Lapa do Brejal, onde se observa que a cota de inundação encontrada pelo estudo não alcançou a Lapa do Carlúcio, apesar de sua entrada se situar a 21,9 metros acima do rio. Tal fato pode ser explicado pela diferença morfológica do Vale do Rio Peruaçu nos trechos à jusante e à montante da Lapa do Brejal.

No trecho do cânion situado à jusante da Lapa do Brejal o Rio Peruaçu percorre vale encaixado onde o cânion é estreito, apresentando 50 metros de largura sendo limitado por paredões abruptos situados bem próximos ao leito do rio. A montante da Lapa do Brejal o Rio Peruaçu corre em área de vale aberto com fundo colmatado restrito por vertentes declivosas originadas do recuo da escarpa do cânion (Piló & Kohler, 1991). Corroborando com o exposto, entende-se que a bacia de armazenamento à montante da Lapa do Brejal é

expressivamente maior que à jusante dessa caverna, sendo necessário, portanto, volume muito maior de água para alcançar o mesmo nível topográfico.

No presente estudo foram topografados, na Lapa do Carlúcio, subfósseis a alturas de até 19,6 metros acima do nível do Rio Peruaçu medido em julho de 2007. Essa altura máxima encontrada para a deposição é considerada o nível mínimo atingido por um paleoreservatório uma vez que as conchas não necessariamente são carregadas à superfície da água. E, ainda que fossem a ocorrência de subfósseis, pode estar associada à sua retenção durante o esvaziamento da cavidade.

Em vista da morfologia do vale nesse trecho, o volume de água represada necessária para alcançar a cota encontrada foi muito expressivo, o que certamente indica que uma área bastante extensa deve ter sido igualmente atingida pelas águas.

Acredita-se que incasões de porções do teto das cavernas, que culminaram na exposição de trechos subterrâneos do Rio Peruaçu, promoveram o represamento deste curso d'água. O cone de dejeção da Lapa do Brejal compreende o testemunho de colapso na calha do Rio Peruaçu situado mais próximo da Lapa do Carlúcio. Rubbioli (1999) destaca que esse depósito sifona o Rio Peruaçu por 200 metros e apresenta 50 metros de espessura. A proximidade e a magnitude dessa brecha de colapso sugerem que o abatimento da Lapa do Brejal representa um dos importantes acidentes topográficos que levou ao represamento pretérito do Rio Peruaçu. Essa constatação corrobora com o exposto anteriormente pelo estudo de Ferreira et al. (2003) que atribuiu esse colapso a responsabilidade pelo barramento e conseqüente transporte de materiais para a Lapa do Carlúcio.

A entrada da Lapa do Carlúcio consiste da porção mais elevada dessa caverna, o piso do interior da cavidade se situa entre 3 e 9 metros abaixo da cota da entrada. O desnível encontrado, provavelmente, proporcionou a formação de

lagos endógenos que perduraram até que a água confinada encontrasse passagem entre fraturas. O nível de deposição de restos vegetais que circunda uma coluna e parece aludir a um registro de marca d'água se localiza 6 metros abaixo da altura da entrada. Tais restos são possivelmente testemunho da ocorrência de um lago confinado no interior da Lapa do Carlúcio.

Apesar de apresentarem salões posicionados em cotas altimétricas inferiores à cota de inundação do paleoreservatório as Lapas dos Ossos e dos Morcegos não apresentam jazigos semelhantes aos observados na Lapa do Carlúcio. Nessas cavernas ou a deposição não ocorreu ou não encontrou meios de se fossilizar. Por situarem adjuntas à entrada da Lapa do Brejal, com entradas localizadas em nível topográfico superior ao da cota de inundação, é possível que a água tenha invadido os salões interiores rebaixados dessas cavidades por percolação e não procedente do meio externo (pelas entradas). Tal fato não permitiria o transporte de materiais para o interior das cavernas corroborando com o observado no local.

Ao contrário do observado nas Lapas dos Ossos e dos Morcegos, a Lapa das Abelhinhas apresenta a entrada situada abaixo da cota de inundação e apenas nessa caverna foi constatada a ocorrência de subfósseis. O pequeno jazigo, cujo transporte teve necessariamente que ser feito pela entrada da caverna, está restrito à zona mais elevada e interior da cavidade. Acredita-se que, nesse ponto, dado à elevação, os subfósseis foram conservados enquanto que nas demais porções da caverna o material tenha sido retirado no momento de esvaziamento de um dos paleoreservatórios do Rio Peruaçu. Infere-se, ainda, que a remoção do material inconsolidado, cujos paleopisos da Lapa das Abelhinhas revestiam, pode ter sido decorrente de um dos represamentos da drenagem. Tal pressuposto baseia-se na grande quantidade de água necessária para ocorrer essa retirada.

Para que o barramento do Rio Peruaçu tenha ocorrido, é necessário que os colapsos do teto tenham se sucedido de forma imediata, de modo que o cone

de dejeção resultante tenha sido formado por materiais de tamanhos diversos. Assim, os sedimentos de granulometrias menores, bem como a matéria orgânica que recobria as porções exocársticas (superiores) dos trechos que desmoronaram, puderam colmatar os blocos de maior tamanho, os quais garantiam a estruturação do barramento.

Características do jazigo da Lapa do Carlúcio apontam para uma baixa energia de transporte, primeiramente dado à quase total ausência de ossos de animais de médio e grande porte o que contrapõe à grande abundância no número de conchas encontradas. Se por um lado o transporte de ossos pesados requer elevada energia de transporte, por outro, o transporte de conchas é facilitado pela capacidade de flutuação quanto à presença de cavidades internas ocas.

Por outro lado, observa-se que os subfósseis encontrados na Lapa do Carlúcio não se associam a sedimentos e tampouco possuem preenchimento clástico, o que afasta a possibilidade de transporte com alta energia desprendida onde sedimentos iriam ser carregados em conjunto com os subfósseis e, conseqüentemente, se agregar a eles.

Não sendo constatado desgaste alusivo ao transporte, entende-se que a distância percorrida pelos materiais até o interior da caverna tenha sido curta. A presumível pequena distância de importação dos restos, associada à baixa energia de transporte, sugere uma elevação gradual do nível do rio. O aumento gradual do nível do Rio Peruaçu corrobora com a hipótese levantada de que a água alcançou as Lapas dos Ossos e dos Morcegos por percolação.

Os rebaixamentos do nível da água do Rio Peruaçu, provavelmente, também ocorreram de forma gradual. Na estrutura do barramento, a água certamente atuou inicialmente nos sedimentos de menor granulometria, o que levou à progressiva ampliação dos espaços entre blocos com conseqüente aumento da passagem do fluxo. A pressão exercida pela coluna d'água sobre o

barramento acentuou a ação erosiva da drenagem. Logo, a reestruturação do leito do rio evolui de modo que o nível d'água vai sendo gradativamente rebaixando até que restabeleça seu nível, passando a fluir sifonado sob blocos. Machado & Kotzian (2004) afirmam que o ápice da concha de moluscos tende a ser orientada conforme o sentido de paleocorrentes. Na Lapa do Carlúcio nenhum tipo de padrão foi verificado o que corrobora com o suposto rebaixamento gradual sem fluxo preferencial estabelecido.

O rebaixamento gradual do nível d'água barrada por colapsos no Cânion do Rio Peruaçu foi anteriormente constatado por Rodet & Rodet (2004). Esses autores atestaram a presença de depósito lacustre na região da depressão da Fazenda Terra Brava pela ocorrência de um pacote de argila amarela de até 5m de espessura verificado durante escavações arqueológicas a céu aberto na área. Acredita-se que, durante o Pleistoceno, o escoamento das águas deste setor do cânion foi fechado pelo abatimento da Dolina dos Macacos, na Gruta do Janelão (Rodet et al., 2003a; 2005).

A retirada mecânica de blocos de maior tamanho requer elevado poder erosivo, maior do que aquele observado no Rio Peruaçu, restrito em fluxo e em declive. Acredita-se que blocos maiores podem ser removidos apenas pela ação de intemperismo (químico e físico) das águas do Peruaçu, o que demanda grande espaço de tempo. Dessa forma, as diferentes áreas sifonadas do Rio Peruaçu são testemunhos de colapsos e enchentes (decorrentes destes colapsos) que ocorreram no rio. Além disso, tais cones de dejeção são responsáveis pela elevação periódica do rio em épocas de cheia.

Entende-se, portanto, que dois tipos de ocorrências alteram o nível das águas do Rio Peruaçu. Uma delas se dá de forma eventual enquanto o outro ocorre periodicamente. O primeiro é consequência direta de grandes colapsos do teto e paredes do cânion, os quais produzem dejetos que barram com densidade a passagem das águas, sendo observado o represamento do rio e a ampla elevação

do nível da drenagem em direção à montante. O segundo tipo de alteração do nível da água do Rio Peruaçu resulta da dificuldade (e não impedimento) da passagem do fluxo pelas áreas onde o rio se encontra sifonado, sendo observada uma oscilação do nível d'água de muito menor amplitude durante as épocas de cheia.

Ferreira et al. (2003) constataram, na Lapa do Brejal, a ocorrência de jazigo fossilífero associado a depósito clástico aluvionar estratificado o que evidencia o represamento cíclico da água do Rio Peruaçu. A assembléia subfóssil da Lapa do Carlúcio não apresenta estratigrafia deposicional o que dificulta a interpretação do registro e impede o uso de datações indiretas.

Os registros encontrados na Lapa do Carlúcio não caracterizam o transporte por enchentes sazonais. Ferreira et al. (2003) afirmam que caso as águas provenientes de enchentes invadissem periodicamente a caverna, certamente iriam interferir na dinâmica de fossilização dos materiais. Por outro lado destaca-se que a morfologia aplainada do vale à montante de Brejal demanda expressivo volume de água para se elevar o nível do rio à altura da entrada da Lapa do Carlúcio, o que não poderia ser alcançado por meras cheias estacionais.

Na Lapa do Carlúcio a grande parte dos subfósseis se encontra aderida ou encaixada em fraturas ou fissuras presentes na rocha ou espeleotemas. Tal condição provavelmente resultou do lento transporte dos restos quando do esvaziamento do lago que se formou no interior da caverna.

A grande maioria dos subfósseis associava-se às colunas ou situavam-se próximos à base desses espeleotemas. As colunas da Lapa do Carlúcio possuem muitas reentrâncias, sendo muitas delas revertidas por espeleotemas do tipo coralóide. Assim sendo, tais formações compreendem *armadilhas* capazes de capturar quaisquer materiais que porventura transpassem suas imediações. Por outro lado, a considerável quantidade de subfósseis, observada junto à base das

colunas e das paredes da cavidade, pode ser resultado da decantação de elementos que, ao encontrarem esses obstáculos, perderam seu equilíbrio estático.

As maiores aglomerações de subfósseis se situam em locais bem interiores na caverna, em áreas repletas de depósitos químicos. O carbonato presente na água de percolação atinge as peças de modos diferenciados, sendo o tipo de incrustação condicionado ao tipo de espeleotema ao qual o material se associa.

Os subfósseis encontrados no interior de represas de travertino apresentam altos níveis de incrustação, sendo sua superfície repleta de aglomerados de cristais, que dão à peça um aspecto rugoso. Tal morfologia resulta do crescimento dos cristais em uma condição de submersão, total ou parcial, na qual as águas carbonatadas não fluem em única direção.

A maioria das amostras que se apresentaram incrustadas apresentam superfícies lisas. Essas amostras encontravam-se associadas às bordas de represas de travertinos, colunas, estalagmites e escorrimentos. Nesses casos, a incrustação resultou do escorrimento (com certo fluxo) das águas de percolação por sobre as peças, levando a uma incrustação cujo aspecto final era liso.

A grande maioria das ocorrências de subfósseis na caverna compreendia conchas do molusco *Drymaeus* sp. (Bulimuloidea, Bulimulidae), o que pode refletir a grande abundância de organismos deste gênero no passado da área. À exceção de algumas poucas amostras, todas as conchas de *Drymaeus* e *Megalobulimus* encontradas apresentavam praticamente o mesmo tamanho, o que indica a ocorrência pretérita de um transporte seletivo, provavelmente de conchas já abandonadas pelos indivíduos adultos. Não foi possível delinear a causa da abundância de conchas na assembléia subfóssil encontrada na Lapa do Carlúcio, possivelmente parte delas já se encontravam nas imediações, na

entrada ou mesmo no interior da caverna e foram levadas para as porções mais internas da cavidade pelas enchentes.

A idade de 3.050 +/- 50 anos BP determinada para a concha F-02 representa sua idade máxima, enquanto a de 1.758,5 +/- 430,5 anos BP a idade mínima para a importação desse material. Da mesma forma, a idade de 9.380 +/- 40 anos BP da concha F-06 e de 8.108,5 +/- 49,0 anos BP da calcita associada definem as idades máxima e mínima do evento. Já a idade de 1.630 +/- 50 anos BP, encontrada para o tronco (F-03), representa melhor a idade do seu transporte, já que a assimilação de carbono pela árvore é restrita ao carbono atmosférico (novo) e por ser a decomposição do tronco em ambiente externo acelerada. Salienta-se que no tronco também pode ter ocorrido incorporação de carbono decaído devido ao contato do material com água repleta de bicarbonato de cálcio, o chamado *efeito da água dura*, entretanto, o nível de contaminação é consideravelmente menor que àquele das conchas.

As idades encontradas para as amostras aludem à ocorrência de dois ou três eventos de importação de materiais para a Lapa do Carlúcio. Dado o elevado nível de contaminação e conseqüente erro de estimativa da idade encontrada para a amostra de calcita da concha F-02, não foi possível afirmar, com certeza, se este subfóssil foi ou não transportado pelo mesmo evento que carrou o tronco F-03.

A constatação da ocorrência de no mínimo duas grandes enchentes do Rio Peruaçu difere do proposto por Ferreira et al. (2003). Esses autores afirmaram que todos os materiais foram depositados na Lapa do Carlúcio em um evento de importação isolado e único. Na ocasião não foram datados subfósseis que pudessem afirmar ou contradizer tal hipótese como agora é apresentado.

O Vale do Rio Peruaçu se insere em área de transição entre os biomas Cerrado e Caatinga, em que a precipitação dificilmente conseguiria alcançar níveis tão elevados que culminassem em inundações que pudessem alcançar o

interior da Lapa do Carlúcio sem que a ocorrência fosse registrada em estudos paleoclimáticos. Tais estudos indicam que as últimas grandes mudanças climáticas ocorreram no final do Pleistoceno e início do Holoceno. Por outro lado, é evidente a vulnerabilidade do Vale do Rio Peruaçu a processos de incasão.

Possivelmente mais de um evento culminou na configuração da atual entrada de montante da Lapa do Brejal e na abertura de sua clarabóia. É provável que a individualização do arco que ocorre na entrada da caverna, separando-a da clarabóia, seja testemunho de pelo menos dois eventos de abatimento do teto. Visto que os grandes clastos, gerados pelos abatimentos, são removidos de forma extremamente lenta, distintos colapsos sucedidos em seqüência espacial podem resultar na associação de cones de dejeção, o que potencializa a capacidade de retenção das águas.

A presença de um sabugo de milho encontrado no interior da Lapa do Carlúcio confirma o transporte de material desde o Vale do Rio Peruaçu, uma vez que apenas esta porção do relevo poderia ter sido, no passado, utilizada para agricultura dado à ocorrência de um ponto de água permanente (Rodet & Rodet, 2004). A presença de coquinho e carvões foi igualmente constatada no interior da Lapa do Carlúcio, mas não se pode afirmar a associação direta entre esses restos e as populações humanas que habitaram o vale no passado. Vale destacar, no entanto, que coquinho (*Syagrus oleracea*) e carvão foram constatados em sítios arqueológicos das Lapas do Boquete, da Hora e do Caboclo por Freitas (2001; 2004).

A ocorrência de milho no Vale do Peruaçu foi anteriormente observada nos sítios arqueológicos das Lapas do Boquete, da Hora e do Caboclo. Tais milhos se encontravam acondicionados em cestas denominadas *silos* e foram estudados por Freitas (2001). Coquinhos (*Syagrus oleracea*) e carvão foram também encontrados nos silos com maior abundância sendo, portanto, usados

pelo autor para a datação indireta por  $C^{14}$  do milho. A datação indireta do milho apresentou idades que variaram de 620 $\pm$ 60 anos a 990 $\pm$ 60 anos B.P. (Freitas, 2001) e idades entre 570 $\pm$ 60 anos e 1010 $\pm$ 80 B.P. (Freitas, 2004).

As idades encontradas para o transporte da assembléia subfóssil de Carlúcio superam em cerca de 640  $\pm$  110 anos BP as idades indiretas das amostras arqueológicas de milho encontradas por Freitas (2001) e em cerca de 620  $\pm$  130 anos BP as idades indiretas determinadas por Freitas (2004). Em vista da discrepância entre idades, infere-se que (i) ou a idade do milho encontrado na Lapa do Carlúcio é distinta daquelas definidas para os episódios de importação dos demais materiais, o que reflete na ocorrência de um terceiro ou quarto evento mais recente, (ii) ou a amostra do sabugo de milho verificado na Lapa do Carlúcio realmente apresenta idade superior àquelas encontradas por Freitas (2001; 2004) o que sugere uma ampliação da escala de tempo de cultivo do milho no Vale do Peruaçu. Baseado em achados arqueológicos de milho, Prous (1986), citado por Freitas (2001) acredita que este tenha sido cultivado em Minas Gerais pelo menos desde 4.500 anos B.P. Os espécimes de milhos mais antigos encontrados na região norte e nordeste de Minas Gerais foram constatados por Bird et al. (1991), citados por Freitas (2001) em horizontes cronológicos entre 4.000 e 1.000 anos B.P.

Por fim, vale ressaltar que a assembléia subfóssil da Lapa do Carlúcio consiste em um patrimônio paleontológico que apresenta grande valor enquanto testemunho paleoambiental. Apesar de se encontrar bem preservada, foram relatadas, por moradores locais, retirada de materiais por visitantes, sendo ainda possível identificar conchas com sinais de pisoteio. De modo a se resguardar a fragilidade da assembléia, o trânsito de pessoas deveria ser vetado, mesmo em se tratando de espeleólogos, nas áreas onde está a maior concentração de subfósseis da caverna. Salienta-se que impactos de quaisquer naturezas no jazigo são irreversíveis.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. Os Domínios morfoclimáticos na América do Sul. **Geomorfologia**, São Paulo, v. 52, p. 1-21, 1977.

ANJOS, A. **O rio S. Francisco**: o Vale do Rio S. Francisco será o celeiro do Brasil. Rio de Janeiro: F. Borgonovo, 1918. 62 p.

AULER, A. S. **Datação em conchas** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <belsmascarenhas@yahoo.com.br> em 22 fev. 2008.

AULER, A. S.; PILÓ, L. B.; SAADI, A. Ambientes Cársticos. In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E. de. **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: ABEQUA/Holos, 2005. p. 321-342.

AULER, A. S.; PILÓ, L. B.; SMART, P. L.; WANG, X.; HOFFMANN, D.; RICHARDS, D. A.; EDWARDS, R. L.; NEVES, W. A.; CHENG, H. U-series datind and tathonomy os Quaternary vertebrates from Brazilian Caves. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 204, p. 508-522, 2006.

BAPTISTA, M. C.; MORATO, L. Horizontes de mortandade de *Megalobulimus* sp. (Gastropoda) em cavernas. **Paleontologia em Destaque**, Porto Alegre, v. 44, 2003. Disponível em: <<http://www.sbpbrasil.org/boletim/boletins/boletim44.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2007.

CARTELLE, C. G. **Tempo passado**: mamíferos do Pleistoceno em Minas Gerais. Belo Horizonte: Palco, 1994. 132 p.

CARTELLE, C. G. **A fauna local de mamíferos Pleistocênicos da Toca da Boa Vista (Campo Formoso-BA)**. 1995. 131 f. Tese (Concurso de Professor Titular) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

CARTELLE, C. G.; ABUHID, V.; FERREIRA, M. A. C.; FERREIRA, R. L. Levantamento Paleontológico. In: INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS; COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **APA Carste de Lagoa Santa - MG**. Belo Horizonte, MG, 1998. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/gestao/apacarste/Patrimonio%20Espeleologico.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2007.

FERREIRA, R. L. Depósitos em cavernas: registros de vida passada. **Bios**, Belo Horizonte, v. 11, n. 11, p. 39-52, 2003.

FERREIRA, R. L.; SOUZA, M.; SANTANA, R.; SILVA, M. S. Bioepeleologia e paleontologia. In: IBAMA; FIAT AUTOMÓVEIS S/A; CSD-GEOKLOCK GEOLOGIA E ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA. **Plano de manejo do parque Nacional Cavernas do Peruaçu – MG**: relatórios de pesquisa das campanhas de avaliação ecológica rápida (AER). São Paulo, 2003. v. 5, cap. 4, p. 875-1026.

FREITAS, F. O. **Estudo genético-evolutivo de amostras modernas e arqueológicas de milho (*Zea mays*, L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.)**. 2001. 125 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

FREITAS, F. O. Uso de material arqueológico no estudo de evolução de plantas: estudo de caso: milho - *Zea mays* L. e mandioca - *Manihot esculenta* CRANTZ. **Revista de Arqueologia**, Curitiba, n. 17, p. 33-40, 2004.

GRUPO BAMBUÍ DE PESQUISAS ESPELEOLÓGICAS. Lapa do Carlúcio - MG 67. Topografia grau: 4C - BCRA, topografia 2003. In: IBAMA; FIAT AUTOMÓVEIS S/A; CSD-GEOKLOCK GEOLOGIA E ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA. **Plano de manejo do parque nacional Cavernas do Peruaçu – MG**: relatórios de pesquisa das campanhas de avaliação ecológica rápida (AER). São Paulo, 2003. v. 1, Anexo 3.2.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS; FIAT AUTOMÓVEIS S/A; CSD-GEOKLOCK GEOLOGIA E ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA. **Plano de manejo do parque nacional Cavernas do Peruaçu – MG**: relatórios de pesquisa das campanhas de avaliação ecológica rápida (AER). São Paulo, 2003. 7 v.

KARMANN, I.; PEREIRA, R. F.; PERRIN, J.; FERREIRA, T. D. A. Geologia, geomorfologia, hidrogeologia e recursos hídricos. In: IBAMA; FIAT AUTOMÓVEIS S/A; CSD-GEOKLOCK GEOLOGIA E ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA. **Plano de manejo do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu – MG**: relatórios de pesquisa das campanhas de avaliação ecológica rápida (AER). São Paulo, 2003. v. 1, cap. 3, p. 97-186.

KOHLER, H. C. Geomorfologia cárstica. In: TEIXEIRA, A. J. G.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 1995. p. 309-334.

LATHAM, A. G.; SCHWARCZ, H. P. Carbonate and sulphate precipitates. In: IVANOVICH, M.; HARMON, R. S. **Uranium series disequilibrium**: applications to earth, marine and environmental sciences. Oxford: Clarendon, 1992. p. 423-459.

MACHADO, D. M. C.; KOTZIAN, C. B. Moluscos. In: CARVALHO, I. S. (Ed.). **Paleontologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. v. 1, p. 609-637.

MOURA, M. T. T. **A evolução do sítio arqueológico Lapa do Boquete na Paisagem Cárstica do Vale do Rio Peruaçu**: Januária (MG). 1997. 208 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

PESSENDA, L. C. R.; GOUVEIA, S. E. M.; FREITAS, H. A.; RIBEIRO, A. S.; ARAVENA, R.; BENDASSOLLI, J. A.; LEDRU, M. P.; SIEFEDDINE, A. F.; SCHEEL-YBERT, R. Isótopos do carbono e suas aplicações em estudos paleoambientais. In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E. de. **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: ABEQUA/Holos, 2005. p. 75-93.

PILÓ, L. B. **Pesquisa peruaçu** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <belsmascarenhas@yahoo.com.br> em 11 mar. 2008.

PILÓ, L. B.; KOHLER, H. C. (Coord.). Do Vale do Peruaçu ao São Francisco: uma viagem ao interior da Terra, Januária – Itacarambi. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO (ABEQUA), 3., 1991, Belo Horizonte, MG. **Roteiro das excursões...** Belo Horizonte: UFMG, 1991. v. 2, p. 57-73.

PILÓ, L. B.; MOURA, V.; ALT, L.; CHABERT, C.; BOULLIER, N.; AULER, A. Dados topográficos, morfológicos e orgânicos evidenciam grandes inundações no cânion do Rio Peruaçu - Parque Nacional Cavernas do Peruaçu - MG. In: WORKSHOP - CADASTRO E MAPEAMENTO DE CAVERNAS, 1., 2005, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: Redespeleo Brasil, v. 1, p. 15.

PILÓ, L. B.; RUBBIOLI, E. Cavernas do Vale do Rio Peruaçu: obra-prima de Carste Brasileiro. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. L. C. (Eds.). **Sítios geológicos e**

**paleontológicos do Brasil.** Brasília, DF: DNPM/CPRM/SIGEP, 2003. p. 453-460.

RICHARDS, D.; DORALE, J. Uranium-series chronology and environmental applications of speleothems. **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**, v. 52, p. 407-450, 2003.

RODET, J.; MARIANO, D.; RODET, M. J.; POUCKET, A.; PILÓ, L. B.; WILLEMS, L. Evolução Cárstica do Vale do Rio Peruaçu (Minas Gerais): uma nova abordagem. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 12., 2003, Ouro Preto. **Resumo...** Ouro Preto: SBG-MG, 2003a. p. 97.

RODET, J.; RODET, J. Sítio a céu aberto: um aspecto pouco conhecido da arqueologia em contexto cárstico (sítio arqueológico Terra Brava, Vale do Peruaçu, Minas Gerais, Brasil). **O Carste**, Belo Horizonte, v. 16, n. 1, p. 2-12, 2004.

RODET, J.; RODET, M. J.; MARIANO, D.; NASCIMENTO, S. P.; HUGUET, Y. A Gruta do Janelão, elemento chave da evolução geomorfológica do Vale Cárstico do Rio Peruaçu (Januária - Itacarambi, Minas Gerais). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 27., 2003, Januária. **Resumo...** Januária: SBE, 2003b. CD-ROM.

RODET, J.; RODET, M. J.; MARIANO, D. F.; WILLEMS, L.; POUCKET, A.; PILÓ, L. B. Do Brejal ao Janelão, uma historia geomorfológica do Terra Brava. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ESTUDOS DO CARSTE, 1., 2004, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte, MG: Redespeleo Brasil, 2004. p. 23.

RODET, J.; RODET, M. J.; MARIANO, D. F.; WILLEMS, L.; POUCKET, A.; PILÓ, L. B. New approach of the karstic evolution of the canyon of the Peruaçu River (Januária-Itacarambi, Minas Gerais, Brazil). In: UIS CONGRESS, 14., 2005, Atenas/Kalamos, Grécia. **Anais...** Atenas, Kalamos: UIS, 2005. 1 CD-ROM.

RUBBIOLI, E. Cavernas do Peruaçu: tópicos abordados no levantamento espeleológico da área de proteção ambiental. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 11, n. 2, p. 34-37, 1999.

RUBBIOLI, E.; DAVID, H.; PILÓ, L. B.; MOURA, V.; ALT, L.; BARRIO, R.; VILAÇA, T. Espeleologia. In: IBAMA; FIAT AUTOMÓVEIS S/A; CSD-GEOKLOCK GEOLOGIA E ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA. **Plano de manejo do parque nacional cavernas do Peruaçu – MG:** relatórios de

pesquisa das campanhas de avaliação ecológica rápida (AER). São Paulo, 2003. v. 2, cap. 3, p. 265-286.

SERAFINI JUNIOR, S. Clima. In: IBAMA; FIAT AUTOMÓVEIS S/A; CSD-GEOKLOCK GEOLOGIA E ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA. **Plano de manejo do parque nacional Cavernas do Peruaçu – MG**: relatórios de pesquisa das campanhas de avaliação ecológica rápida (AER). São Paulo: 2003. v. 1, cap. 3, p. 42-96.

SHEN, C.; EDWARDS, R.; CHENG, H.; DORALE, J.; THOMAS, R.; MORAN, S.; WEINSTEIN, S.; EDMONDS, H. Uranium and thorium isotopic and concentrations measurements by magnetic sector inductively coupled plasma mass spectrometry. **Chemical Geology**, n. 185, p. 165-178, 2002.

SIMÕES, P. R. **Caracterização física de ambientes cársticos através de sensoriamento remoto e SIG**: o caso do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu - Januária/Itacarambi MG. 2007. 110 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SIMONE, L. R. L. **Land and freshwater molluscs of Brazil**: an illustrated inventory on the Brazilian Malacofauna, including neighbor regions of the South America, respect to the terrestrial and freshwater Ecosystems. São Paulo: Fapesp, 2006. 390 p.

## **CAPÍTULO II**

### **POSSIBILIDADES DE NOVOS BARRAMENTOS NO CÂNION DO RIO PERUAÇU E SEUS PROVÁVEIS IMPACTOS AMBIENTAIS**

## 1 INTRODUÇÃO

Presente na *história oral* contada por moradores da região do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, as elevações do nível do Rio Peruaçu têm sido abordada por diversos autores (Anjos, 1918; Rubbioli, 1999a; Ferreira et al., 2003; Rodet et al., 2003a;b; 2004; 2005; Rodet & Rodet, 2004; Piló et al., 2005).

Dois tipos de ocorrências alteram o nível do Rio Peruaçu. O primeiro tipo é consequência direta de grandes colapsos do teto e paredes do cânion cujos detritos barram blocos com densidade a drenagem resultando na ampla elevação do nível do rio em direção à montante. Esses fenômenos ocorrem de forma eventual e consistem do objeto deste estudo. O segundo tipo deriva da dificuldade (e não impedimento) da passagem do fluxo do rio por certos trechos. Tal dificuldade pode decorrer de processos de incisão ou ainda ser devido ao encaixe e estreitamento do vale em alguns pontos. Neste tipo a oscilação do nível d'água ocorre de forma periódica e apresenta uma amplitude consideravelmente menor que a do primeiro (ver capítulo I).

Alguns colapsos observados ao longo do cânion marcam a evolução morfogenética recente do sistema cárstico do Rio Peruaçu. Alterações e descompressões com conseqüentes abatimentos sucessivos ao longo do canal resultam do aprofundamento pretérito do nível de base do Rio Peruaçu. O processo culminou na exposição dos condutos subterrâneos e na abertura do vale cárstico que hoje configura um cânion de abatimento de 17 quilômetros de comprimento com drenagem superficial segmentada pela ocorrência de amplas cavernas e arcos (Piló & Kohler, 1991; Piló, 1997a; Karmann et al., 2003).

Em diversos pontos desse cânion ocorrem brechas de colapso, decorrentes de abatimentos. Tais depósitos, constituídos essencialmente por fragmentos angulosos de calcário e couraça laterítica, ocorrem sob clarabóias e

junto às entradas de cavidades situadas no vale cárstico (Karmann et al., 2003). A ocorrência de brechas de colapso por vezes oculta todo o curso do Rio Peruaçu com destaque para os sifonamentos da Lapa do Brejal, da Sexta Água e do Arco do André.

A partir do inventário, topografia e datação de subfósseis encontrados na Lapa do Carlúcio, constatou-se a ocorrência de pelo menos duas grandes enchentes holocênicas no curso do Rio Peruaçu (ver capítulo I). Foram registradas, naquela caverna, um total de 1.479 ocorrências de subfósseis associados às alturas de até 19,6 metros acima do atual nível do Rio Peruaçu. Tais registros são surpreendentes, tendo em vista o fato de que seu transporte somente poderia ter sido realizado mediante uma expressiva elevação do rio que, por sua vez, demandaria um enorme volume de água capaz de inundar todo o amplo vale presente no trecho em que essa caverna se insere. Aparentemente, os possíveis agentes dos eventos de inundações que atingiram a Lapa do Carlúcio foram os processos de incasão ocorridos na Lapa do Brejal. A projeção de uma enchente no relevo atual à montante da Lapa do Brejal, que alcançasse cota de no mínimo 19,6 metros acima do nível atual do rio, atingiria uma área de cerca de 230,8 hectares.

Colapsos são comuns em áreas cársticas e recorrentes no Vale do Rio Peruaçu. Esta propensão natural a abatimentos tem sido ultimamente agravada pela ocorrência de tremores de terra na região.

Frente à constatação de enchentes pretéritas ao longo do Rio Peruaçu e à possibilidade de novos eventos de abatimentos no vale cárstico, o presente estudo objetivou compreender as conseqüências ecológicas e ambientais da ocorrência de novos barramentos naturais no Vale do Rio Peruaçu. Especificamente pretendeu-se (i) prever possibilidades de novos barramentos; (ii) estimar a perda de áreas naturais e antropizadas decorrentes de inundações com o alcance de no mínimo de 19,6 metros acima do Rio Peruaçu, conforme

constatado para a Lapa do Carlúcio; (iii) prever impactos sob áreas naturais e antropizadas decorrentes das enchentes naturais.

Estudos referentes à paleoecologia e paleoambiente do Quaternário continuamente fornecem informações essenciais para análises contemporâneas acerca de ecossistemas e problemas ambientais (Huntley, 1996). Por abranger amplas escalas de tempo, a investigação paleoambiental contribui para o entendimento de numerosas questões que transcendem a observação ou experimentação científica. Neste sentido, o estudo e reconstituição paleoambiental gera subsídios à previsão de possíveis alterações futuras (Carvalho, 2004).

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo conforma o médio curso do Rio Peruaçu, denominado vale cárstico e se situa no Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, unidade de conservação estabelecida em 1999, que se localiza nos municípios de Januária, Itacarambi e São João das Missões, porção norte do estado de Minas Gerais.

A área se localiza em ambiente transicional entre os domínios morfoclimáticos do cerrado e caatinga (Ab'Saber, 1977). Segundo a classificação de Köppen, o clima é tropical com estação seca (Aw), ou clima tropical quente conforme a categorização de Gaussen. Ocorrem duas estações bem definidas com temperatura média anual de 24°C e precipitação média anual de 876,7 mm (Moura, 1997; Serafini Junior, 2003).

Na região do Vale do Rio Peruaçu ocorrem rochas granodioríticas e granito-gnáissicas Pré-Cambrianas sobre as quais repousam seqüências

carbonáticas Neoproterozóicas do Grupo Bambuí. Devido a um hiato erosivo, diretamente sobre o Grupo Bambuí assentam rochas siliciclásticas de idade Cretácea da Formação Urucuia. Recobrando essas unidades ocorrem ainda coberturas Cenozóicas indiferenciadas (Lopes, 1981; Campos et al., 1991; Karmann et al., 2003; Simões, 2007).

Segundo Piló (1997a), a vegetação do Vale do Peruaçu é caracterizada por elementos da caatinga nos afloramentos calcários ou terrenos litólicos e por três formações florestais: (i) a perenifólia representada pela mata ciliar do Rio Peruaçu e encontrada em locais de permanente umidade; (ii) a subcaducifólia ou mata-seca observada em manchas nas áreas mais elevadas do planalto e que apresenta elementos da caatinga arbórea e do cerrado; e (iii) a mata caducifólia que caracteriza a Depressão Sanfranciscana. Vianna & Amado (2003) acreditam que seis formações configuram a cobertura vegetal da região, sendo elas as formações florestais, rupestres, savânica, savânica-estépica, de comunidades aluviais e de ambientes antropizados.

O médio curso do Rio Peruaçu se insere no Planalto Cárstico do São Francisco, entre as altitudes de 500 a 750 metros e é marcado pela morfologia tipicamente cárstica. Ao longo do Vale do Rio Peruaçu se desenvolveu o principal sistema de cavernas do Parque Nacional. Um cânion de abatimento de 17 Km abriga a calha principal dessa drenagem que se apresenta segmentada em seis pontos pela ocorrência de arcos e cavernas de dissolução e de abatimento, integrantes do ambiente de circulação subterrânea (Piló, 1989; 1997b; Piló & Kohler, 1991; Piló & Rubbioli, 2003).

A Lapa do Brejal representa o primeiro segmento subterrâneo do Rio Peruaçu. Situada nas coordenadas UTM 579.638m e 8.332.210m, a cavidade apresenta 1.420 metros de desenvolvimento, largura variando entre 20 e 60 metros e altura média de 30 metros. Sua entrada à montante consta de um arco, com 100 metros de altura e 30 de largura, que se prolonga por 100 metros até

uma grande clarabóia. Desde a montante da entrada o leito do Rio Peruaçu é sifonado por um cone de dejeção com cerca de 50 metros de espessura, testemunho do processo de incasão do teto e paredes da cavidade. Após 200 metros o Rio Peruaçu ressurgiu imediatamente depois da clarabóia contígua ao arco da entrada (Rubbioli, 1999a).

À montante da Lapa do Brejal o Rio Peruaçu corre em área de vale aberto e com fundo colmatado limitado por vertentes inclinadas constituídas por depósitos originados do recuo da escarpa do cânion. Já à jusante da Lapa do Brejal ocorre um vale encaixado onde o cânion se estreita, apresentando cerca de 50 m de largura e é limitado por paredões abruptos, de 150 metros de profundidade, situados bem próximos do leito do rio (Piló & Kohler, 1991; Piló, 1997a).

O segundo trecho subterrâneo da calha principal do Rio Peruaçu consta do sistema constituído pela Gruta da Sexta Água e as seguintes galerias fósseis deste rio: Gruta da Onça e Túnel do Vento. A Gruta da Sexta Água apresenta 300 metros de desenvolvimento e 41 metros de desnível e corresponde ao segundo grande sifão do Rio Peruaçu (Redespeleo Brasil, 2008).

Com extensão de pouco mais de 100 metros o Arco do André representa a terceira caverna na calha do Peruaçu e se situa nas coordenadas UTM 582.193 e 8.331.071. Seu arco atinge 100 metros de altura e 55 metros de largura sendo uma das mais amplas galerias encontradas ao longo do vale. A exemplo dos sifonamentos das Lapas do Brejal e da Sexta Água, o Rio Peruaçu some poucos metros à montante do Arco do André diante de um compacto abatimento, vindo a ressurgir apenas na Lapa dos Cascudos, a mais de 400 metros à jusante (Rubbioli, 1999b).

O quarto e quinto trecho subterrâneo do Rio Peruaçu compreende as Lapas dos Cascudos e dos Troncos com, respectivamente, 220 e 180 metros de desenvolvimento. Suas galerias de dimensões modestas, com 30 metros de

largura por 15 metros de altura, sugerem desvios no leito original do Rio Peruaçu. Entre as Lapas dos Cascudos e dos Troncos o Rio Peruaçu corre superficialmente por cerca de 150 metros (Rubbioli, 1999b).

Após deixar a Lapas dos Troncos o Rio Peruaçu corre superficial por quase dois quilômetros até a Gruta do Janelão, seu sexto e último trecho subterrâneo. A Gruta do Janelão se localiza nas coordenadas UTM 581.581 e 8.328.773 e representa uma das maiores cavernas do país, tanto em extensão, com 4.740 metros de projeção, como em desnível, com 176 metros de altura. O rio adentra na caverna por uma galeria estreita que logo adquire grandes dimensões, com 100 metros de altura e largura variando entre 50 a mais de 100 metros. A caverna pode ser dividida em duas porções sendo a primeira parte iluminada pela ocorrência de três amplas clarabóias e o trecho de jusante que corresponde a uma zona afótica. O Rio Peruaçu percorre toda a extensão da galeria principal da caverna. A figura 01 localiza as cavernas inseridas no vale cárstico do Rio Peruaçu e no entorno.

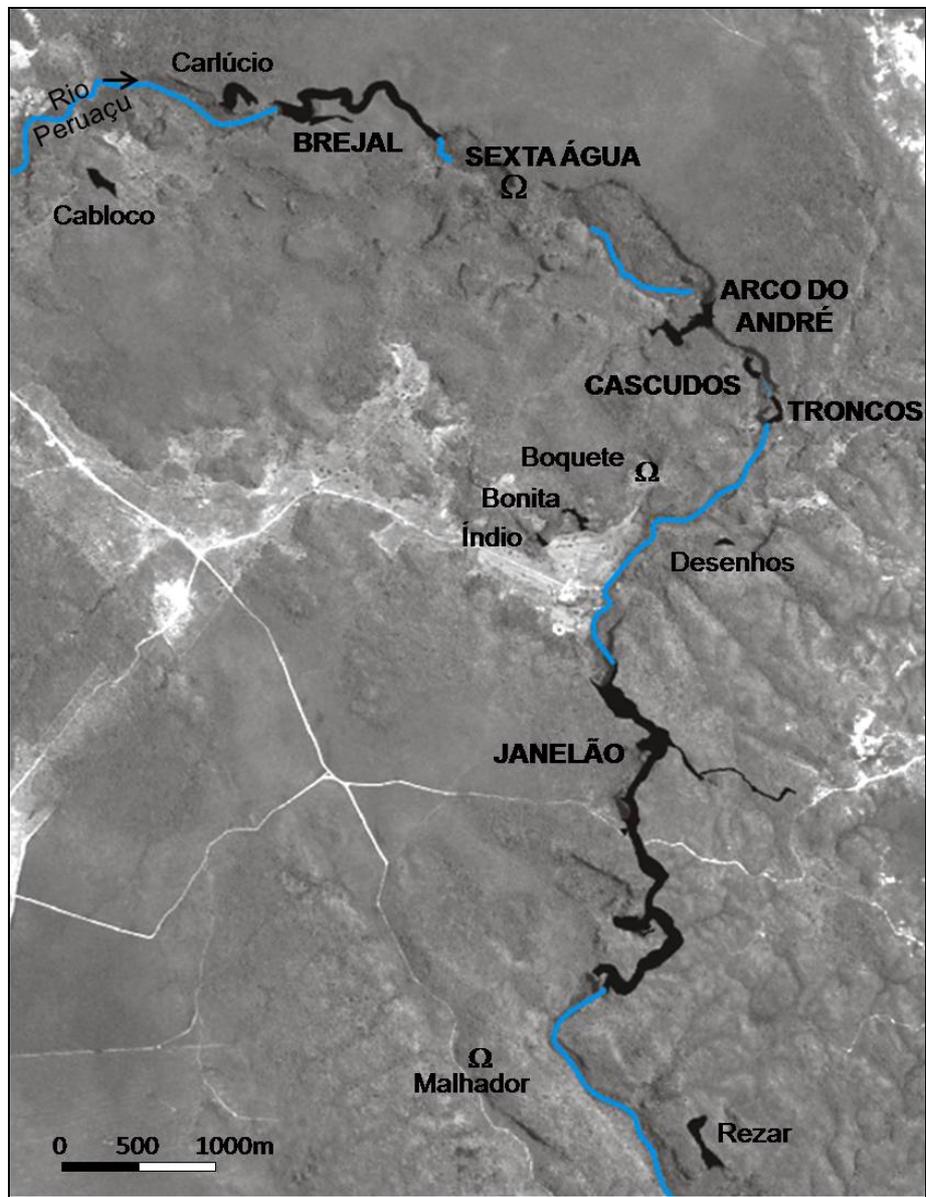


FIGURA 01 Cavernas situadas no Cânion do Rio Peruaçu e nas áreas adjacentes (Modificado de Rubbioli et al., 2003).

## 2.2 MÉTODOS

Áreas potenciais à ocorrência de novos processos de abatimento, com conseqüente barramento do rio em direção à montante, foram definidas a partir da análise da estrutura atual do cânion e da morfologia dos seis segmentos subterrâneos do rio Peruaçu.

Após a definição dos locais potenciais à ocorrência de futuros barramentos, foram projetados reservatórios usando as bases digitais do Rio Peruaçu e das curvas de nível com equidistância de 10 metros da área a partir de Simões (2007). Para a elaboração de tais bases, esse autor utilizou as ortofotocartas da Ruralminas (1990), citado por Simões (2007) de números 217803, 217805, 217813, 217814, 217815, 217824, 217825, 217835, em escala de 1:10.000, com resolução espacial 1.3 metros e curvas de nível com 10 metros de equidistância.

De modo a balizar a projeção de enchentes no modelado atual, foi utilizada a cota de 19,6 metros acima do Rio Peruaçu retirada das observações dos registros fósseis e sub-fósseis presentes na Lapa do Carlúcio (ver Capítulo I). Uma vez que não foi possível plotar a cota de 19,6 metros, em função da disponibilidade de apenas curvas de nível de 10 metros de equidistância, foi feita uma aproximação sendo, portanto, utilizada para a projeção dos reservatórios, a cota de 20 metros acima do Rio Peruaçu.

Bases cartográficas relativas à fitogeografia, ao uso do solo e à infraestrutura da unidade de conservação foram sobrepostas às projeções dos barramentos. Tais bases cartográficas foram elaboradas durante a execução do plano de manejo do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (Ibama et al., 2003). Essas bases foram produzidas com informações sensoriais de duas imagens Landsat ETM+ da WRS WRS (Worldwide Reference System) 219/70, dos períodos de seca e chuva, e uma imagem SPOT-5, sendo ainda realizada a checagem de campo (Ibama et al., 2003).

Os aplicativos de software utilizados foram ArcMap 9.1, GPS TrackMaker PRO, GPS TrackMaker e MapInfo 6.5. O cálculo de cada tipologia, uso e infraestrutura afetada, bem como a elaboração dos mapas finais foram realizados no programa MapInfo 6.5.

### **3 RESULTADOS**

#### **3.1 ÁREAS POTENCIAIS À OCORRÊNCIA DE ABATIMENTOS**

Em nenhum outro sistema morfogênético os colapsos de rocha são tão significantes como no carste. Processos de dissolução, corrosão ou transporte reestruturam continuamente a morfologia superficial e subterrânea do sistema alterando as condições de equilíbrio. A resistência mecânica define a capacidade de suportar esforços externos sem que haja o colapso que ocorre de modo a restabelecer o estado de equilíbrio modificado. Quanto maior a dimensão de um vazio, maior a resistência mecânica requerida para sustentá-lo (Jennings, 1985; Oliveira & Brito, 1998).

Dentre as áreas representadas pelas cavernas situadas na calha do Rio Peruaçu, três delas apresentam maior relevância quanto às suas dimensões. De montante para jusante, a primeira delas compreende a Lapa do Brejal, a segunda consta do Arco do André e a terceira corresponde à Gruta do Janelão. Corroborando com o exposto, infere-se que tais cavernas são as mais propícias à ocorrência de grandes abatimentos.

#### **3.2 INUNDAÇÃO COM BARRAMENTO NA LAPA DO BREJAL**

No caso de ocorrência de um barramento na Lapa do Brejal que alcançasse a altura de 20 metros, conforme verificado anteriormente, a área total

inundada seria correspondente a 230,8 hectares. Desta área 64,9% seriam de vegetação primária (149,7 ha), 22,1% de área antropizada (50,9 ha) e 13,1% de vegetação secundária (30,2 ha) conforme mostra a figura 02.

A análise da área atingida por um suposto barramento na Lapa do Brejal, segundo os dados de fitogeografia (Ibama et al., 2003) indica que a maior perda seria relativa à formação Savana Arborizada Fechada, que domina 39,1% da área (o correspondente a 90,24ha). Essa formação é encontrada ao longo do curso do Rio Peruaçu. A segunda tipologia mais afetada seria o ambiente antropizado, que domina 23,1% da área (53,2 ha).

A formação Floresta Estacional seria amplamente afetada pelo possível barramento do Rio Peruaçu na porção à montante da Lapa do Brejal. Sua tipologia decidual, associada aos afloramentos de rochas carbonáticas, ocorre em 14,2% da área (32,71ha), enquanto sua vegetação secundária domina 12 % da área alagada (27,79 ha).

Em 25,49 hectares (11% da área atingida) domina a Comunidade Aluvial Arbórea. Essa formação ocorre em áreas de inundações periódicas, observadas ao longo do Rio Peruaçu. A tipologia menos atingida seria a Vegetação Secundária de Savana que corresponde a 0,6% da área (1,37 ha). A figura 03 mostra a projeção desse barramento sobre os domínios florísticos locais.

Quanto à infra-estrutura atingida pelo suposto barramento da porção à montante da lapa do Brejal destaca-se que, aproximadamente, 698 metros da estrada vicinal que liga Fabião I à Várzea Grande, principal via da área do parque, seriam alagados pelo barramento. Igualmente inundada seria a estrada secundária que dá acesso à sede rural onde será instalado o Centro Apoio à Pesquisa (CAP) Zé da Hora e o Centro Apoio aos Visitantes (CAV) Silú e às diversas cavernas do circuito turístico em 354 metros de seu trecho final. Todo o CAP Zé da Hora e CAV Silú seriam igualmente atingidos. As trilhas de acesso à

Lapas do Cabloco, Cavalos e Carlúcio e demais estruturas de apoio aos visitantes que integram um roteiro de visitação do parque ainda não foram demarcadas, mas certamente seriam pelo menos em parte inundadas. A figura 08 mostra as infra-estruturas afetadas.

### **3.3 INUNDAÇÃO COM BARRAMENTO NO ARCO DO ANDRÉ**

Uma possível inunda o que atingisse a altura de 20 metros com barramento no Arco do André iria suprimir apenas vegeta o primária, correspondente a 11,75 ha como ilustra a figura 04. A análise fitogeográfica demonstra que a inunda o, nesse ponto do rio, iria atingir principalmente duas forma es, a Comunidade Aluvial Arbórea que ocupa 5,63 ha (47,9% da área) e a Floresta Estacional Decidual que domina 5,21ha (44,3% do total). Por fim, seria atingido 0,91ha de Savana Arborizada Fechada que representa 7,7% da área inundada. As forma es fitogeográficas atingidas são mostradas na figura 05. Nenhuma infra-estrutura seria atingida por esse barramento como pode ser observado na figura 08.

### **3.4 INUNDAÇÃO COM BARRAMENTO NA GRUTA DO JANELÃO**

Na hipótese de um barramento na Gruta do Janelão que atingisse 20 metros acima do nível atual do Rio Peruaçu, seriam inundados cerca de 28,67 hectares. A vegeta o primária que domina o entorno do Rio Peruaçu, seria a mais atingida, representando 51,9% da área alagada (14,89ha). A  rea antropizada seria a segunda maior tipologia afetada, correspondendo a 36,8% do total (10,56ha). A vegeta o secundária que compreende as áreas degradadas da Fazenda Terra Brava em regenera o seria inundada em 3,22 hectares (11,2% da área atingida) A figura 06 retrata o uso do solo atingido. Acredita-se, ainda, que a Lapa dos Troncos seria atingida pelo barramento bem como todo o curso

superficial do Rio Peruaçu situado à montante desta caverna e à jusante da Lapa dos Cascudos.

Quanto à classificação fitogeográfica, destaca-se que 10,5ha de área antropizada, referente à Fazenda Terra Brava, seriam atingidos, o que representa 36,6% da área de inundação. A formação vegetal mais afetada seria a Comunidade Aluvial Arbórea, que domina a faixa de preservação permanente adjacente ao curso do Rio Peruaçu, com 9,41 hectares inundados (o equivalente a 32,8% do total).

Dois tipos florestais seriam afetados. A Floresta Estacional Decidual ocupa 4,54 hectares (ou 15,8% da área inundada), estando situada na escarpa oriental do cânion associada aos afloramentos de rochas carbonáticas. Já a Vegetação Secundária de Floresta Estacional que corresponde à área em regeneração da Fazenda Terra Brava ocorre em 3,23 hectares (ou 11,3% do total inundado). As formações de cerrado seriam menos afetadas por ocuparem áreas mais restritas. De todas, a tipologia Savana Arborizada Fechada seria perdida em 0,85 hectares (ou 3,0% do total), enquanto a Savana Arborizada Aberta seria atingida em apenas 0,14 hectares (ou 0,5% da área). A figura 07 mostra a projeção do barramento com eixo na Gruta do Janelão e as tipologias fitogeográficas afetadas pela consequente inundação.

Quanto à infra-estrutura atingida à montante da Gruta do Janelão, destaca-se que a antiga sede da Fazenda Terra Brava, destinada ao Centro de Apoio aos Visitantes (CAV) Janelão, seria inundada. Seriam perdidos 626,6 metros da estrada secundária de acesso ao CAV Janelão. A figura 08 ilustra as possibilidades de barramento e a infra-estrutura atingida.

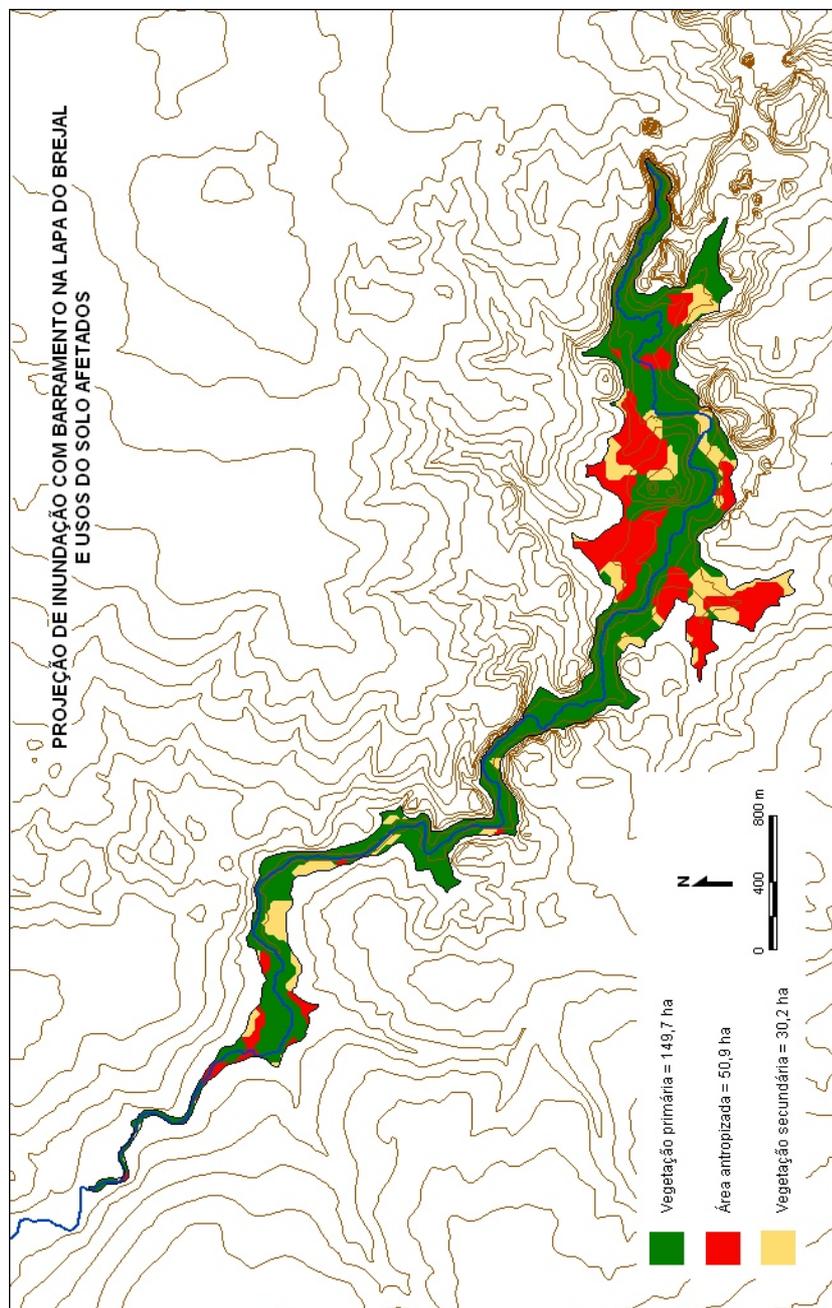


FIGURA 02 Barramento do Rio Peruau com eixo na Lapa do Brejal e usos do solo atingidos pela subida do nível d'água em 20 metros.

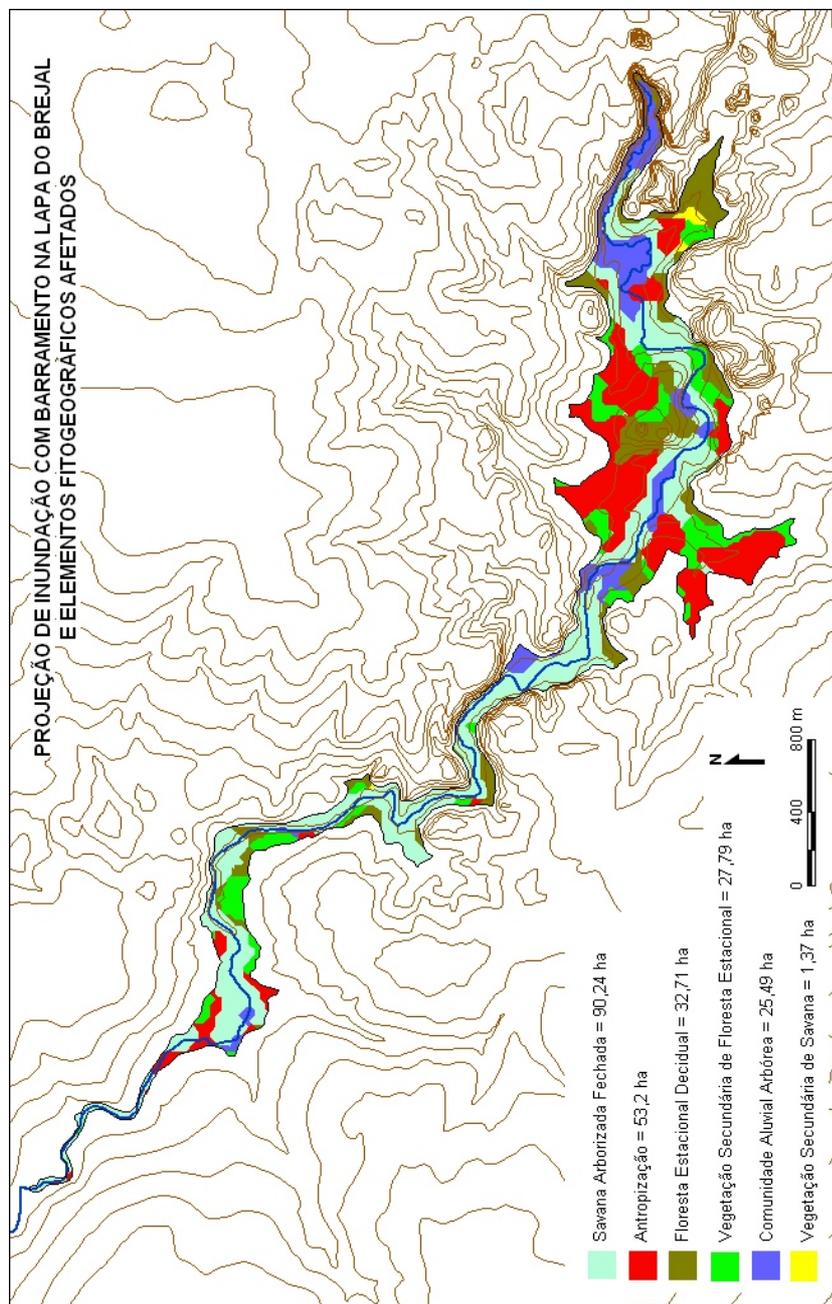


FIGURA 03 Barramento do Rio Peruauçu com eixo na Lapa do Brejal e formações fitogeográficas atingidas pela subida do nível d'água em 20 metros.

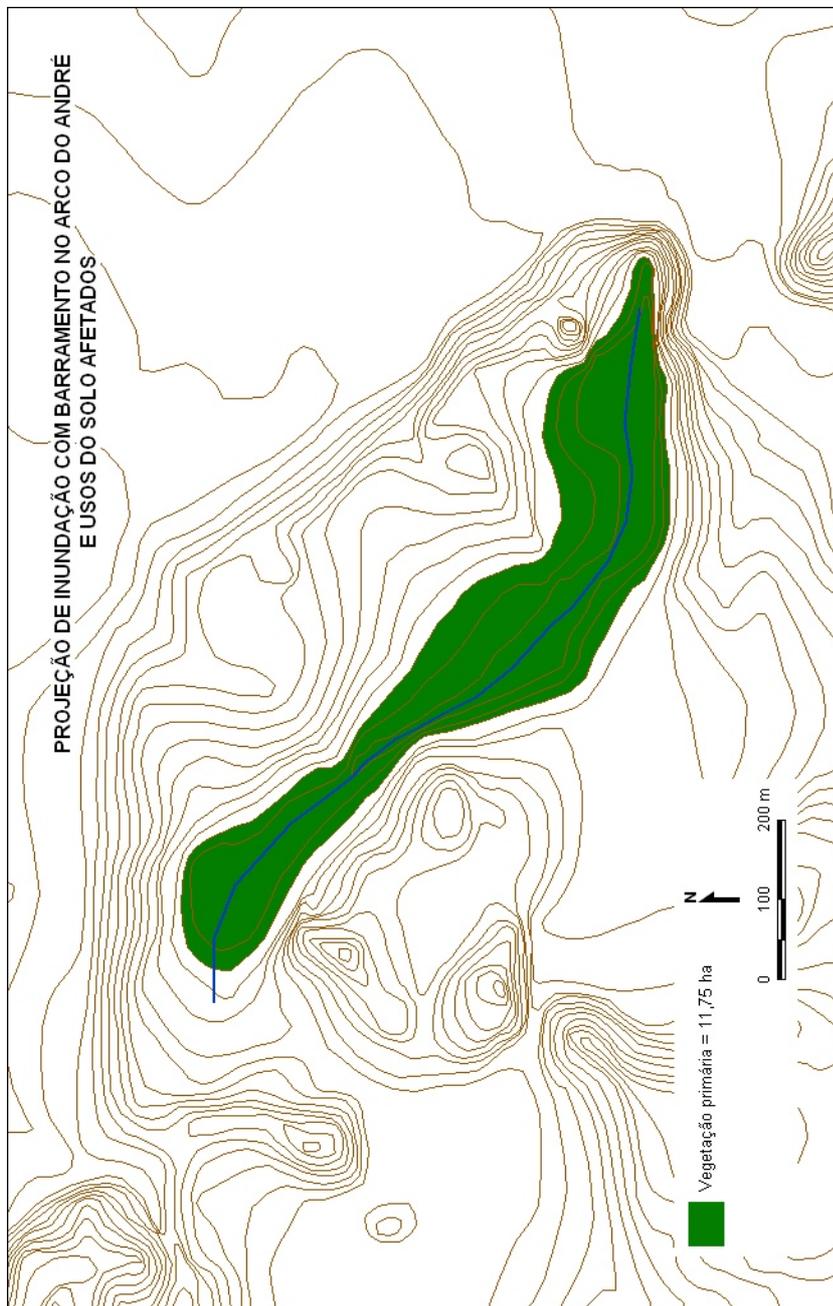


FIGURA 04 Barramento do Rio Peruacu com eixo no Arco do André e usos do solo atingidos pela subida do nível d'água em 20 metros.

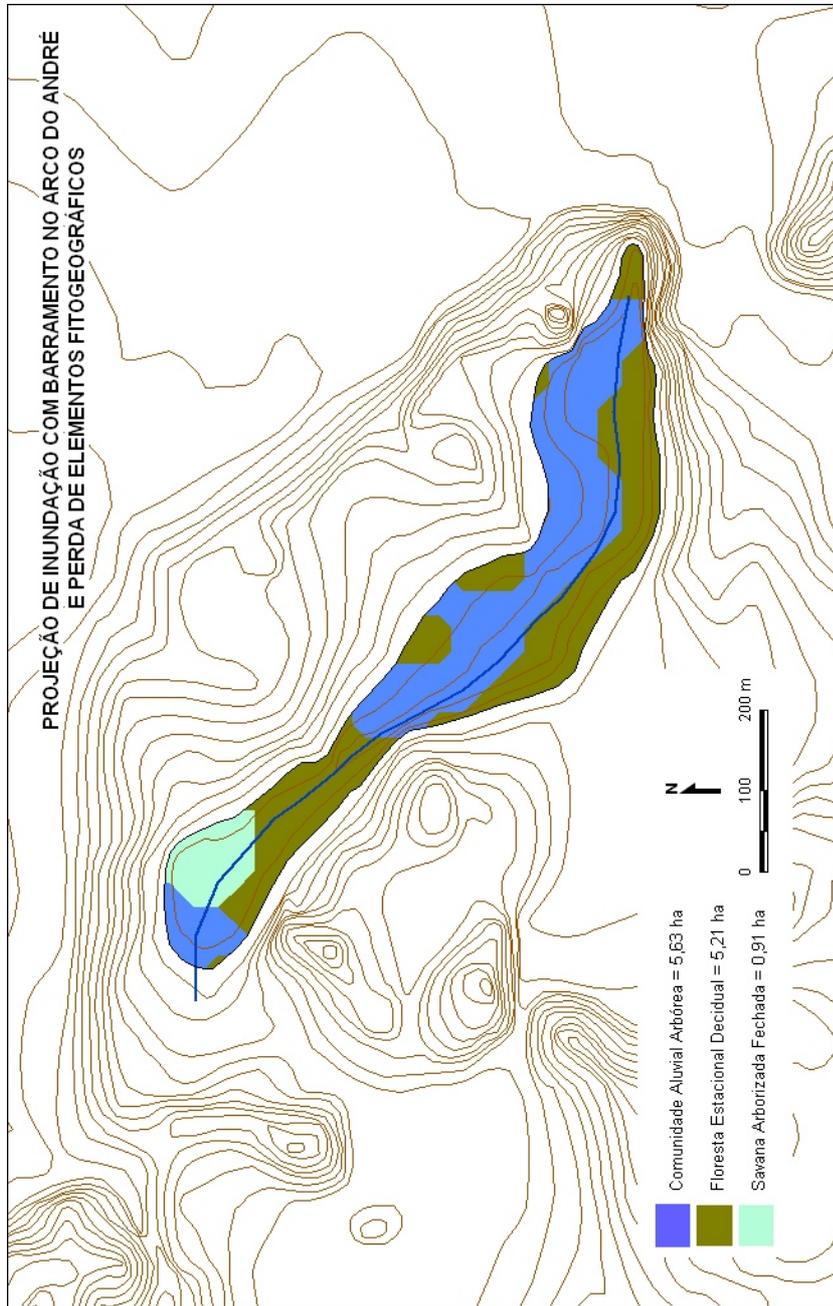


FIGURA 05 Barramento do Rio Peruauçu com eixo no Arco do André e formações fitogeográficas atingidas pela subida do nível d'água em 20 metros.

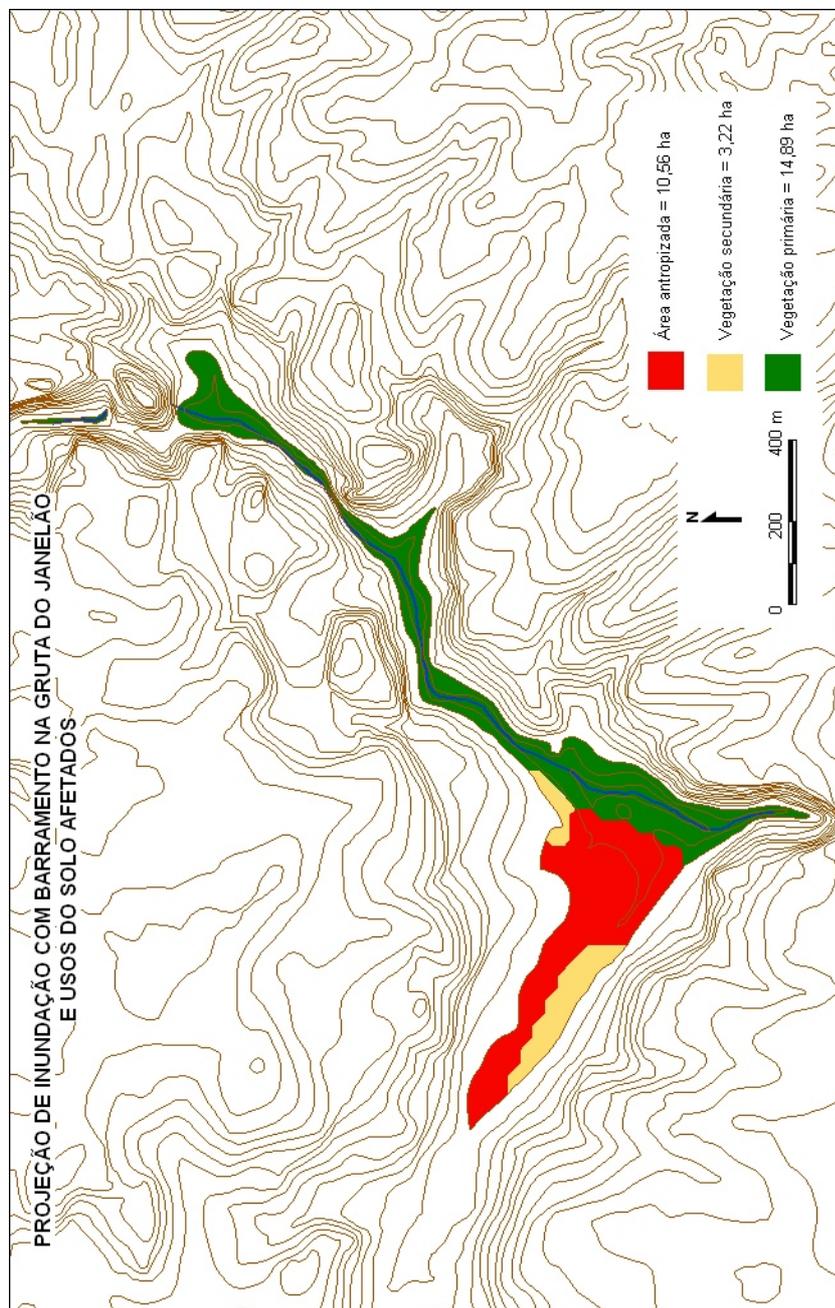


FIGURA 06 Barramento do Rio Peruaçu com eixo na Gruta do Janelão e usos do solo atingidos pela subida do nível d'água em 20 metros.

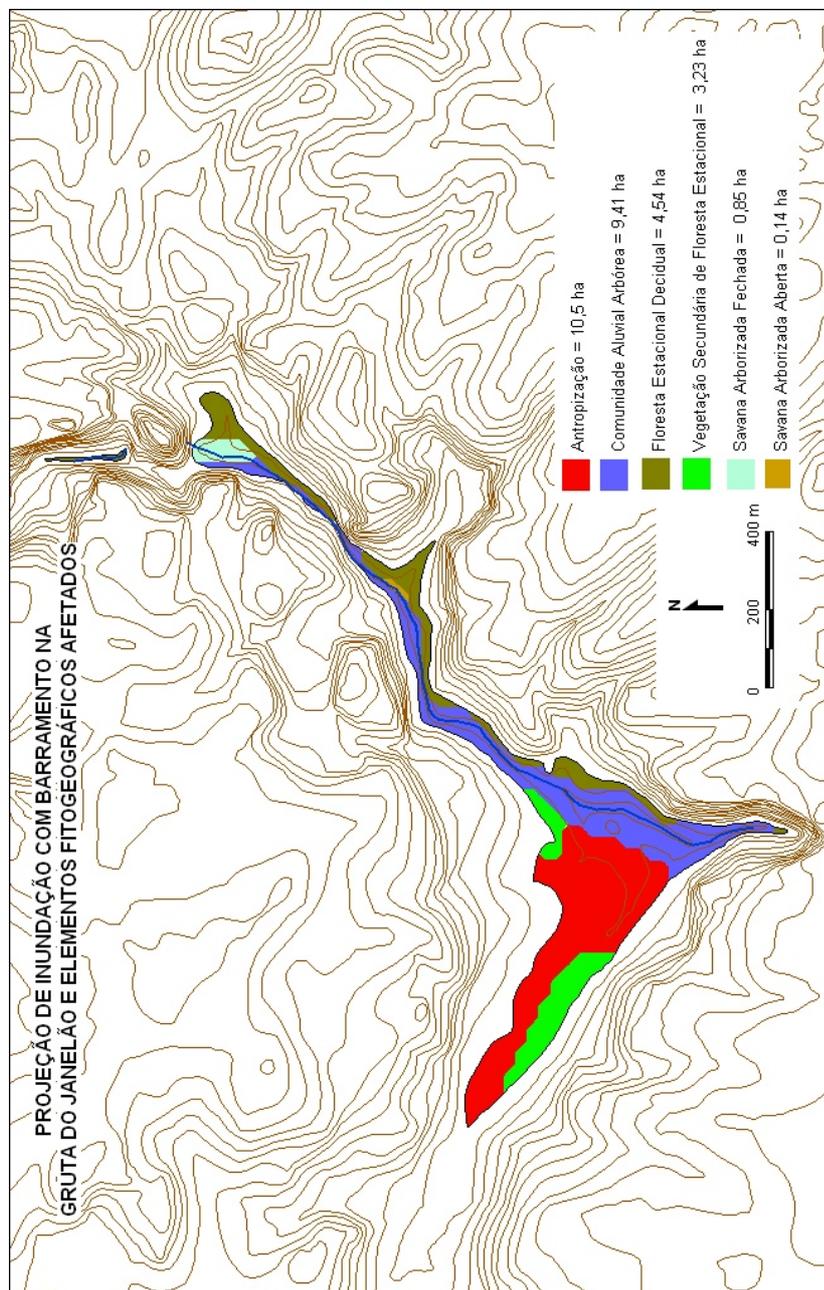


FIGURA 07 Barramento do Rio Peruacu com eixo na Gruta do Janelão e formações fitogeográficas atingidas pela subida do nível d'água em 20 metros.

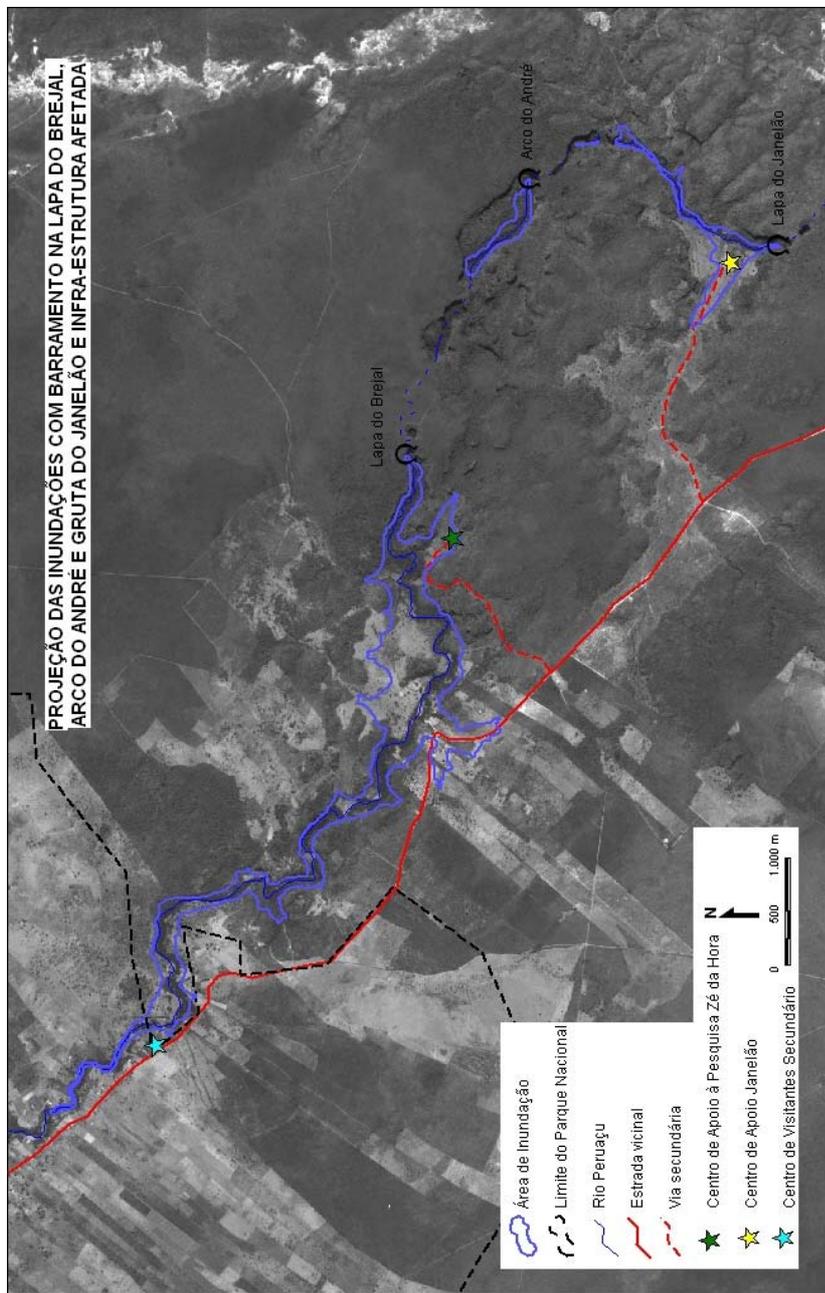


FIGURA 08 Barramento do Rio Peruaçu com eixo nas Lapas do Brejal, Arco do André e Janelão e infraestrutura atingida pela subida do nível d'água em 20 metros.

## 4 DISCUSSÃO

A morfologia do Cânion do Rio Peruaçu é resultado de uma sucessão de fases de entalhamento vertical provocadas por variações no nível de base. Em conseqüência ocorre o ajuste mecânico ao novo perfil de equilíbrio através de movimentação de blocos e de colapsos (Bögli, 1980). Ao longo do canal do Rio Peruaçu são comuns grandes áreas de abatimentos, que testemunham a evolução recente do sistema cárstico, com destaque para os sifonamentos das Lapas do Brejal, da Sexta Água e do Arco do André.

Karmann et al. (2003) acreditam no aprofundamento do nível de base do Rio Peruaçu como principal desencadeador desses grandes abatimentos ao longo do vale cárstico. Rodet et al. (2003a; 2005) afirmam que esses colapsos são conseqüentes do rebaixamento regional do nível de base do Rio São Francisco em 50 metros.

O médio curso do Rio Peruaçu apresenta direção geral NW/SE o que sugere um controle estrutural que Piló (1997a) afirma ser conseqüência do direcionamento de fraturas e falhas resultantes de esforços tectônicos do Ciclo Brasileiro. Simões (2007), ao mapear os lineamentos da região do Peruaçu, também descreve a direção NW/SE como um dos *trends* preferenciais e assinala ser todo o trecho médio do Rio Peruaçu controlado por lineamentos. Pelo fato dos colapsos incidirem preferencialmente em linhas de maior fraqueza acredita-se que todos os trechos subterrâneos do Rio Peruaçu estão susceptíveis em maior ou menor grau à ocorrência de abatimentos.

Uma vez que a resistência mecânica permite a sustentação de grandes vazios no interior das cavidades naturais, quanto maior a amplitude de uma caverna maior será a resistência mecânica requerida para sustentá-la. Neste sentido, observa-se que as Lapas do Brejal, Arco do André e do Janelão são as

mais propícias à ocorrência de grandes abatimentos por apresentarem grandes dimensões. Merecem destaque os arcos de 100 metros de altura das Lapas do Brejal e Arco do André, cujas estruturas apresentam-se instáveis, podendo vir a sofrer colapsos abruptos.

As Grutas da Sexta Água, dos Cascudos e dos Troncos apresentam dimensões modestas frente às demais cavernas do Cânion do Rio Peruaçu. O menor entalhamento da calha principal sugere que essas cavidades representam desvios no leito original do Rio Peruaçu. Em função da menor amplitude, esses trechos foram descartados como mais favoráveis à ocorrência de grandes colapsos.

Inundações de grande alcance resultantes do desmoronamento da rede subterrânea e conseqüente barramento do Rio Peruaçu foram descritas por diversos estudos referentes a diferentes pontos do cânion. Nas áreas à montante das Lapas do Brejal, Arco do André e Janelão autores diversos apontaram a ocorrência de enchentes baseados em evidências morfológicas, topográficas e orgânicas.

Para a área a montante de Brejal, a ocorrência de inundações foi descrita por Ferreira et al. (2003) a partir do amplo registro fóssil localizado na Lapa do Carlúcio. O presente estudo constatou a ocorrência de duas ou três grandes enchentes à montante da Lapa do Brejal, através de idades encontradas para um tronco, com 1.630 +/- 50BP, e para duas conchas, cujas idades determinadas foram de, no mínimo, 1.758,5 +/- 430,5 anos BP e no máximo 3.050 +/- 50 anos BP para a primeira e de, no mínimo, 8.108,5 +/- 49,0 anos BP e, no máximo, 9.380 +/- 40 anos BP para a segunda.

A ocorrência de uma ou mais inundações à montante do Arco do André que atingiram a Lapa do Brejal foi evidenciada por Rubbioli (1999a) e Piló et al. (2005). Rubbioli (1999a) descreveu a ocorrência de marcas de enchentes e de troncos situados a mais de 30 metros acima do atual leito do Rio Peruaçu na

Lapa do Brejal e no Arco do André. Da mesma forma Piló et al. (2005) encontraram, no Arco do André, uma marca d'água a 41,5 metros acima do nível do Rio Peruaçu e troncos e galhos de árvores à altura de 40,1 metros acima do rio. Os mesmos autores encontraram troncos situados a 28,06 metros acima da drenagem na Lapa do Brejal. O tronco encontrado pelo estudo na Lapa do Brejal foi datado em  $580\pm 80$  anos BP (Piló, 2008).

Já na área do Vale do Peruaçu à montante da Gruta do Janelão, Rodet et al. (2003a; 2005) defendem a ocorrência de um barramento da drenagem conseqüente do abatimento da Dolina dos Macacos, como responsável pelo desenvolvimento de um *polje* na área da Fazenda Terra Brava, à margem direita do Rio Peruaçu. Além disso, tais autores atribuem a abertura do cânion cárstico, pelo menos em parte, ao barramento. Rodet & Rodet (2004) atestaram a ocorrência de um depósito lacustre na depressão da Fazenda Terra Brava, pela ocorrência de um pacote de argila amarela de até 5m de espessura verificado durante escavações arqueológicas a céu aberto empreendidas na área.

Tendo em vista as diferenças morfológicas existentes ao longo do vale cárstico, um represamento que alcançasse a altura de 20 metros acima do nível do Rio Peruaçu, certamente, formaria reservatórios com áreas diferentes, dependendo de onde fosse o eixo do barramento. A área à montante da Lapa do Brejal conforma um vale amplo e aberto, onde, conseqüentemente, o barramento impactaria uma área muito mais expressiva que nos demais pontos de barramento, alcançando 230,8 hectares. A segunda área mais impactada, com 28,67 hectares, seria resultante de um abatimento em Janelão. Neste ponto, o leito do Rio Peruaçu é limitado em sua margem esquerda por um paredão, mas à margem direita do rio, o vale abre-se em um *polje* conforme definido por Rodet et al. (2003a; 2005). O barramento menos notável em termos de área afetada seria o com eixo situado no Arco do André. O reservatório formado atingiria

11,75 hectares, uma vez que neste ponto o vale é encaixado e o cânion estreito com os paredões situados bastante próximos ao leito do rio.

Em se tratando de um vale cárstico, em que ocorre uma seqüência de cavernas que segmentam a drenagem superficial, é provável que as inundações propostas se estendam para o interior das cavidades. No presente estudo, as bases utilizadas para a projeção das hipóteses de barramentos conformam apenas o relevo superficial, o que não permite a análise do ambiente hipógeo afetado. É possível apenas inferir que outras cavidades seriam atingidas.

Quanto à hipótese de barramento com eixo na Gruta do Janelão e (com cota de 20 metros acima do nível atual do Rio Peruaçu), acredita-se que a Lapa dos Troncos seria atingida bem como o curso superficial do rio à montante desta cavidade. É possível que a Lapa dos Cascudos situada imediatamente à montante deste trecho de drenagem superficial afetada fosse igualmente inundada. Destaca-se, ainda, que outras cavernas localizadas na zona à montante de Janelão, mas que não integram a calha do Rio Peruaçu, poderiam ser afetadas dependendo da situação topográfica em que se encontram.

No caso do barramento no Arco do André, certamente a Lapa do Brejal seria, em parte, inundada. Tal abordagem foi anteriormente proposta por Piló et al. (2005). Tais autores projetaram a marca d'água encontrada no Arco do André (a 41,5 metros acima do leito do Rio Peruaçu) sobre o vale à montante da caverna, constatando que esse nível de inundação atingiria também a Lapa do Brejal (Piló et al., 2005).

Em todas as possibilidades de barramento levantadas pelo presente estudo, observa-se que a inundação atingiria principalmente áreas de vegetação primária. Tais tipologias compreendem a Comunidade Aluvial Arbórea, a Floresta Estacional Decidual e a Savana Arborizada Fechada, sendo que na região de Janelão seria ainda observada a perda de restrita área de Savana Arborizada Aberta.

A Comunidade Aluvial Arbórea ocorre em áreas de inundações periódicas, sendo observada ao longo do Rio Peruaçu. Tal tipologia é adaptada às inundações, mas não aos alagamentos. Igualmente encontrada associada ao curso do Rio Peruaçu ocorre a Savana Arborizada Fechada que, em conjunto com a Comunidade Aluvial Arbórea, conforma a mata ciliar desse manancial. A ocorrência de barramentos de grande alcance no Rio Peruaçu implicaria na perda dos habitats e, ainda, no detrimento da função ecológica das matas ciliares perenifólias enquanto corredores de migração e fluxo de organismos conforme destacado por Mascarenhas et al. (2007).

A Floresta Estacional Decidual a qual seria atingida pelas inundações se associa a afloramentos rochosos, onde há algum acúmulo de solo. Também chamada de Mata Seca essa tipologia configura uma formação endêmica às áreas carbonáticas e consta da vegetação com maior ocorrência na área do parque apesar de sofrer pressões de supressão (Vianna & Amado, 2003).

Quanto à vegetação secundária, não foi constatada na área de inundação com barramento no Arco do André. Tal fato decorre da não antropização da região, em vista do seu relevo movimentado e encaixado. Em Brejal foram verificadas vegetações secundárias de Savana e de Floresta Estacional e em Janelão apenas dessa segunda formação.

As áreas antropizadas atingidas na região de Brejal são conhecidas como comunidade do Janelão, Silú e Zé da Hora e se caracterizam pela ocorrência de pequenas propriedades rurais com uso agrícola do solo. Já na região de Janelão, a área antropizada afetada por um barramento se relaciona à antiga sede da Fazenda Terra Brava e ao uso agropecuário pretérito do solo contíguo. A expressiva área antropizada desses pontos reflete o padrão de uso e ocupação do solo encontrado ao longo do Rio Peruaçu, onde a escassez de recursos hídricos restringe as culturas às áreas de vale aberto situadas próximas ao manancial.

As regiões à montante das Lapas do Brejal, do Janelão e do Arco do André integram cinco, dentre os seis roteiros turísticos propostos por Rubbioli et al. (2003) no Plano de Manejo do PARNA. Apesar de ainda não se encontrarem em funcionamento, sua implementação obrigatoriamente requer a instalação de infra-estruturas de apoio como trilhas, escadas, pontes, passarelas, plataformas de proteção, guarda-corpos, sinalizações e cercas (Moura, 2005). Na ocorrência de barramentos no Rio Peruaçu, certamente essas estruturas destinadas ao uso público do Parque Nacional seriam perdidas.

Nas inundações com eixo de barramento na Lapa do Brejal e em Janelão, a área antropizada atingida seria bastante expressiva com grande perda de infra-estrutura direcionada ao uso público, pesquisa, controle e gestão da unidade de conservação. Ambas as sedes rurais que irão comportar os Centros CAV Silú/ CAP Zé da Hora e CAV Janelão que seriam inundadas representam edificações de interesse histórico conforme exposto por Moura (2005).

A ocorrência de barramentos, com conseqüente elevação do nível do Rio Peruaçu em 20 metros, acarretaria não somente na perda de áreas e de infra-estrutura do parque, mas também na inundação das próprias cavernas, atração principal dos roteiros de visitação e, ainda, de acessos às cavidades não inundadas. Todo o acesso ao Cânion do Peruaçu se d  por sua margem direita, de modo que as cavernas situadas na margem esquerda do rio, mesmo que não fossem inundadas, seriam isoladas pela eleva o do nível d' gua.

No caso de um barramento na Lapa do Brejal, apenas a Lapa do Caboclo poderia continuar sendo visitada, mesmo assim, somente no caso da abertura de um novo acesso que passasse pela porão mais elevada da vertente. Todas as demais cavidades pertencentes ao roteiro turístico previsto para a área   sua montante da Lapa do Brejal não poderiam ser acessadas. Já uma inunda o com barramento no Arco do André impediria a visita o da gruta proposta por um dos roteiros do Plano de Manejo.

A estrada secundária que leva ao CAV Janelão define o acesso ao principal núcleo de cavernas do parque onde se situam quatro dos roteiros de visitação estabelecidos no Plano de Manejo do PARNA (Rubbioli et al., 2003). A ocorrência de uma inundação que submergisse parte deste acesso impediria a visita à Gruta do Janelão, que compreende a maior expressão do carste do Rio Peruaçu. A enchente alcançaria, ainda, a Lapa de Troncos, também aberta ao turismo. No caso da própria inundação não atingir as Lapas do Índio, Bonita e Boquete, a visita seria prejudicada, tendo em vista a inundação do acesso, sendo necessária a implantação de uma nova via.

Obviamente, não é possível prever onde e quando ocorrerá um grande colapso que promova o barramento do Rio Peruaçu, nem mesmo o alcance da inundação conseqüente. No entanto, salienta-se que a própria evolução morfogenética do cânion aponta para a ocorrência de novos desabamentos ao longo da calha do Rio Peruaçu. Rodet et al. (2003a; 2005) afirmam que a última fase de aprofundamento não se encontra inteiramente realizada, estando ainda em atividade o ajuste ao novo estado de equilíbrio. Labegalini (1990) descreve a violenta e franca atividade da evolução do cânion, através da constatação da queda de um bloco de rocha, com 6 toneladas, que abriu um sulco na encosta do fundo do cânion e uma clareira na floresta.

A suscetibilidade das cavernas situadas na calha do Rio Peruaçu a abatimentos é acrescida pela alteração das características mecânicas das seqüências carbonáticas conforme exposto por Brandt (1980). Segundo esse autor, as camadas areníticas que recobrem o Grupo Bambuí em alguns pontos promovem a infiltração de sílica no calcário, principalmente da Formação Lagoa do Jacaré, tornando-o silicificado e, conseqüentemente, menos elástico (Brandt, 1980).

Por fim vale destacar que a propensão aos processos de abatimentos pode ser agravada pela ocorrência de tremores de terra ultimamente registrados

na região do Vale do Peruaçu. Jennings (1985) afirma que tremores de terra adicionam temporário fator de *stress* na estabilidade de cavidades. O epicentro dos tremores na região se situa na comunidade de Caraíbas, à margem esquerda do médio curso do Rio Peruaçu, a 6,5 quilômetros da primeira caverna do cânion, a Lapa do Brejal. Dois desses abalos alcançaram grandes magnitudes, 3,5 e 4,9 pontos escala Richter, respectivamente. O segundo tremor, ocorrido em dezembro de 2007, foi classificado como o maior já registrado no estado de Minas Gerais e destruiu quase totalmente a comunidade de Caraíbas. A atividade sísmica está relacionada à movimentação de falha e concentra-se numa área alongada de direção aproximadamente NE-SW, com extensão maior que 4 quilômetros (Chimpliganond et al., 2007; França, 2007; França & Barros, 2007). A hipótese de uma fonte cárstica para os tremores foi descartada. No entanto, as conseqüências dos abalos na estrutura das cavernas ainda não foram avaliadas.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. Os Domínios morfoclimáticos na América do Sul. **Geomorfologia**, São Paulo, v. 52, p. 1-21, 1977.

ANJOS, A. **O rio S. Francisco**: o Vale do Rio S. Francisco será o celeiro do Brasil. Rio de Janeiro: F. Borgonovo, 1918. 62 p.

BÖGLI, A. **Karst hydrology and physical speleology**. New York: Springer-Verlag, 1980. 270 p.

BRANDT, W. Aspectos geológicos de interesse para a espeleologia do norte de Minas Gerais, Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE ESPELEOLOGIA, 14., 1980, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG/SBE, 1980. p. 48-60.

CAMPOS, A. B. C.; KOHLER H. C.; FANTINEL, L. M. Influências Litoestruturais nos padrões de lapiezamento sobre rochas carbonáticas do grupo Bambuí na região de Itacarambi/MG. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO (ABEQUA), 3., 1992, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: MHN; JB/UFGM, 1991. p. 3-12.

CARVALHO, I. S. (Ed.). **Paleontologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 2 v.

CHIMPLIGANOND, G. N.; FRANÇA, G. S. L. A.; BARROS, L. V. **Relatório especial**: estudo da sismicidade de Caraíbas/Itacarambi/MG. Brasília, DF: Observatório Sismológico da Universidade de Brasília, 2007. 22 p.

FERREIRA, R. L.; SOUZA, M.; SANTANA, R.; SILVA, M. S. Bioepeleologia e paleontologia. In: IBAMA; FIAT AUTOMÓVEIS S/A; CSD-GEOKLOCK GEOLOGIA E ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA. **Plano de manejo do parque Nacional Cavernas do Peruaçu – MG**: relatórios de pesquisa das campanhas de avaliação ecológica rápida (AER). São Paulo, 2003. v. 5, cap. 4, p. 875-1026.

FRANÇA, G. S. L. A. **O sismo não é cárstico**: tremor de terra Blogspot. Brasília, DF, 2007. Disponível em: <<http://tremordeterra.blogspot.com/2007/12/o-sismo-no-crstico.html>>. Acesso em: 11 jan. 2008.

FRANÇA, G. S. L. A.; BARROS, L. V. **Informe sísmico**: abalo sísmico em MG, 24/05/2007. Brasília, DF: UnB, 2007.

HUNTLEY, B. Quaternary palaeoecology and ecology. **Quaternary Science Reviews**, v. 15, p. 591-606, 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS; FIAT AUTOMÓVEIS S/A; CSD-GEOKLOCK GEOLOGIA E ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA. **Plano de manejo do parque nacional cavernas do Peruaçu – MG**: relatórios de pesquisa das campanhas de avaliação ecológica rápida (AER). São Paulo, 2003. 7 v.

JENNINGS, J. N. **Karst geomorphology**. Oxford: Basil Blackwell, 1985. 293p.

KARMANN, I.; PEREIRA, R. F.; PERRIN, J.; FERREIRA, T. D. A. Geologia, geomorfologia, hidrogeologia e recursos hídricos. In: IBAMA; FIAT AUTOMÓVEIS S/A; CSD-GEOKLOCK GEOLOGIA E ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA. **Plano de manejo do Parque Nacional Cavernas do**

**Peruaçu – MG:** relatórios de pesquisa das campanhas de avaliação ecológica rápida (AER). São Paulo, 2003. v. 1, cap. 3, p. 97-186.

LABEGALINI, J. A. **Pesquisa Peruaçu** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <belsmascarenhas@yahoo.com.br> em 23 fev. 2008.

LOPES, O. F. Evolução paleogeográfica e estrutural da porção central da Bacia Bambuí, no Norte do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 115-127, 1981.

MASCARENHAS, I.; BUENO-SILVA, A. P.; FERREIRA, R. L.; PASSANAMI, M. Ocorrência de mamíferos nas grutas janelão e brejal, parque nacional Cavernas do Peruaçu - MG. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ESTUDOS DO CARSTE, 2., 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Redespeleo Brasil, 2007. 1 CD-ROM.

MOURA, M. T. T. **A evolução do sítio arqueológico Lapa do Boquete na Paisagem Cárstica do Vale do Rio Peruaçu, Januária (MG)**. 1997. 208 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

MOURA, V. M. A. **Arquitetura em unidades de conservação da natureza:** parque nacional Cavernas do Peruaçu, MG. 2005. 111 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. 582 p.

PILÓ, L. B. **A morfologia cárstica do baixo curso do Rio Peruaçu, Januária/Itacarambi, MG**. 1989. 80 f. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PILÓ, L. B. Caracterização regional do Vale do Rio Peruaçu. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 9, n. 2, p. 22-29, 1997a.

PILÓ, L. B. Rochas carbonáticas e relevos cársticos em Minas Gerais. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 9, n. 3, p. 72-78, 1997b.

PILÓ, L. B. **Pesquisa peruaçu** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <belsmascarenhas@yahoo.com.br> em 11 mar. 2008.

PILÓ, L. B.; KOHLER, H. C. (Coord.). Do Vale do Peruaçu ao São Francisco: uma viagem ao interior da Terra, Januária – Itacarambi. In: CONGRESSO DA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO (ABEQUA), 3., 1991, Belo Horizonte. **Roteiro das excursões...** Belo Horizonte: UFMG, 1991. v. 2, p. 57-73.

PILÓ, L. B.; MOURA, V.; ALT, L.; CHABERT, C.; BOULLIER, N.; AULER, A. Dados topográficos, morfológicos e orgânicos evidenciam grandes inundações no cânion do Rio Peruaçu - Parque Nacional Cavernas do Peruaçu - MG. In: WORKSHOP - CADASTRO E MAPEAMENTO DE CAVERNAS, 1., 2005, Belo Horizonte, MG. **Resumos...** Belo Horizonte: Redespeleo Brasil, v. 1, p. 15.

PILÓ, L. B.; RUBBIOLI, E. Cavernas do Vale do Rio Peruaçu: obra-prima de Carste Brasileiro. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. L. C. (Eds.). **Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil**. Brasília, DF: DNPM/CPRM/SIGEP, 2003. p. 453-460.

REDESPELEO BRASIL. **Cadastro nacional de cavernas - CODEX**. Disponível em: <<http://www.redespeleo.org.br>>. Acesso em: 22 jun. 2008.

RODET, J.; MARIANO, D.; RODET, M. J.; POUCKET, A.; PILÓ, L. B.; WILLEMS, L. Evolução Cárstica do Vale do Rio Peruaçu (Minas Gerais): uma nova abordagem. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 12., 2003, Ouro Preto. **Resumo...** Ouro Preto: SBG-MG, 2003a. p. 97.

RODET, J.; RODET, J. Sítio a céu aberto: um aspecto pouco conhecido da arqueologia em contexto cárstico (sítio arqueológico Terra Brava, Vale do Peruaçu, Minas Gerais, Brasil). **O Carste**, Belo Horizonte, v. 16, n. 1, p. 2-12, 2004.

RODET, J.; RODET, M. J.; MARIANO, D.; NASCIMENTO, S. P.; HUGUET, Y. A Gruta do Janelão, elemento chave da evolução geomorfológica do Vale Cárstico do Rio Peruaçu (Januária - Itacarambi, Minas Gerais). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 27., 2003, Januária. **Resumo...** Januária: SBE, 2003b. 1 CD-ROM.

RODET, J.; RODET, M. J.; MARIANO, D. F.; WILLEMS, L.; POUCKET, A.; PILÓ, L. B. Do Brejal ao Janelão, uma historia geomorfológica do Terra Brava. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ESTUDOS DO CARSTE, 1., 2004, Belo Horizonte, MG. **Resumos...** Belo Horizonte: Redespeleo Brasil, 2004. p. 23.

RODET, J.; RODET, M. J.; MARIANO, D. F.; WILLEMS, L.; POUCKET, A.; PILÓ, L. B. New Approach of the karstic evolution of the canyon of the Peruaçu River (Januária-Itacarambi, Minas Gerais, Brazil). In: UIS CONGRESS, 14., 2005, Atenas/Kalamos, Grécia. **Anais...** Atenas, Kalamos: UIS, 2005. 1 CD-ROM.

RUBBIOLI, E. Cavernas do Peruaçu: tópicos abordados no levantamento espeleológico da área de proteção ambiental. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 11, n. 2, p. 34-37, 1999a.

RUBBIOLI, E. Cavernas do Peruaçu: 2ª parte. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 11, n. 3, p. 66-67, 1999b.

RUBBIOLI, E.; DAVID, H.; PILÓ, L. B.; MOURA, V.; ALT, L.; BARRIO, R.; VILAÇA, T. Espeleologia. In: IBAMA; FIAT AUTOMÓVEIS S/A; CSD-GEOKLOCK GEOLOGIA E ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA. **Plano de manejo do parque nacional cavernas do Peruaçu – MG**: relatórios de pesquisa das campanhas de avaliação ecológica rápida (AER). São Paulo, 2003. v. 2, cap. 3, p. 265-286.

SERAFINI JUNIOR, S. Clima. In: IBAMA; FIAT AUTOMÓVEIS S/A; CSD-GEOKLOCK GEOLOGIA E ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA. **Plano de manejo do parque nacional Cavernas do Peruaçu – MG**: relatórios de pesquisa das campanhas de avaliação ecológica rápida (AER). São Paulo: 2003. v. 1, cap. 3, p. 42-96.

SIMÕES, P. R. **Caracterização física de ambientes cársticos através de sensoriamento remoto e SIG**: o caso do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu - Januária/Itacarambi MG. 2007. 110 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

VIANNA, L.; AMADO, J. C. Cobertura vegetal. In: IBAMA; FIAT AUTOMÓVEIS S/A; CSD-GEOKLOCK GEOLOGIA E ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA. **Plano de manejo do parque nacional Cavernas do Peruaçu – MG**: relatórios de pesquisa das campanhas de avaliação ecológica rápida (AER). São Paulo, 2003. v. 2, cap. 4, p. 287-422.