

EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA DO CANION DO MORRO FURADO NO CONTEXTO DOS CALCÁRIOS CARSTIFICADOS DO GRUPO BAMBUÍ (SERRA DO RAMALHO, BAHIA, BRASIL)

ANA LUISA BITENCOURT

INSTITUTO ANCHIETANO DE PESQUISAS, UISINOS
RUA BRASIL, 725 -CP 275, 93001-970 SÃO LEOPOLDO (RS)

JOËL RODET

GRUPO BAMBUÍ DE PESQUISAS ESPELEOLÓGICAS & UMR
6143 CNRS, LABORATOIRE DE GÉOLOGIE, UNIVERSITÉ DE ROUEN, 76821
MONT SAINT AIGNAN CÉDEX, FRANÇA
JOEL.RODET@UNIV-ROUEN.FR



Grupo Bambuí corresponde a uma grande unidade geológica e morfológica, formada por sequências de rochas pelito-carbonáticas do Proterozóico superior. O Grupo Bambuí (mais de 300.000 km²) situa-se entre Minas Gerais, o leste de Goiás/Tocantins e o sudoeste da Bahia. Esta formação é marcada por evoluções de diferentes formas cársticas, que constituem as paisagens de vários sítios espeleológicos, paleontológicos e arqueológicos.

As pesquisas realizadas no domínio cárstico do Grupo Bambuí, assim como nos sítios associados, são ainda dispersas e não contextualizadas na evolução geral do carste do maciço carbonático. Várias cavernas foram exploradas e topografadas. As pesquisas realizadas em sítios paleontológicos e arqueológicos, são, em geral, pontuais, não abrangendo o

contexto morfogenético do carste. No entanto, em relação à evolução das formas cársticas superficiais, destacam-se os trabalhos [Tricart, 1965; Tricart e Silva, 1961; Campos *et al.* 1962; Coutard *et al.*, 1978; Kohler, 1978, 1989]; aos aspectos arqueológicos [Laming-Emperaire *et al.*, 1975; Prous, 1992]; aos relacionados à evolução geomorfológica de abrigos [Journaux, 1977], e mais recentemente, à gênese ambiental do lago com Parizzi *et al.* [1994].

Atualmente pesquisas estão sendo desenvolvidas em outros setores do Grupo Bambuí; o vale do rio Peruaçu, situado ao norte do estado de Minas Gerais [Piló e Kohler, 1991; Piló, 1997; Rodet e Rodet, 2001], e a região de São Domingos, à leste de Goiás [Rodet, 1996].

O cânion do Morro Furado situa-se na Serra do Ramalho, a sudeste do estado da Bahia. Ele

apresenta um modelo complexo da evolução cárstica [Bitencourt, 1998; Bitencourt e Rodet, 1998, 2000]. Trabalhos realizados nos sítios arqueológicos situados dentro do cânion foram publicados por Schmitz *et al.* [1996, 1997].

A posição geográfica do cânion no setor norte do domínio do Bambuí permite a comparação com outros sítios no setor sul (Lagoa Santa e vale do Peruaçu) e no setor oeste (São Domingos). Esta situação permite a realização de uma primeira abordagem da evolução do carste dentro de diferentes setores da área.

I - O sítio e o meio ambiente

O cânion do Morro Furado desenvolve-se sobre a vertente oeste da Serra do Ramalho, entre 44° 15' e 44° 12' de longitude oeste e 13° 08' e 13° 06' de latitude sul, no município de Coribe, sudoeste do estado (fig. 1).

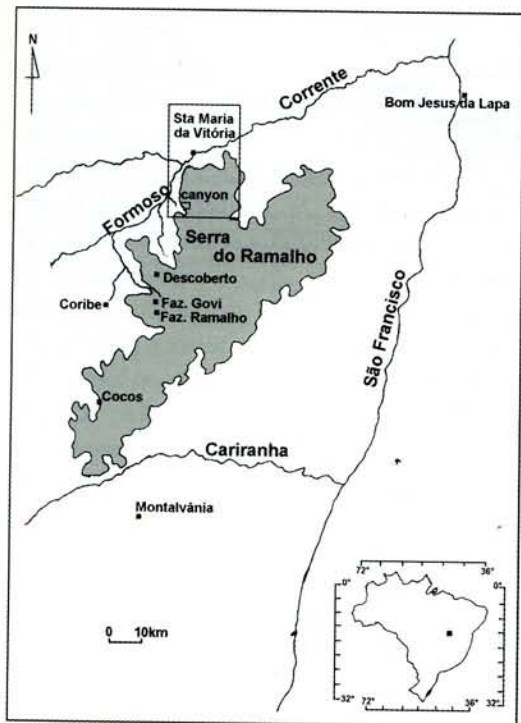


Figura 1:
Localização do sítio.
Localisation du site.

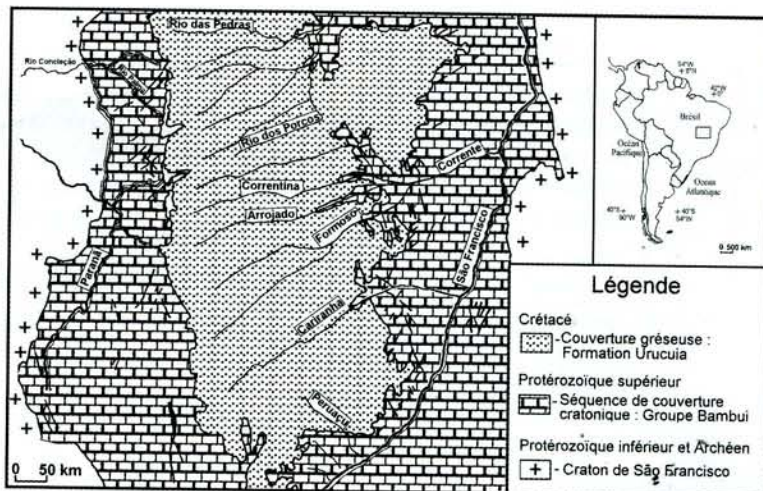


Figura 2:
Esquema geológico e estratigráfico do meio regional.
Esquisse géologique et stratigraphique du milieu régional.

A Serra do Ramalho é constituída por seqüências pelito-carbonáticas do Grupo Bambuí, que formam a bacia do Rio São Francisco, “bacia de cobertura cratônica” do Proterozóico superior [Braun *et al.*, 1990]. Esta cobertura evoluiu “em plataforma estável, entre 800 Ma e 500 Ma, depois da estabilização do cráton pré-cambriano do São Francisco” [Almeida e Hasui, 1984], (fig. 2).

1.1 - O quadro geológico do Grupo Bambuí

A litoestratigrafia do Grupo Bambuí é bastante variada em razão da extensão territorial e das variações laterais das fácies. Várias colunas estratigráficas foram propostas nas diferentes regiões. Nós utilizamos neste estudo os trabalhos de Dardenne [1978a, 1978b] e de Braun *et al.* [1990].

Nos estados de Minas Gerais, Goiás e Bahia, a base do Grupo Bambuí apresenta contatos discordantes com litologias diversas e complexas do embasamento, compreendidas entre os períodos Arqueano e Proterozóico inferior [Braun *et al.*, 1990].

O Grupo Bambuí é constituído pelas Formações Jequitai, Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias. A Formação Jequitai representa a base da seqüência. No estado de Goiás, ela é formada por conglomerados de origem glaciária [Dardenne, 1978a]. Esta formação é descontínua, não sendo encontrada na Serra do Ramalho. As Formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade são reagrupadas dentro do SubGrupo Paraopeba, que representa uma sedimentação de plataforma carbonática em meio litoral e marinho. A partir da Formação Serra da Saudade, esta realizada em meio deltáico, a sedimentação torna-se cada vez mais detrítica. A Formação Três Marias possui sedimentação essencialmente detrítica, formada em meio fluvio-deltáico. As litologias de cada formação estão indicadas na figura 3.

Na Serra do Ramalho são observadas essencialmente as litologias do SubGrupo Paraopeba: os calcários e os dolomitos da Formação Sete Lagoas, os siltitos e as rochas folheadas da Formação

Santa Helena, os calcários pretos e oolíticos e os dolomitos da Formação Lagoa do Jacaré, assim como os pelitos da Formação Serra da Saudade. As Formações Jequitai e Três Marias estão ausentes na região do cânion do Morro Furado.

A Bacia do São Francisco foi afetada pelos movimentos compressivos de direção SSE-NNW do ciclo tectônico Brasileiro, entre 700 Ma e 450 Ma. Estes movimentos provocaram as deformações e as dobras isoclinais da borda oeste da bacia, na região de São Domingos, à leste do estado de Goiás. As deformações e as dobras suavizam-se em direção ao setor central. Na Serra do Ramalho, a bacia possui relevos monoclinais, com uma rede de falhas normais de direção geral NE-SW e NW-SE. No extremo norte do estado da Bahia as falhas mudam de direção ENE-WSW, com dobramento em direção ao sul, limitando assim a bacia [Dardenne, 1978a, 1978b; Braun *et al.*, 1990].

As redes de falhas normais de direção NE-SW e NW-SE determinam, na Serra do Ramalho, as principais direções do desenvolvimento da rede cárstica.

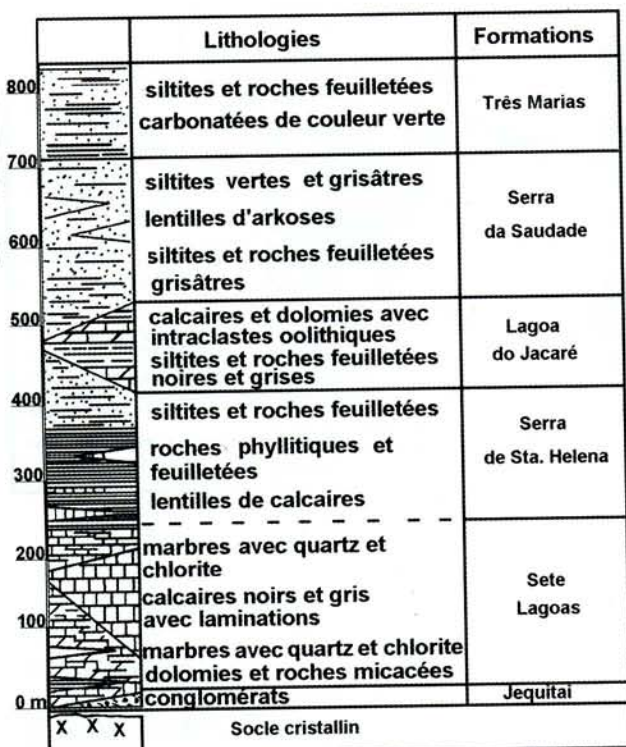


Figura 3:

Litoestratigrafia do Grupo Bambuí (segundo Dardenne, 1978).
Lithostratigraphie du Groupe Bambuí (d'après Dardenne, 1978).

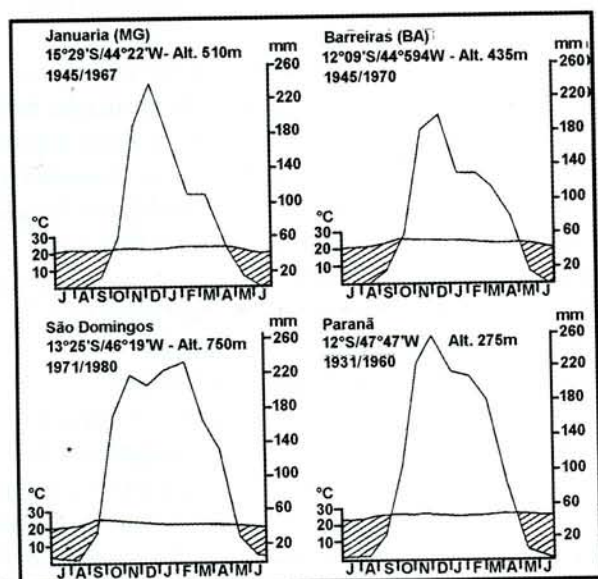


Figura 4:

Diagramas climáticos das principais zonas do Grupo Bambuí (Fonte RadamBrasil, 1982).
Diagrammes climatiques des principales zones du Groupe Bambuí.

Um grande hiato separa as seqüências do Grupo Bambuí das formações areníticas do Cretáceo (Formação Urucuia). Estas últimas cobrem uma grande extensão, especialmente na zona central do domínio Bambuí (planalto da Serra Geral), distribuindo-se de forma residual, em morros testemunhos, nas zonas periféricas do planalto nos vales do São Francisco e do Paraná. Os arenitos constituem a principal alimentação destas bacias.

1.2 - O quadro climático

A posição do sítio condiciona sua situação de transição climática entre o tropical sub-úmido dos setores sudoeste e centro-oeste (Minas Gerais e Goiás), e o tropical semi-árido do setor norte (Bahia). A região do cânion apresenta um clima quente com duas estações bem marcadas: uma seca entre maio e setembro (inverno), outra chuvosa, entre novembro e março (verão).

As duas estações são controladas pelo deslocamento da convergência intertropical (ZCIT), no inverno (julho) em direção à Amazônia, e no verão (janeiro) em direção às altitudes do planalto central (Goiás). O recuo da ZCIT em direção ao norte, no inverno, provoca a queda da umidade e garante a penetração dos ventos quentes e secos de direção noroeste na região, permitindo a instalação do período seco. Na região do sítio, a estação seca se instala de maio a setembro, com precipitações inferiores a 10 mm nos meses de junho, julho e agosto. O deslocamento da ZCIT em direção ao sul, no verão (novembro a março), permite a instalação do sistema perturbador de nordeste na região, provocando as fortes chuvas (superiores a 180 mm) entre novembro e janeiro [Projeto RADAMBRASIL, 1982]. As variações de temperaturas e de precipitações, de acordo com as altitudes e a duração de cada estação, são os fatores responsáveis pelas diferenças climáticas dentro do domínio do Grupo (fig. 4).

2 - Material e métodos

A análise morfológica do cânion do Morro Furado foi realizada a partir das observações de campo, da análise de fotografias aéreas (escala de 1: 60.000) e de imagens TM Landsat. Foram realizadas duas campanhas de campo, uma durante a estação seca (julho 1995), outra no início da estação de chuvas (novembro 1996). Deste modo, foi observada a dinâmica do cânion e de seu entorno durante dois períodos distintos.

A topografia do cânion foi realizada pelo método de nivelamento altimétrico, utilizando nível de precisão, mira graduada, bússola e GPS para o posicionamento dos pontos de referência. O cálculo dos dados

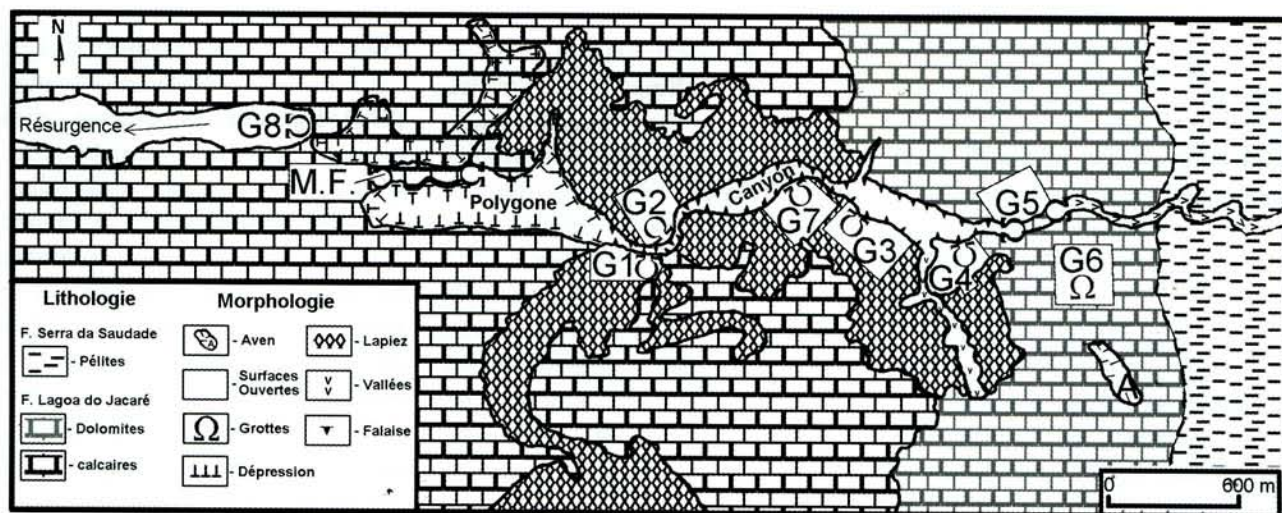


Figura 5a:

Esquema geológico e geomorfológico do canyon do Morro Furado (segundo Bitencourt 1998).

Esquisse géologique et morphologique du canyon du Morro Furado, (d'après Bitencourt 1998).

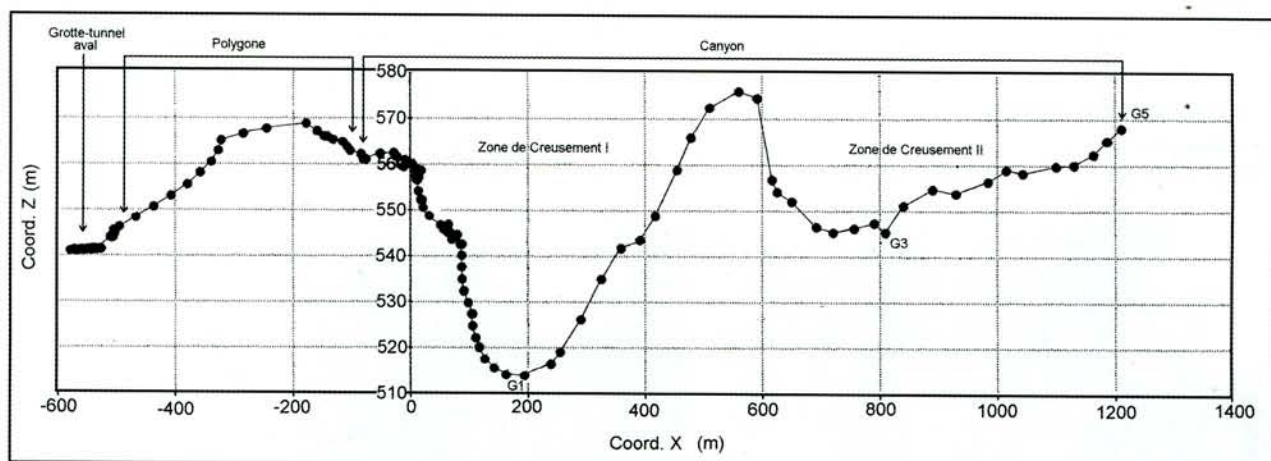


Figura 5b:

Perfil topográfico realizado por Bitencourt 1995 e 1996.

Profil topographique du canyon, réalisé par Bitencourt 1995 et 1996.

topográficos e o estabelecimento do perfil foram realizados sobre Microsoft Excel.

Os dados dos sítios de comparação foram obtidos, por um lado, pelas observações de campo, no quadro das Expedições Espeleológicas Franco-Brasileiras a São Domingos, por outro lado, a partir dos trabalhos de vários autores, em particular: Braun *et al.* [1990] para a carta geológica do Grupo Bambuí, Coutard *et al.* [1978]; Kohler [1978, 1989]; Parizzi *et al.* [1992] para o sítio de Lagoa Santa, Piló e Kohler [1991]; Piló [1997]; Rodet e Rodet [2001] para o sítio do vale do rio Peruçu, e Rodet [1996] para o sítio de São Domingos.

3 - Descrição e interpretação morfogenética do cânion do Morro Furado

3.1 - Os elementos morfológicos

A incisão do cânion na vertente oeste da Serra do Ramalho faz parte da bacia de alimentação do córrego Santana, modesto afluente do Rio Formoso, resultado de uma tímida ressurgência do Córrego Mamona, situado na saída de uma grande cavidade subterrânea, a Gruna da Mamona (G8), 600 m a jusante do Morro Furado (fig. 5). O cânion é orientado segundo a direção do sistema de fraturas N 80° do maciço.

A análise do perfil do cânion evidencia vários elementos constitutivos do conjunto morfológico, especificamente as distintas fases evolutivas. Quatro elementos principais foram observados:

- A Gruna do Morro Furado, responsável pela denominação do setor, é uma galeria-túnel de 160 m de desenvolvimento; ela corresponde ao elemento morfológico mais a jusante do cânion (fig. 6). Sua altitude, em torno de 540 m, a situa acima das drenagens cársticas atuais; ela representa um antigo nível de base. Pinturas rupestres sobre as paredes da galeria marcam a passagem de grupos pré-históricos [Schmitz *et al.*, 1997].

- O polígono corresponde a uma superfície irregular de aproximadamente 1,5 km², modelado em depressões na parte oeste, em direção à galeria-túnel, e a leste, a proximidade da saída do cânion. Este elemento situa-se acima das drenagens cársticas atuais. A superfície do polígono é delimitada por paredes verticais de calcários, que foram desobstruídos lateralmente pelos recuos sucessivos (fig. 7).

- O cânion constitui um entalhe de 1,2 km dentro da vertente oeste do maciço calcário da Serra do Ramalho. Ele apresenta duas importantes zonas de desenvolvimento, que evoluíram a partir de diferentes fases de aprofundamento, estas provocadas por variações sucessivas do nível de base (fig. 8).

A zona de incisão I, a mais profunda, chega a 46 m de desnivelamento em relação à saída do cânion. Sua vertente oeste é a mais abrupta e apresenta um desenvolvimento em degraus, que marcam três etapas de desmoranamento. O primeiro degrau é constituído por uma pequena inclinação chegando a 558 m de altitude. Depósitos conglomeráticos residuais são observados no cume deste desnível, na parede norte do cânion (fig. 9). O segundo degrau desenvolve-se até 542 m, apresentando em sua parte superior um abrigo sob rocha com vestígios arqueológicos estudados por Schmitz *et al.* [1996]. O terceiro degrau desenvolve-se até o nível de base atual desta zona, a 514 m de altitude, onde se localizam as

cavernas "Gruna da Água" (G1) e "Sumidouro do Morro Furado" (G2). Estas desenvolveram-se no eixo transversal do cânion, segundo a direção da rede de falhas N 335° do maciço. A gruta "Gruna da Água" situa-se dentro da parede sul do cânion e apresenta uma entrada baixa (2 m de altura) de aproximadamente 15 m de largura, dando acesso a uma galeria de 40 m de comprimento, com teto baixo e água (fig. 10). Aparentemente, o sumidouro é sifonado durante o período de chuvas, quando o nível do lago aumenta em algumas dezenas de centímetros [Rodet, 1997]. O "Sumidouro do Morro Furado" abre-se na parede norte do cânion, por um conduto de aproximadamente 30 m de altura, 20 m de largura e mais de 1000 m



Figura 6 (superior esquerda):

Galeria-túnel do Morro Furado (foto Bitencourt).

Galerie-tunnel aval: Le Morro Furado (Photo Bitencourt).

Figura 7 (ao lado):

Aspecto das paredes calcárias que limitam o polígono (Foto Ezio Rubbioli).

L'aspect des parois calcaires qui limitent le polygone. (Photo Ezio Rubbioli).

Figura 8 (superior direita):

Vista parcial do cânion (Foto Bitencourt).

Vue partielle du canyon (Photo Bitencourt).

de desenvolvimento. Na entrada foram identificados pelo menos dois períodos antigos de preenchimento conglomerático. Estes são marcados por grau elevado de litificação e por um aspecto residual dos depósitos que recobrem alguns setores do teto e das paredes laterais da caverna (fig. 11). Dentro da caverna, o conduto apresenta preenchimentos de seixos e areias móveis, depositados ao longo do leito de um rio sazonal.

A vertente leste da zona de incisão I é menos abrupta e atinge 575 m de altitude; o topo situa-se quase no mesmo nível da superfície rochosa da serra, servindo de limite entre as duas zonas de entalhe do cânion. Nesta vertente encontra-se um degrau (entorno de 542 m) correspondente ao degrau da vertente oposta.

A zona de incisão II apresenta um desnível de 15 m em relação à saída do cânion. A análise deste setor permite considerar pelo menos duas fases de aprofundamento: a primeira, materializada pelo degrau que termina a aproximadamente 552 m (vertente oeste); a segunda, pela superfície atual desta zona.

Considerando o mergulho geral da vertente, supõe-se que o degrau de 552 m (a montante) equivalha ao degrau de 542 m da zona I (a jusante). Nós consideramos que esta zona tenha evoluído pelos recuos progressivos da incisão a montante do cânion, ligados à desestabilização e ao recuo da cobertura pelítica, causada pelas variações do nível de base. Dentro deste setor encontram-se as grutas

G3 (Gruta do Salão do Morro Furado), G4 (Gruta dos Mocós) e G7, todas estas dentro do eixo transversal do cânion, sobre a parede sul.

- A montante do cânion, a "Gruta da Ponte do Morro Furado" (G5), é também uma galeria-túnel (fig. 12). Esta caverna nasce num pequeno vale, no contato dos pelitos da Formação Serra da Saudade com os dolomitos da Formação Lagoa do Jacaré. A 380 m a jusante, a galeria transforma-se em cânion, por desmoronamento do teto. As águas da chuva correm dentro do vale, atravessam a gruta e param na saída, formando um lago: a acumulação dos depósitos de argilas de decantação prova a dificuldade do escoamento das águas durante a estação das chuvas



Figura 9 (superior esquerda):

Depósitos residuais situados no alto da primeira rampa (Foto Bitencourt).

Dépôts conglomeratiques résiduels sur le haut de la première pente (Photo Bitencourt).

Figura 10 (ao lado):

Aspecto geral da Gruta d'Água (G1). (Foto Bitencourt).

Aspect général de la Gruta d'Água (G1). (Photo Bitencourt).

Figura 11 (superior direita):

Depósitos residuais sobre a parede do Sumidouro do Morro Furado (G2), testemunhos de uma das fases antigas de sedimentação (Foto Bitencourt).

Dépôts conglomeratique résiduel sur le mur de le Sumidouro do Morro Furado (G2), témoin d'une des phases anciennes de remplissages (Photo Bitencourt).

(fig. 13). Este fenômeno é também observado dentro da Gruna da Água (G1).

Foram distinguidas ainda duas outras formas importantes ligadas ao dinamismo do carste, e, em consequência, à dinâmica da evolução do cânion. A Gruna da Mamona (G8) a jusante do Morro Furado, corresponde ao nível de base atual, com as ressurgências cársticas funcionais, e o abismo (Gruna do Anjo) situado a sudoeste da gruta (G6). As informações relativas a estas observações foram obtidas a partir de fotografias aéreas, que informam sobre as etapas de alargamento do cânion.

3.2 - Primeira abordagem da evolução do conjunto morfológico do cânion

Os elementos acima apresentados constituem três etapas de aprofundamento e abertura lateral do cânion (fig. 14):

Fase I - supõe-se que nesta etapa já existia uma superfície aberta, elaborada a partir dos recuos laterais das paredes calcárias dentro do setor onde se encontra o atual polígono. A parte a montante do cânion ainda estava fechada sob a cobertura de pelitos. Na parte jusante (zona I), o cânion seria, provavelmente, subterrâneo (galeria-túnel). Os depósitos conglomeráticos residuais, que se encontram atualmente na parte superior do primeiro degrau que marca esta

fase, correspondem a testemunhos de uma antiga sedimentação subterrânea. A posição do depósito indica também que o regime de circulação das águas cársticas se desenvolve dentro do eixo longitudinal do cânion (fig. 14). Em seguida, a coalescência de abismos, resultantes da desestabilização do teto do conduto subterrâneo, provocou a abertura do cânion. Esta fase pode ser ilustrada pelo abismo da Gruna do Anjo, situado a algumas centenas de metros a sudoeste da gruta G6. Os desmoronamentos na parte jusante do cânion foram provavelmente provocados por desestabilizações a montante, favorecendo a formação de uma gruta-túnel com abertura de um vale dentro da cobertura pelítica (fig. 14b).



Figura 12:

Abertura da gruta-túnel a jusante do cânion - Gruna do Salão do Morro Furado (G5) (Foto Flávio Chaimowicz).

Porche de la grottes-tunnel amont Gruna do Salão do Morro Furado (G5) (Photo Flávio Chaimowicz).



Figura 13:

Depósitos de decantação (Foto Bitencourt).

Dépôts de décantation (Photo Bitencourt).

Fase II - um novo nível de base se instala, provocando a desestruturação da superfície do polígono e a formação da galeria da Gruna do Morro Furado. Dentro do cânion, esta nova etapa provoca aprofundamentos nas zonas de incisão, marcados por degraus de 542 m (zona I) e 552 m (zona II), assim como o alargamento das paredes do cânion. Nesta fase desenvolve-se uma nova rede no eixo transversal do cânion; as grutas ligadas a esta etapa se encontram hoje suspensas e fossilizadas (fig. 15). A formação do abrigo situado dentro da vertente oeste da zona I iniciou-se

durante esta fase. A abertura a montante do cânion evoluiu com a formação e alargamento dos abismos e o recuo da gruta-túnel dentro da zona II, com o início da incisão do vale dentro dos dolomitos (fig. 14c-d).

Fase III - uma nova variação do nível de base permite a escavação e o desenvolvimento da Gruna da Água (G1), do Sumidouro do Morro Furado (G2) e da Gruna do Salão do Morro Furado (G3), no eixo transversal do cânion. A montante, encontra-se a Gruna da Ponte do Morro Furado (G5), ligada à incisão do vale dentro dos dolomitos, estando mais acima,

dentro da cobertura pelítica (atualmente mais recuada a leste). A circulação horizontal das águas encontra-se limitada e descontínua entre o polígono e os pequenos vales situados no interior das zonas I e II, ativadas somente nas estações de chuva. A captura das águas de chuva acontece no eixo transversal do cânion, onde se desenvolve a atual rede subterrânea.

Não é possível afirmar que a fase III seja atual, pois existem ao menos dois estados de evolução do preenchimento antigo, notadamente no Sumidouro do Morro Furado (G2) e na Gruna do Salão do Morro Furado (G3).

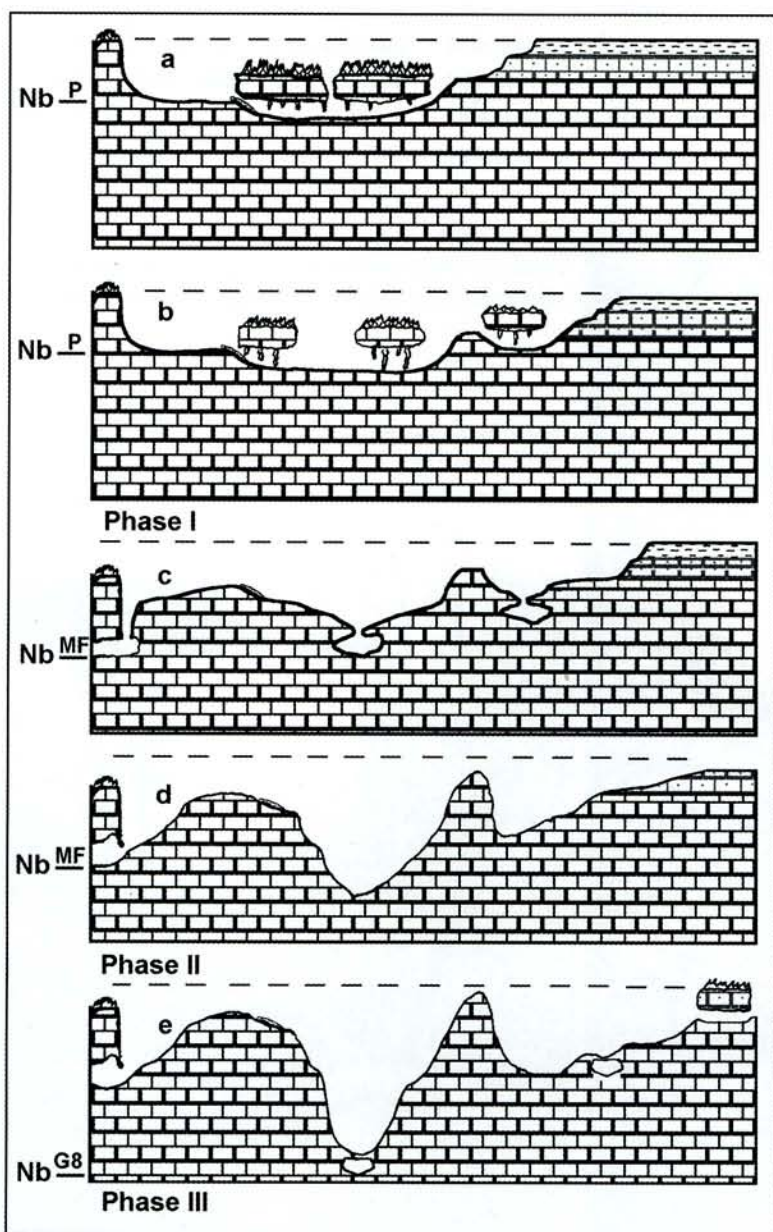


Figura 14:

Esquema evolutivo do cânion, segundo Bitencourt 1998. A) formação e evolução de um antigo conduto associado ao sistema de circulação de drenagem carstica ao longo do eixo longitudinal do cânion; b) formação de "avens" e de afundamentos do teto do conduto a montante e recuo da cobertura pelítica a jusante; c) mudança do nível de base, controlado pela galeria-túnel do Morro Furado; d) formação de "avens", afundamentos do teto dos condutos e alargamento do cânion; e) novo abaixamento do nível de base, controlado pela saída das águas carsticas da gruta G8 (Gruna da Mamona) e formação da rede carstica da fase atual do cânion.

Schéma de l'évolution du canyon, d'après Bitencourt 1998. a) formation et évolution d'un ancien conduit associé au système de circulation des eaux karstiques dans l'axe longitudinal du canyon, contrôlé par le niveau du polygone; b) formation d'avens et effondrements du toit du conduit aval et dégagement de la couverture pelitique en amont; c) changement du niveau de base, contrôlés par la galerie-tunnel du Morro Furado et formation d'autres réseaux souterrains sur l'axe transversal du canyon; d) formations d'avens, effondrement du toit des conduits et élargissement du canyon et e) nouvel abaissement du niveau de base, contrôlé par la sortie des eaux karstiques de la grotte G8 (Gruna da Mamona) et formation du réseau karstique proche de la phase actuelle du canyon.

Pode-se considerar que o perfil atual do cânion seja o testemunho da fase III e que a evolução atual é marcada por sedimentos móveis no interior dos condutos, pela formação atual de espeleotemas e pelos desabamentos das paredes laterais do cânion (fig. 14e).

3.3 - Discussão

Dentro desta evolução, podem ser apontados os seguintes fatos :

- o cânion apresenta uma evolução complexa, marcada por uma sucessão de fases de formação de condutos subterrâneos seguidos por desmoronamentos de seus tetos (fig. 16). O resultado é uma sucessão morfológica polifásica de idades e estados diferentes.

- as diferenças entre a disposição dos antigos depósitos conglomeráticos, situados dentro

do eixo longitudinal do primeiro degrau da zona I, e o desenvolvimento da rede subterrânea dentro do eixo transversal do cânion, a partir da segunda fase, apontam as mudanças de regime preferencial de circulação das águas cársticas.

- a forma atual do cânion é, em realidade, uma forma fóssil da fase III, pois a evolução das cavidades subterrâneas, situadas ao fundo das zonas de incisão, marcam ao menos três fases de preenchimento: duas fases antigas, com os depósitos conglomeráticos bastante litificados e residuais; e uma fase mais recente, com a formação de depósitos móveis. A fase atual de evolução do cânion é marcada, interiormente, pela formação dos depósitos móveis e pelos espeleotemas no interior das

cavernas e, no exterior, pelos depósitos de decantação em zonas favoráveis à formação de lagos; e finalmente, pelos desabamentos frescos que caem das paredes do cânion.

- atualmente, a circulação superficial das águas encontra-se desorganizada. A drenagem é ativada somente pelas águas de chuva, que correm nos pequenos vales secos no interior do cânion e que são, em seguida, capturados pela atual rede transversal subterrânea. Durante a estação de chuvas as águas de infiltração provenientes das fissuras e dos abismos entram no sistema de circulação transversal, acumulando-se dentro de certas cavidades, formando sifões (Gruna da Água - G1). Durante a estação seca o nível dos lagos

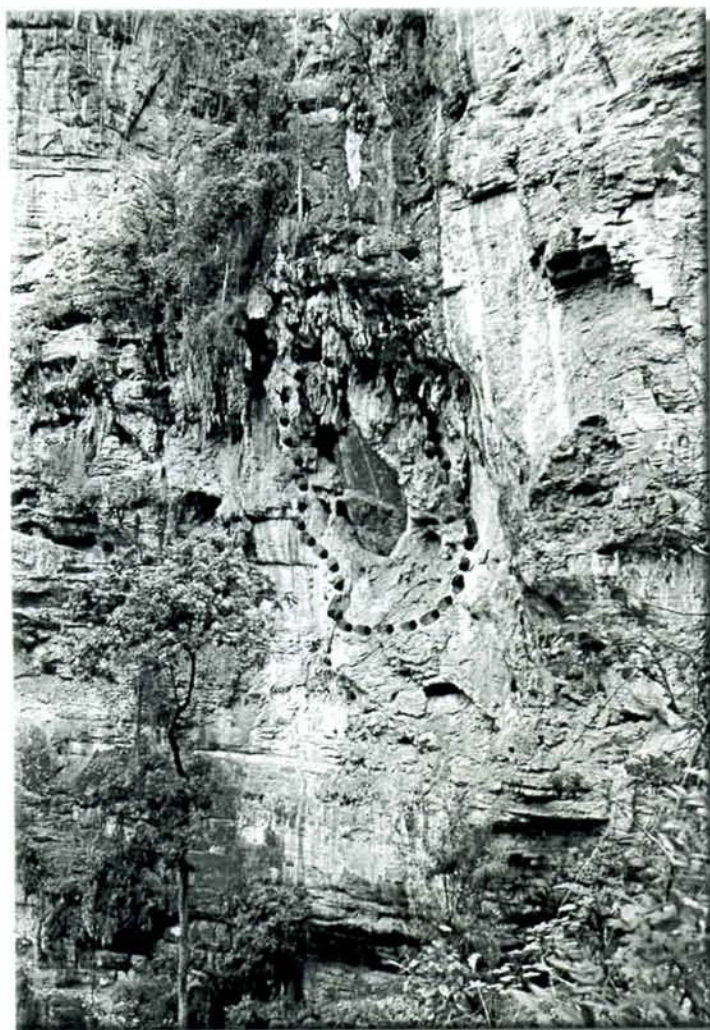


Figura 15 (ao lado):

Cavidade antiga preenchida e suspensa (Foto Bitencourt).
Cavité ancienne comblée et susoendue (Photo Bitencourt).

Figura 16 (à baixo):

Perfil da fase I do cânion (Foto Bitencourt).
Profil de la phase 1 du canion. (Photo Bitencourt).



abaixa, às vezes até secar totalmente, dando lugar às argilas de decantação.

- as águas subterrâneas atuais de circulação transversal são posteriormente capturadas por uma outra rede, paralela ao eixo leste-oeste do cânion, dando origem, a jusante do Morro Furado, às ressurgências que alimentam a bacia do Rio Formoso (Gruna da Mamona). Esta gruta representa o atual nível de base.

- cada fase de desmoronamento corresponde a um abaixamento do nível de base e a uma nova fase cárstica. Assim, provavelmente, o polígono tenha correspondido ao nível de base da fase I, a gruta-túnel da Gruna do Morro Furado ao nível de base da fase II e a Gruna da Mamona (G8) aos níveis da fase III e atual.

- não existem elementos cronológicos para situar as fases; podemos somente constatar sua evolução a partir da disposição espacial dos elementos descritos acima.

4 - Correlação e evolução dos fenômenos cársticos dentro do domínio Bambuí

A evolução morfológica do cânion do Morro Furado distingue-se das dos sítios de Lagoa Santa, do vale do Rio Peruaçu e São Domingos.

4.1 - Lagoa Santa

Os estudos de Kohler [1978, 1989] demonstram que o sítio de Lagoa Santa [Coutard *et al.*, 1978] evoluiu a partir da dissolução e dos desmoronamentos da rocha calcária, sob a cobertura pelítica (fig. 17). O autor estima que a evolução morfogenética do sítio tenha acontecido no fim do Terciário e início do Quaternário, quando os movimentos tectônicos do Plioceno-Pleistoceno provocaram vários escarpamentos e reativações de antigas zonas de falhas. A base da depressão é constituída por rochas argilosas impermeáveis que retêm um lago. Este é alimentado por águas de chuva que correm dos platôs vizinhos, e também pelo Rio Francisco Pereira, que corre no setor SE do lago. Os estudos polínicos recentes, realizados por Parizzi *et al.* [no prelo], indicam quatro fases de variações climáticas associadas à gênese do lago durante o Holoceno, entre 6 200 BP e 1 440 BP. A fase I, antes de 6 200 BP indica um período seco, com provavelmente um clima semi-árido; a fase II, entre 6 000 BP e 4 600 BP sublinha um aumento de umidade, com um clima similar ao atual; a fase III, entre 3 000 e 1 600 BP, marca um período de forte umidade, com diversificação da flora arbórea, e a fase IV, de 1600 BP até o presente, marca a diminuição da umidade até os valores atuais.

4.2 - Peruaçu

Os trabalhos de Piló e Kohler [1991], Piló [1997] e Rodet e Rodet [2001] apresentam alguns aspectos da evolução geomorfológica do sítio do vale do Rio Peruaçu (fig. 18). Este sítio se encontra no extremo norte do estado de Minas Gerais, onde o contexto da evolução do carste é mais próximo ao do cânion do Morro Furado, situado aproximadamente 150 km de lá. O sítio do Peruaçu é constituído por um fluviocarste, com formação de cânions. Nesta região as rochas calcárias são expostas, apresentando relevos ruíniformes, com desenvolvimento de formas fundamentais como os *rillenkarens* e os *karrens* descritos por Bögli [1960]. O fluviocarste é sustentado, de um lado, pelas águas do Rio Peruaçu, que nascem nas formações areníticas, o que asseguram sua perenidade, e por outro lado, pelas águas que se infiltram no maciço. A morfogênese do sítio é ainda mal conhecida, mas apresenta inúmeras similaridades com o modelo proposto para o Morro Furado, principalmente as fases de formação dos condutos subterrâneos que acompanham o abaixamento do nível de base. Esta constatação aponta para uma evolução guiada pelas condições regionais válidas para toda a parte central da bacia do São Francisco [Auler, 1999; Rodet e Rodet, 2001].

Figura 17:

Perfil de Lagoa Santa (segundo Köhler, 1978).

Profil de Lagoa Santa (d'après Köhler, 1978).

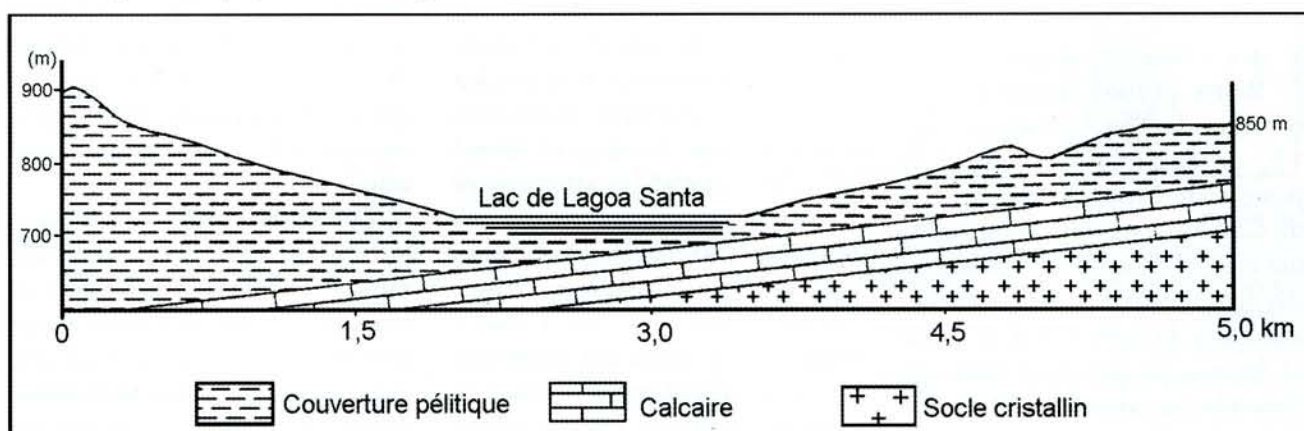




Figura 18:

Vista aérea do canion do Peruaçu (Foto Piló, 1997).

Vue aérienne du canyon du Peruaçu (Photo Piló, 1997).

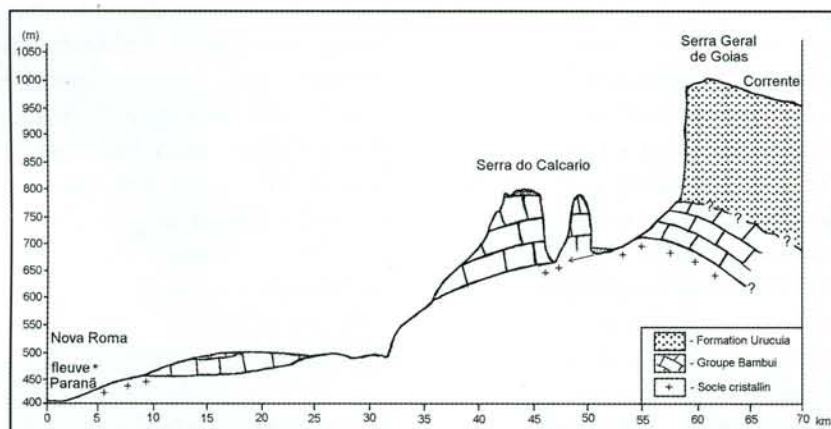


Figura 19:

Perfil E-W do setor de São Domingos.

Profil E-W du secteur de São Domingos.

4.3 - São Domingos

Rodet [1996] demonstra que o carste de São Domingos (fig. 19) se desenvolve a partir da posição de barragem que a Serra do Calcário, esta dobrada segundo um eixo N-S, opõe-se à passagem das águas recebidas das formações areníticas da Serra Geral de Goiás (a leste), em direção à bacia do Paranã (a oeste). Os rios

caudalosos (de 0,8 m³/s a mais de 5 m³/s na estiagem), alimentados ao longo do ano pelo importante reservatório da Serra Geral [Guyot, 1996] atravessam subterraneamente (frequentemente) a barragem calcária através de impressionantes galerias-túneis (fig. 20). Como a região está exposta aos processos de erosão já há algumas dezenas de milhões de anos [Melo Filho,

1996], os calcários foram liberados de suas coberturas pelíticas e areníticas. Dentro das galerias o percurso dos rios é fixado pelo embasamento granítico-gnáissico, pouco solúvel, dentro dos quais foram formados pontualmente cânions subterrâneos. As drenagens são bastante hierarquizadas, mas elas recebem poucos afluentes subterrâneos: o essencial das confluências realiza-se a montante, dentro da depressão subsequente, ou depois das ressurgências, antes de chegar ao Rio Paranã, nível de base regional.

Nos platôs da Serra do Calcário observam-se profundas dolinas alongadas, que resultam dos afundamentos da rocha sobre os rios subterrâneos. No entanto, as raras pesquisas efetuadas no setor não permitiram evidenciar os vales suspensos ou as relíquias da antiga cobertura arenítica ou pelítica. As outras formas de superfície são aquelas clássicas do carste tropical; relevo ruiforme colonizado pontualmente por uma vegetação xerófila. Mais uma vez faltam as referências cronológicas e as datações, mas as pesquisas no setor estão em sua fase inicial. No entanto, dentro dos calcários observam-se vales de aspectos variados (fig. 20): existem cânions profundos e estreitos, drenados, resultantes de afundamentos recentes do teto das galerias-túneis (Lapa da Terra Ronca), assim como outros cânions muito mais abertos (a jusante da confluência da Lapa do São Bernardo e da Lapa do Palmeiras). Estes podem apresentar sucessões de drenagem superficial e de drenagem subterrânea.

De acordo com as análises hidrogeológicas [Guyot *et al.*, 1996], estima-se que, caso as condições hidro-climáticas atuais persistam, a Serra do Calcário desaparecerá entre 5 e 10 milhões de anos no futuro.

4.4 Discussão

A apresentação dos contextos morfológicos dos sítios permite afirmar que suas evoluções são distintas. O sítio de Lagoa Santa apresenta um carste sob cobertura que foi observado em outros sítios. Os estudos polínicos confirmam a evolução recente do lago, durante o Holoceno. O carste do vale do Rio Peruaçu apresenta uma evolução mais avançada que o de Lagoa Santa, à medida que o desenvolvimento do fluvio-carste se realiza dentro de rochas calcárias desnudas. O sítio do Morro Furado oferece uma evolução mais complexa, com três fases bem marcadas que formam os relevos mais residuais. O sítio de São Domingos apresenta um contexto um pouco diferente: a Serra do Calcário tem o papel de barragem, a exemplo da região "Grands Causses" (sul da França). Esta situação é favorável ao desenvolvimento de cânions do tipo "cluse", mas nenhum foi observado que atravessasse completamente a serra.

Uma outra situação particular e distinta, no sítio de São Domingos, é o dobramento das camadas calcárias do Grupo Bambuí perpendicularmente ao eixo E-W de escoamento das águas recebidas da Serra Geral de Goiás, que se opõe a seu escoamento. Esta situação não é observada nos outros sítios, onde as camadas são sub-horizontais.

No intuito de entender porque os sítios apresentam estados evolutivos diferenciados, foi realizado o estudo da distribuição espacial das formações do Grupo Bambuí. A carta geológica de Braun e Francisconi, atualizada em 1988 [1976 in Braun *et al.*, 1990], dá indícios claros para a questão colocada (fig. 21). Verificamos que a predominância mais importante das rochas calcárias desnudas encontra-se dentro de dois setores: o primeiro, entre o norte do estado

de Minas Gerais e o sudoeste do estado da Bahia, entre Januária e a Serra do Ramalho, onde situam-se os sítios do vale do Peruaçu e do cânion do Morro Furado; o segundo, no setor leste do estado de Goiás, onde se encontra o sítio de São Domingos.

Outros afloramentos mais limitados são observados nas regiões de Montes Claros e Lagoa Santa, onde predominam as coberturas pelíticas. Esta dominação é também observada em toda a parte ocidental do Grupo Bambuí. Nota-se assim que as evoluções dos sítios se diferenciam em função do grau de desnudação do maciço carbonático. As evoluções cársticas mais recentes são situadas nas regiões onde predomina a cobertura pelítica, como por exemplo Lagoa Santa.

Conclusão

O cânion do Morro Furado é o resultado de uma sucessão de fases morfogenéticas nas formações calcárias que acompanham a erosão das coberturas pelíticas e areníticas. No entanto, parece que a redução desta cobertura tem por resultado a diminuição da alimentação em água do cânion, que não consegue mais manter sua atividade fluvial, e a dominância dos processos clásticos. As consequências são a indigência de

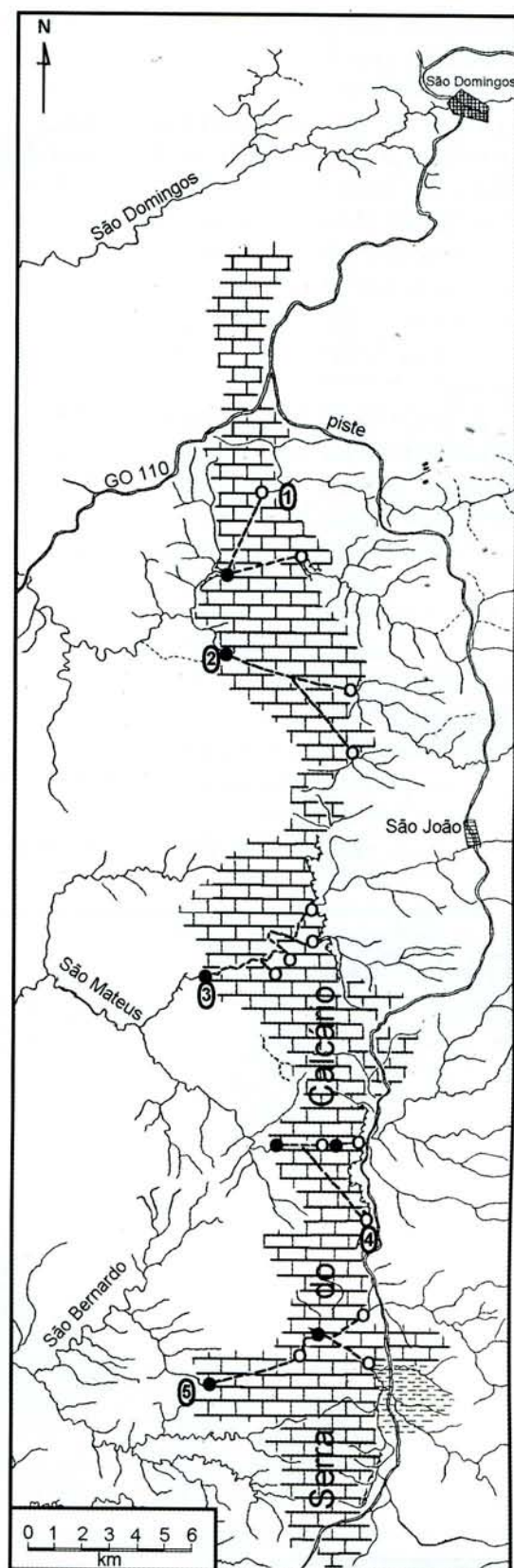


Figura 20:

Plano do carste de São Domingos 1) Angélica/Bezerra; 2) São Vicente, 3) São Mateus; 4) Terra Ronca/Malhada et 5) São Bernardo/Palmeiras.
Plan du karst de São Domingos. 1) Angélica/Bezerra; 2) São Vicente, 3) São Mateus; 4) Terra Ronca/Malhada et 5) São Bernardo/Palmeiras.

circulações, em geral temporárias (durante a estação das chuvas), o desmoronamento de tetos e de paredes de grandes cavernas cársticas, o preenchimento do fundo do cânion sob importantes acumulações clásticas colonizadas pouco a pouco pela vegetação, além de preencher o talvegue com depósitos de inundações (elementos de decantação e areias grossas).

A observação de diferentes sítios cársticos nos calcários Bambuí mostra importantes variações segundo os setores estudados. Nota-se uma gradação de carstes, do menos evoluído (Lagoa Santa), aos mais evoluídos (Morro Furado), passando por estados intermediários (São Domingos, Peruaçu). Assim, acreditamos que exista uma relação entre a importância da cobertura e a conservação do carste, regulado pela alimentação hídrica: a

cobertura (arenosa e pelítica) assegura uma drenagem perene do carste, mas se opõe ao desenvolvimento de grandes morfologias cársticas.

Podemos ainda definir três tipos de desenvolvimento cárstico para as regiões calcárias do domínio Bambuí :

- quando a cobertura é muito importante, ela se opõe ao desenvolvimento espetacular de cânions ou de galerias-túneis (Lagoa Santa) ;

- se a cobertura é muito reduzida, ela não alimenta suficientemente o carste para que ele mantenha as formas espetaculares (Morro Furado) ;

- entre estas duas condições extremas, uma alimentação importante faz evoluir as formas flúvio-cársticas muito rapidamente (São Domingos), e uma alimentação mais pobre permite a predominância de formas de

desmoronamento sobre as formas do fluviocarste (Peruaçu).

Neste estado das pesquisas, é conveniente estudar o mecanismo que possibilita a exposição diferenciada de calcários: erosão ou disposição da cobertura pelítica? É preciso examinar a geometria dos depósitos do domínio Bambuí, a homogeneidade de sua cobertura e o papel da tectônica.

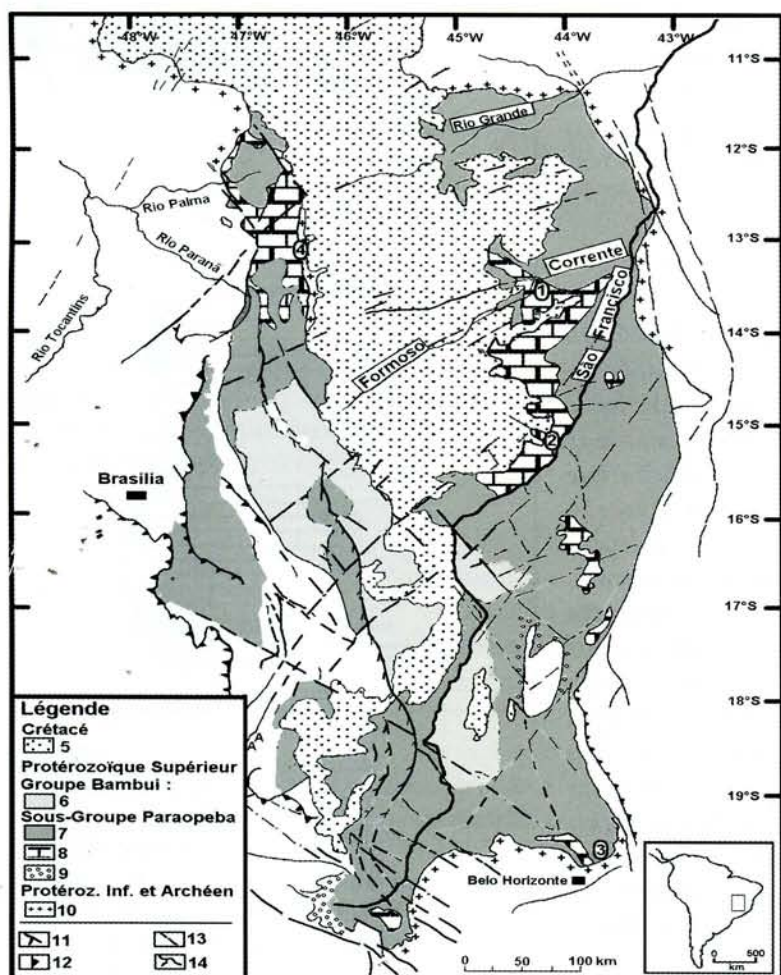
Agradecimentos :

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela atribuição de uma bolsa de pesquisa, ao Instituto Anchietano de Pesquisas (São Leopoldo - RS), ao Instituto Trópico Subúmido (Goiânia-GO), a Marcus Vinícius Beber (arqueólogo), a Jean-Pierre Bataillon (espeleólogo), por seus apoios e ajuda em campo, e a Maria Jacqueline Rodet, pela tradução em Português. 

Figura 21:

Os sítios e a distribuição litológica das formações do Grupo Bambuí e a cobertura arenosa (modificado de Braun et al. 1990). 1) Morro Furado, 2) Peruaçu, 3) Lagoa Santa, 4) São Domingos, 5) Formação Urucuiá, 6) F. Três Marias, 7) predominância de calcopelitos, 8) predominância de afloramentos calcários, 9) conglomerados de base, 10) escudo cristalino, 11) falhas pós Bambuí, 12) falhas ante Bambuí, 13) fraturas 14 e rios e riachos.

Les sites et la distribution lithologique des formations du Groupe Bambuí et de la couverture géseuse (modifié de Braun et al. 1990). 1) Morro Furado, 2) Peruaçu, 3) Lagoa Santa, 4) São Domingos, 5) Formation Urucuiá, 6) F. Três Marias, 7) prédominance de calco pélites, 8) prédominance de affleurements calcaires, 9) conglomérats de base, 10) socle cristallin, 11) failles post Bambuí, 12) failles ante Bambuí, 13) fractures 14 fleuves et rivières.



Bibliografia/Bibliographie

- ALMEIDA, F. e HASUI, Y. 1984. *O Pré-Cambriano do Brasil*. Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 378 pp.
- AULER, A. 1999. *Karst evolution and palaeoclimate of Eastern Brazil*. Thesis, University of Bristol : 268 pp.
- BITENCOURT, A. L. 1998. *Morphogénèse, quaternaire et archéologie en milieu karstique : le site du Morro Furado, Serra do Ramalho (Bahia), Brésil*. Thèse de doctorat, Université de Caen, 212 pp.
- BITENCOURT, A. L. e RODET, J. 1998. Contrôle tectonique et évolution du karst dans le secteur nord-ouest de la Serra do Ramalho (Bahia, Brésil). «Han'98 – Tectonique, karst et séismes», Han sur Lesse (Belgique), 9-12 mars 1998, *Spéléochronos*, n° hors série : 192-196.
- BITENCOURT, A. L. e RODET, J. 2000. Premiers éléments d'évolution karstique sous contrôle tectonique d'un massif calcaire : la Serra do Ramalho (Bahia, Brésil). *Geologica Belgica*, no prelo.
- BÖGLI, A. 1960. Solution of limestone and karren formation. In: SWEETING M. M. (ed.). *Karst geomorphology*, Hutchinson Ross Publishing Company : Benchmark papers in geology / 56; 64-90.
- BRAUN, O. P., MELLO, U. e DELLA-PIAZZA, H. 1990. Bacias proterozóicas brasileiras com perspectivas exploratórias para hidrocarbonetos. In: DE RAJA GABAGLIA, G. P. e MILANI, E. J. (coords.), *Origem e evolução de bacias sedimentares*, 115-131, PETROBRÁS.
- CAMPOS A. B., KOHLER, H. C. e FANTINEL, L. M. 1992. Influências litoestruturais nos padrões de lapiezamento sobre rochas carbonáticas do Grupo Bambuí na região de Itacarambi/MG. Congresso da ABEQUA, Belo Horizonte, Imprensa da UFMG, 3; 3-12.
- COUTARD J.-P., KOHLER, H. C. e JOURNAUX, A. 1978. *Carte du karst, région de Pedro Leopoldo - Lagoa Santa, Minas Gerais, Brasil*. Centre de Géomorphologie du CNRS, 1/50000, Caen.
- DARDENNE M. A. 1978a. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil central. Anais do XXX Congresso Brasileiro de Geologia, Recife, 2; 597-610.
- DARDENNE M. A. 1978b. Geologia do Grupo Bambuí no vale do rio Paranã (Goiás). Anais do XXX Congresso Brasileiro de Geologia, Recife, 2; 611-621.
- GUYOT J.-L. 1996. Hydro-climatologie de la région. "Goiás 94-95 - Carste / karst de São Domingos, Goiás, Brasil", Expéditions Spéléologiques Franco-Brésiliennes, Brasília, 43-51.
- GUYOT J.-L., AULER, A., OGA, D., OBSTANCIAS I. e APPAY, J.-L. 1996. Bilan hydro-géochimique. "Goiás 94-95 - Carste / karst de São Domingos, Goiás, Brasil", Expéditions Spéléologiques Franco-Brésiliennes, Brasília, 52-57.
- JOURNAUX A. 1977. Géomorphologie et préhistoire. Méthodologie pour une cartographie de l'environnement des sites préhistoriques ; l'exemple de Lagoa Santa (Minas Gerais, Brésil). *Norois*, 95bis; 319-336.
- KOHLER C. H. 1978. A evolução morfogênica da Lagoa Santa, MG. Anais do XX Congresso Brasileiro de Geologia, Recife, 1; 147-153.
- KOHLER C. H. 1989. *Geomorfologia cárstica na região de Lagoa Santa - MG*. Tese de doutoramento, Universidade de São Paulo, 113 pp.
- LAMING-EMPERAIRE A., PROUS, A., VILHENA DE MORAIS, A. e BELTRÃO, M. 1975. Grottes et abris de la région de Lagoa Santa, Minas Gerais, Brésil. *Cahiers d'Archéologie d'Amérique du Sud*, 1, Ecole Pratique des Hautes Etudes, Paris, 182 pp.
- MELO FILHO L. S. 1996. Aspects géologiques. "Goiás 94-95 - Carste / karst de São Domingos, Goiás, Brasil", Expéditions Spéléologiques Franco-Brésiliennes, Brasília, 20-23.
- PARIZZI M. G., SALGADO-LABOURIAU, M. L. e KOHLER, H. C. 1997. Genesis and Environmental History of Lagoa Santa, Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology* (sous presse).
- PROUS A. 1992. *Arqueologia brasileira*. Editora da UNB, Brasília, 605 pp.
- PILÓ L. B. 1997. Caracterização regional do carste do vale do Rio Peruaçu. *O Carste*, 9, 22-29.
- PILÓ L. B. e KOHLER, H. C. 1991. Do vale do Peruaçu ao São Francisco : uma viagem ao interior da terra, Januária-Itacarambi. Congresso da ABEQUA, Belo Horizonte, Roteiro de excursão, Imprensa da UFMG, 3; 57-73.
- PROJETO RADAMBRASIL 1982. Levantamento de recursos naturais, folha 1/1000000 SD.23 - Brasília. Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, 29, 645 pp.
- RODET J. 1996. Repères karstologiques. "Goiás 94-95 - Carste / karst de São Domingos, Goiás, Brasil", Expéditions Spéléologiques Franco-Brésiliennes, Brasília, 24-42.
- RODET J. 1997. Observações sobre algumas grutas do cânion do Morro Furado, Coribe, Bahia. *O Carste*, 9; 70-71.
- RODET, J. e RODET, M. J. 2001. Evolution karstique et ressources lithiques archéologiques. L'exemple du Rio Peruaçu (Januária-Itacarambi, Minas Gerais, Brésil). Actes du 11^o Congrès National de Spéléologie, Genève (Suisse), 15-17 septembre 2001 : 129-134.
- SCHMITZ P. I., BARBOSA, A. S., MIRANDA, A., RIBEIRO, M. e BARBOSA, M. 1996. Arqueologia nos cerrados do Brasil central, sudoeste da Bahia e leste de Goiás : o Projeto Serra Geral. *Pesquisas - Antropologia*, 52; 198 pp.
- SCHMITZ P. I., BARBOSA, O. M. e RIBEIRO, M. B. 1997. As pinturas do projeto Serra Geral : sudoeste da Bahia. *Publicações Avulsas*, 12; 116 pp, Instituto Anchieta de Pesquisas, São Leopoldo.
- TRICART J. 1956. O karst das vizinhanças setentrionais de Belo Horizonte (Minas Gerais). *Revista Brasileira de Geografia*, ano XVIII, 4; 451-468.
- TRICART J. e CARDOSO DA SILVA, T. 1961. Un exemple d'évolution karstique en milieu tropical sec : Le morne de Bom Jesus da Lapa (Bahia, Brésil). *Z. Geomorph. N.F.*, 4; 29-42.

L'évolution morphologique du Canyon du Morro Furado dans le contexte des calcaires karstifiés du Groupe Bambuí (Serra do Ramalho, Bahia, Brésil)

Ana Luisa Viatti Bitencourt
Instituto Anchieta de Pesquisas

Joël Rodet
Grupo Bambuí de
Pesquisas Espeleológicas
Laboratoire de Géologie
Université de Rouen

Le Groupe Bambuí correspond à une grande unité géologique et morphologique ; il est formé par des séquences de roches péliito-carbonatées du Protérozoïque supérieur. La grande extension territoriale du Groupe Bambuí (plus de 300 000 km²) distribuée entre Minas Gerais, l'est de Goiás/Tocantins et le sud-ouest de Bahia, est marquée par des évolutions différentes des formes karstiques, qui constituent les paysages de plusieurs sites spéléologiques, paléontologiques et archéologiques. Les recherches réalisées dans le domaine du karst du Groupe Bambuí et dans les sites associés sont encore dispersées et non replacées dans le contexte général de l'évolution du karst du massif carbonaté. Plusieurs cavités souterraines ont été explorées et exploitées seulement du point de vue topographique et les recherches dans les sites paléontologiques et archéologiques sont, le plus souvent ponctuelles, réalisées en dehors du contexte morphogénétique du karst. Quelques travaux ont été réalisés sur l'évolution des formes karstiques superficielles à l'exemple de TRICART (1956), TRICART et SILVA (1961) et CAMPOS et al. (1992).

Dans ce contexte, le site le plus étudié est celui de Lagoa Santa (Minas Gerais). Plusieurs travaux ont été réalisés : COUTARD et al. (1978), KOHLER (1978 et 1989) sur l'évolution morphogénétique du site ; LAMING-EMPERAIRE et al. (1975) et PROUS (1992) sur le contexte archéologique ; JOURNAUX (1977) sur le contexte géomorphologique des sites archéologiques et plus récemment PARIZZI et al. (sous

presse) sur la genèse environnementale du lac de Lagoa Santa.

D'autres recherches se développent actuellement dans d'autres secteurs du Groupe Bambuí, à l'exemple de PILO et KOHLER (1991), PILO (1997) et RODET et RODET (2001) sur le site de la vallée du Peruagu, dans le nord de l'Etat de Minas Gerais, et RODET (1996) sur le site de São Domingos, dans l'est de l'Etat de Goiás, dans le cadre des Expéditions Spéléologiques Franco-Brésiliennes.

Le canyon du Morro Furado, situé dans la Serra do Ramalho, au sud-ouest de l'Etat de Bahia, présente un modèle complexe d'évolution du karst, offrant un cas inédit et unique jusqu'à ce jour dans le domaine du Groupe Bambuí (BITENCOURT, 1998 ; BITENCOURT et RODET, 1998, 2000). Des travaux sur des sites archéologiques dans le canyon ont été publiés par SCHMITZ et al. (1996) et SCHMITZ et al. (1997).

La position géographique du canyon dans le secteur nord du domaine sert de point de comparaison avec les sites du secteur sud, comme ceux de Lagoa Santa et de la vallée du Peruagu, et celui du secteur ouest comme São Domingos. La comparaison de l'évolution morphologique du canyon du Morro Furado avec celle d'autres sites du domaine permet de réaliser une première approche de l'évolution du karst dans les différents secteurs du Groupe Bambuí.

1 - Le site et le milieu naturel

Le canyon du Morro Furado se développe sur le versant ouest de la Serra do Ramalho, entre 44° 15' et 44° 12' de longitude ouest et 13° 08' et 13° 06' de latitude sud, dans le municipe de Coribe, au sud-ouest de l'Etat de Bahia, (fig. 1).

La Serra do Ramalho est constituée par les séquences péliito-carbonatées du Groupe Bambuí, qui forment le bassin du São Francisco, "bassin de couverture cratonique" du Protérozoïque supérieur (BRAUN et al., 1990). Cette couverture a évolué "en plate-forme stable, entre 800 Ma et 500 Ma, après la stabilisation du craton précambrien du São Francisco" (ALMEIDA et HASUL, 1984), (fig. 2).

1.1 - Le cadre géologique du Groupe Bambuí

La lithostratigraphie du Groupe Bambuí est très variable à cause de son extension territoriale et de ses variations latérales de faciès. Plusieurs colonnes stratigraphiques ont été proposées dans les différentes régions. Nous allons suivre les travaux de DARDENNE (1978a et b) et de BRAUN et al. (1990) pour présenter l'évolution générale du Groupe Bambuí qui constitue le bassin du São Francisco.

Dans les Etats de Minas Gerais, Goiás et Bahia, la base du Groupe Bambuí présente des contacts discordants avec des lithologies diverses et complexes du socle cristallin, d'âges archéen à protérozoïque inférieur (BRAUN et al., 1990).

Le Groupe Bambuí est constitué par les Formations Jequitai, Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra de Saudade et Três Marias. La Formation Jequitai représente la base du Groupe Bambuí, notamment dans l'Etat de Goiás ; elle est formée de conglomérats d'origine glaciaire (DARDENNE, 1978a). Cette formation est discontinue ; on ne la trouve pas dans la Serra do Ramalho ni dans d'autres régions du domaine. Les Formations Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra de Saudade sont regroupées dans le Sous-Groupe Paraopeba, qui représente une sédimentation de plate-forme carbonatée en milieu littoral et marin. La sédimentation devient de plus en plus détritique à partir de la Formation Serra da Saudade, qui représente une sédimentation en milieu deltaïque. La Formation Três Marias possède une sédimentation essentiellement détritique formée en milieu fluvial. Les lithologies de chaque formation sont indiquées dans la figure 3.

Dans la Serra do Ramalho sont observées essentiellement les lithologies du Sous-Groupe Paraopeba, comme les calcaires et les dolomies de la Formation Sete Lagoas, les siltites et les roches feuilletées de la Formation Santa Helena, les calcaires noirs et oolithiques et les dolomies de la Formation Lagoa do Jacaré, ainsi que les pélites de la

Formation Serra da Saudade. Les Formations Jequitai et Três Marias sont absentes dans la région du canyon du Morro Furado.

Le bassin du São Francisco a été affecté par les mouvements compressifs de direction SSE-NNW du cycle tectonique "Brasiliiano", entre 700 Ma et 450 Ma. Ces mouvements ont provoqué des déformations et des plis isoclinaux dans la bordure ouest du bassin, dans la région de São Domingos, dans l'Etat de Goiás. Les déformations et les plis deviennent de plus en plus atténués vers le secteur central. Dans la Serra do Ramalho, le bassin possède des reliefs monoclinaux, avec un réseau de failles normales de direction générale NE-SW et NW-SE. Dans l'extrême nord, dans l'Etat de Bahia, des failles inverses de direction ENE-WSW, avec chevauchement vers le sud, limitent le bassin (DARDENNE, 1978a et b ; BRAUN et al., 1990).

Les réseaux de failles normales de directions NE-SW et NW-SE dans la Serra do Ramalho déterminent les principales directions du développement du réseau karstique.

Un grand hiatus sépare les séquences du Groupe Bambuí des formations gréseuses du Crétacé, réunies dans la Formation Urucua. Ces formations recouvrent une grande étendue, notamment dans la zone centrale du domaine Bambuí (plateau de la Serra Geral), et plus résiduellement, sous forme de buttes témoins, dans les zones périphériques du plateau, dans les vallées du São Francisco et du Pananá. Elles constituent la principale source de ces bassins.

1.2 - Le cadre climatique

La position du site dans le domaine Bambuí conditionne sa situation de transition climatique entre le tropical sub-humide des secteurs sud-est et centre-ouest, dans les Etats de Minas Gerais et Goiás, et le tropical semi-aride du secteur nord, dans l'Etat de Bahia. La région où se localise le canyon, présente un climat chaud avec deux saisons bien marquées : l'une sèche, entre mai et septembre (l'hiver), et l'autre pluvieuse, entre novembre et mars (l'été).

Les deux saisons sont contrôlées par le déplacement de la zone de convergence intertropicale (ZCIT), en hiver (juillet) vers l'Amazonie, et en été (janvier) vers les latitudes du plateau central, vers Goiás. Le recul de la ZCIT vers le nord en hiver provoque la chute de l'humidité et assure la pénétration de vents chauds et secs de direction nord-est dans la région, permettant l'installation de la période sèche. Dans la région du site, la saison sèche a lieu de mai à septembre ; les mois les plus secs sont juin, juillet et août, avec des précipitations inférieures à 10 mm. Le déplacement de la ZCIT vers le sud en été, permet l'installation du système perturbateur de nord-ouest dans la région, provoquant les fortes pluies de la saison pluvieuse. La période pluvieuse a lieu de novembre à mars ; les pluies se concentrent entre novembre et janvier, avec des précipitations supérieures à 180 mm (PROJETO RADAMBRASIL, 1982). Les variations des températures et des précipitations, selon les altitudes et la durée de chaque saison, sont les facteurs responsables des différences climatiques dans le domaine du Groupe Bambuí (fig. 4).

2 - Matériels et méthodes

L'analyse morphologique du canyon du Morro Furado a été réalisée à partir d'observations de terrain, de relevés topographiques et de l'analyse des photographies aériennes à grande échelle (environ 1:17100). Nous avons réalisé deux missions sur le terrain, une pendant la saison sèche, en juillet 1995, et l'autre au début de la saison des pluies, en novembre 1996. Nous avons observé la dynamique du canyon et de la région environnante dans les périodes sèche et humide.

Le relevé du profil topographique du canyon a été réalisé par la méthode du nivellement altimétrique, en utilisant un niveau de précision, une mire graduée, une boussole et un GPS pour le positionnement du point de référence. Le calcul des données topographiques et l'établissement du profil ont été réalisés sur Microsoft Excel.

Les données des sites de comparaison ont été obtenues, d'une part, par des

observations de terrain, dans le cadre de l'Expédition Spéléologique Franco-Brésilienne à São Domingos, et d'autre part, à partir de la consultation des travaux de plusieurs auteurs, en particulier : BRAUN et al. (1990) pour la carte géologique du Groupe Bambuí, COUTARD et al. (1978), KOHLER (1978 et 1989), PARIZZI et al. (sous presse) pour le site de Lagoa Santa, par PILO et KOHLER (1991), PILO (1997) et RODET et RODET (2001) pour le site de la vallée du Peruacu, et RODET (1996) pour le site de São Domingos.

3 - Description et interprétation morphogénétique du canyon du Morro Furado

3.1 - Les éléments morphologiques

L'entaille du canyon dans le versant ouest de la Serra do Ramalho fait partie du bassin d'alimentation du Corrego (ruisseau) Santana, modeste affluent de la rivière Formoso, issu d'une timide résurgence du Corrego Mamona, située à la sortie d'une grande cavité souterraine, la Gruna da Mamona (G8), à 600 m en aval du Morro Furado (fig. 5). L'entaille du canyon est orientée selon la direction du système de fractures N80° du massif.

L'analyse du profil du canyon du Morro Furado met en évidence plusieurs éléments constitutifs de l'ensemble morphologique du canyon, notamment des phases évolutives distinctes. L'ensemble morphologique du canyon est constitué de quatre éléments principaux :

La grotte-tunnel aval (Gruna do Morro Furado), est une galerie-tunnel de 160 m de développement, qui a donné le nom de "Morro Furado" (morne percé) ; elle correspond à l'élément morphologique le plus aval du canyon (fig. 6). Son altitude d'environ 540 m la situe au-dessus des drainages karstiques actuels ; elle représente un ancien niveau de base. Des peintures rupestres sur les murs de la galerie marquent le passage de l'homme préhistorique (SCHMITZ et al., 1997).

Le polygone correspond à une surface irrégulière d'approximativement 1,5 km², modelée en dépressions dans la partie

ouest, vers la galerie-tunnel, et dans la partie est, vers le débouché aval du canyon. Il est aussi situé au-dessus des drainages karstiques actuels. La surface du polygone est délimitée par les parois verticales du calcaire encaissant, qui ont été dégagées latéralement par reculs successifs (fig. 7).

Le canyon constitue une entaille de 1,2 km dans le versant ouest du massif calcaire de la Serra do Ramalho. Il présente deux importantes zones de creusement, qui ont évolué à partir des différentes phases d'effondrement, provoquées par les variations successives du niveau de base (fig. 8).

La zone de creusement I, la plus profonde, atteint 46 m de dénivelé par rapport au débouché aval du canyon. Son versant ouest est le plus abrupt et présente un développement en marches, qui marquent trois étapes d'effondrement. La première marche est constituée par une petite pente jusqu'aux environs de 558 m d'altitude. Des dépôts conglomératiques résiduels sont observés au sommet de cette pente, sur la paroi nord du canyon (fig. 9). La deuxième marche se développe jusqu'à 542 m, présentant, dans sa partie supérieure, un abri sous-roche, avec des vestiges archéologiques, qui a été étudié par SCHMITZ et al. (1996). La troisième marche se développe jusqu'au niveau de base actuel de cette zone, à 514 m d'altitude, où se localisent les cavités «Gruna da Água» (G1) et «Sumidouro do Morro Furado» (G2), toutes deux développées sur l'axe transversal du canyon, selon la direction du réseau des failles N335° du massif carbonaté. La grotte «Gruna da Água» se situe dans la paroi sud du canyon et présente une entrée basse (2 m de hauteur) d'environ 15 m de largeur qui permet d'accéder à une galerie de 40 m de longueur, remplie d'eau, au toit très bas (fig. 10). Apparemment, la perte d'eau est bloquée pendant la période des pluies, quand le niveau du lac augmente de quelques dizaines de mètres, selon l'observation de RODET (1997). La perte «Sumidouro do Morro Furado» s'ouvre dans la paroi nord du canyon, par un conduit d'environ 30 m de hauteur, 20 m de largeur et de plus de 1000 m de développement. Dans le porche d'entrée, il y a eu au moins deux phases

anciennes de remplissage conglomératique. Ces phases sont marquées par le degré élevé de lithification et par l'aspect résiduel des dépôts qui recouvrent quelques secteurs du toit et des murs latéraux de la cavité (fig. 11). Plus loin, le conduit présente des remplissages caillouteux et sableux meubles, qui se disposent au long d'un lit activé temporairement.

Le versant est de la zone de creusement I est moins abrupt et atteint 575 m d'altitude ; le sommet, situé presque au niveau de la surface rocheuse du massif, sert de limite entre les deux zones de creusement du canyon. Une marche aux environs de 542 m se trouve sur ce versant, équivalant à celle du versant opposé située au même niveau.

La zone de creusement II présente un dénivelé de 15 m par rapport au débouché aval du canyon. L'analyse de ce secteur permettra d'envisager au moins deux phases de creusement : l'une matérialisée par la marche qui se termine vers 552 m sur le versant ouest, et l'autre par la surface actuelle de cette zone. Nous supposons que la marche de 552 m de cette zone peut être l'équivalent amont de l'étape de creusement qui a formé la marche de 542 m de la zone de creusement I, en considérant l'inclinaison générale du versant. Nous pensons que cette zone a évolué par reculs progressifs de la tête en amont du canyon, à partir de la déstabilisation et du recul de la couverture pélitique, causés par les variations du niveau de base. Dans cette zone, se trouvent les grottes G3 (Gruna do Salão do Morro Furado), G4 (Gruna dos Mocós) et G7, toutes les trois dans l'axe transversal du canyon, sur la paroi sud.

La grotte-tunnel amont, ou «Gruna da Ponte do Morro Furado» (G5), est aussi une galerie-tunnel d'approximativement 380 m de développement (fig. 12). Elle réalise la liaison entre le canyon proprement dit et la vallée située au contact des dolomies de la Formation Lagoa do Jacaré avec les pélites de la Formation Serra da Saudade. Les eaux de pluie doivent couler dans la vallée, traverser la galerie et s'arrêter dans la sortie vers le canyon, formant un lac. Ceci est vérifié par la formation des dépôts d'argiles de décantation, fait qui nous

permet de constater la difficulté de l'écoulement des eaux pendant la saison des pluies (fig. 13). Cette difficulté est aussi observée dans la Gruna da Água (G1) au moment de l'augmentation des eaux du lac qui se trouvent alors bloquées.

Nous distinguons encore deux autres formes importantes liées à la dynamique du karst, et, par conséquent, à la dynamique d'évolution du canyon : la Gruna da Mamona (G8) en aval du Morro Furado, qui correspond à l'actuel niveau de base, avec les résurgences karstiques fonctionnelles, et l'aven (Grunas do Anjo) situé au sud-est de la grotte (G6). Les informations relatives à ces éléments ont été obtenues à partir de l'observation des photographies aériennes. Elles nous donnent des renseignements sur les étapes de l'élargissement du canyon.

3.2 - Première approche de l'évolution de l'ensemble morphologique du canyon

Les éléments décrits ci-dessus présentent au moins trois étapes d'approfondissement et d'ouverture latérale du canyon (fig. 14), selon les propositions suivantes :

Phase I - Nous supposons dans cette étape qu'il existait déjà une surface ouverte, élaborée à partir des reculs latéraux des parois calcaires dans le secteur où se trouve l'actuel polygone. La partie amont du canyon était encore fermée sous la couverture de pélites. Dans la partie aval, dans le secteur de la zone de creusement I, le canyon était souterrain. Les dépôts conglomératiques résiduels, qui se trouvent aujourd'hui dans la partie supérieure de la première marche qui marque cette phase, sont les témoins d'une ancienne sédimentation souterraine. La position du dépôt indique aussi que le régime de circulation des eaux karstiques se développait dans l'axe longitudinal du canyon (fig. 14a). Par la suite, nous pensons que la coalescence d'aven, formés par la déstabilisation du toit du conduit souterrain, a provoqué l'ouverture du canyon, à l'exemple de l'aven des Grunas do Anjo situé à quelques centaines de mètres au sud-ouest de la grotte G6. Les effondrements dans la partie aval du canyon ont probablement provoqué des

déstabilisations en amont, favorisant la formation d'une grotte-tunnel avec l'ouverture d'une vallée dans la couverture pélitique (fig. 14b).

Phase II - Un nouveau niveau de base s'installe, provoquant la déstabilisation de la surface du polygone et la formation de la galerie de la Gruna do Morro Furado. Dans le canyon, cette nouvelle étape a provoqué des approfondissements dans les zones de creusement, marqués par les marches de 542 m de la zone I et 552 m de la zone II, ainsi que l'élargissement des parois du canyon. Dans cette phase s'est développé un nouveau réseau dans l'axe transversal du canyon ; les grottes liées à cette étape se trouvent aujourd'hui suspendues et fossilisées (fig. 15). Le début de la formation de l'abri situé dans le versant ouest de la zone de creusement I a eu lieu au cours de cette phase. L'ouverture en amont du canyon a évolué, avec la formation et l'élargissement des avens et le recul de la grotte-tunnel dans la zone de creusement II, avec le début de l'encaissement de la vallée dans les dolomies (fig. 14c-d).

Phase III - Plus récente, elle a évolué à partir d'un nouveau creusement, suivi par une nouvelle variation du niveau de base, avec le développement des Gruna da Água (G1), Sumidouro do Morro Furado (G2) et Gruna do Salão do Morro Furado (G3), dans l'axe transversal du canyon. En amont, a eu lieu le développement de la Gruna da Ponte do Morro Furado (G5), avec l'encaissement de la vallée dans les dolomies, et aussi dans la couverture pélitique qui se trouve actuellement plus reculée vers l'est. La circulation horizontale des eaux se trouve limitée et discontinuée entre le polygone et les petites vallées situées à l'intérieur des zones de creusement, activées seulement dans la saison des pluies. La capture des eaux de pluie a lieu dans l'axe transversal du canyon, où se développe actuellement le réseau souterrain.

Nous ne pouvons pas affirmer que la phase III est actuelle, car il existe au moins deux stades d'évolution du remplissage ancien, notamment dans le

Sumidouro do Morro Furado (G2) et la Gruna do Salão do Morro Furado (G3). Nous pouvons considérer que le profil actuel du canyon est un témoin de la phase III et que l'évolution actuelle est marquée par les sédiments meubles à l'intérieur des conduits, par la formation actuelle des spéléothèmes et par les éboulis qui tombent de la paroi du canyon (fig. 14e).

3.3 - Discussion

Dans cette évolution, nous pouvons remarquer les faits suivants :

- le canyon observé présente une évolution complexe, marquée par une succession de phases de formation des conduits souterrains suivies par les effondrements de leur toit (fig. 16). Il en résulte une succession morphologique polyphasée d'âges et stades différents.

- les différences entre la disposition des anciens dépôts conglomératiques, situés dans l'axe longitudinal sur la première marche de la zone de creusement I, et le développement des réseaux souterrains dans l'axe transversal du canyon, à partir de la deuxième phase, signalent les changements du régime préférentiel de circulation des eaux karstiques.

- la forme actuelle du canyon est, en réalité, une forme fossile de la phase III, car l'évolution des cavités souterraines, situées au fond des zones de creusement, marque au moins trois phases de remplissage, deux phases anciennes, avec des dépôts conglomératiques très lithifiés et résiduels, et une phase plus récente, avec la formation des dépôts meubles. La phase actuelle d'évolution du canyon est marquée par les formations des dépôts meubles et de spéléothèmes à l'intérieur des cavités et, à l'extérieur, par les dépôts de décantation, en zones favorables à la formation de lacs, et par les éboulis frais qui tombent de la paroi du canyon.

- actuellement, la circulation des eaux se trouve désorganisée, le drainage est activé seulement par les eaux de pluie, qui coulent dans les petites vallées sèches à l'intérieur du canyon et sont ensuite capturées par l'actuel réseau transversal souterrain. Pendant la saison des pluies les eaux d'infiltration, provenant des fissures et des avens, entrent aussi dans le système de circulation transversale, où

la circulation se trouve bloquée dans certaines cavités, par exemple la Gruna da Água (G1), formant des siphons. Pendant la saison sèche, le niveau des lacs baisse, parfois jusqu'à l'assèchement total, laissant place à des argiles de décantation.

- les eaux de circulation transversale du réseau souterrain actuel sont postérieurement capturées par un autre réseau de circulation horizontale, parallèle à l'axe est-ouest du canyon, où se développent d'autres réseaux souterrains donnant, à l'aval du Morro Furado, les résurgences qui font partie du bassin d'alimentation de la rivière Formoso, à l'exemple de la résurgence G8 (Gruna da Mamona). Cette grotte représente l'actuel niveau de base.

- chaque phase d'effondrement correspond à un abaissement du niveau de base et à une nouvelle phase karstique. Ainsi, probablement, le polygone correspondait au niveau de base de la phase I, la grotte-tunnel de la "Gruna do Morro Furado" au niveau de base de la phase II et la Gruna da Mamona (G8) aux niveaux de la phase III et actuel.

- nous ne disposons pas d'éléments chronologiques pour situer les phases dans le temps, nous pouvons seulement constater leur évolution à partir de la disposition spatiale des éléments décrits ci-dessus.

4 - Corrélations et évolution des phénomènes karstiques dans le domaine Bambuí

L'évolution morphologique du canyon du Morro Furado se distingue de celles des sites de Lagoa Santa, de la Vallée du Peruaçu et de São Domingos.

4.1 - Lagoa Santa

Les études de KOHLER (1978, 1989) montrent que le site de Lagoa Santa (COUTARD et al., 1978) a évolué à partir de la dissolution et d'effondrements de la roche calcaire, sous la couverture pélitique (fig. 17). Il estime que l'évolution morphogénétique du site a eu lieu à la fin du Tertiaire et au début du Quaternaire lorsque les mouvements tectoniques du Pliocène-Pleistocène ont provoqué plusieurs escarpements et

réactivations des anciennes zones de failles. La base de la dépression est constituée par des roches argileuses imperméables qui retiennent un lac, alimenté par les eaux de pluie qui coulent des hauteurs environnantes et la rivière Francisco Pereira qui coule dans le secteur SE du lac. Les études polliniques récentes, réalisées par PARIZZI et al. (sous presse), indiquent quatre phases de variations climatiques associées à la genèse du lac pendant l'Holocène, entre 6 200 ans BP et 1 440 ans BP. La phase I, avant 6 200 ans BP, indique une période sèche, avec probablement un climat semi-aride ; la phase II, entre 6 000 ans BP et 4 600 ans BP, signale une augmentation d'humidité, avec un climat similaire à l'actuel ; la phase III, entre 3 000 et 1 600 ans BP, marque une période de forte humidité, avec la diversification de la flore arborée et la phase IV, de 1 600 ans BP vers le récent, marque la diminution de l'humidité jusqu'aux valeurs actuelles.

4.2 - Peruagu

Les travaux de PILO et KOHLER (1991), PILO (1997) et RODET et RODET (2001) présentent quelques aspects de l'évolution morphologique du site de la vallée du Peruagu (fig. 18). Ce site se trouve dans l'extrême nord de l'Etat de Minas Gerais, où le contexte de l'évolution du karst est plus proche de celle du canyon du Morro Furado, situé approximativement à 150 km plus au nord, dans l'Etat de Bahia. Le site de la vallée du Peruagu est constitué par un fluviokarst, avec formation de canyons. Dans cette région, les roches calcaires sont mises à nu, présentant des reliefs ruiniformes, avec développement de formes fondamentales comme les rillenkareens et les karrens décrits par BÖGLI (1960). Le fluviokarst est soutenu, d'une part, par les eaux de la rivière Peruagu qui prend sa source dans les formations gréseuses, assurant la pérennité de la rivière, et d'autre part, par les eaux d'infiltration du massif. La morphogenèse du site reste mal connue, mais présente de nombreuses similitudes avec le modèle proposé pour le Morro Furado, notamment les phases de

creusement des conduits souterrains accompagnant l'enfoncement du niveau de base, ce qui permet de penser à une évolution guidée par des conditions régionales valables pour toute la partie centrale du bassin du São Francisco (AULER, 1999 ; RODET et RODET, 2001).

4.3 - São Domingos

Les études de RODET (1996) montrent que le karst de São Domingos (fig. 19) s'est développé à partir d'une position de barrage que la Serra do Calcário, plissée selon un axe N-S, oppose à l'écoulement des eaux issues des formations gréseuses de la Serra Geral de Goiás (à l'est), en direction du bassin du Paranã (à l'ouest). Les rivières puissantes (de 0,8 m³/s à plus de 5 m³/s à l'étiage), alimentées toute l'année par l'important réservoir de la Serra Geral (GUYOT, 1996) traversent souterrainement (le plus souvent), le barrage calcaire par d'impressionnantes galeries-tunnels (fig. 20). Comme la région subit les processus d'érosion depuis plusieurs dizaines de millions d'années (MELO FILHO, 1996), les calcaires ont été largement dégagés de leur couverture pélitique et gréseuse. Dans les galeries-tunnels, les cours d'eau sont fixés par le soubassement granito-gneissique peu soluble dans lequel ils ont creusé ponctuellement des canyons souterrains. Les drainages sont très hiérarchisés mais ils reçoivent peu d'affluents sous terre : l'essentiel des confluences se réalise en amont, dans la dépression subséquente, ou au-delà des résurgences, avant d'atteindre le Rio Paranã, niveau de base régional.

Sur les plateaux de la Serra do Calcário, on observe de profondes dolines allongées qui sont des effondrements sur les drains souterrains. Cependant la rareté des recherches effectuées à ce jour n'a pas permis de mettre en évidence des vallées perchées ou des témoignages de l'ancienne couverture gréseuse ou pélitique. Les autres formes de surface sont celles classiques des karsts tropicaux ; reliefs ruiniformes colonisés ponctuellement par une végétation xérophile. Ici encore, les repères

chronologiques et les datations manquent, mais les recherches ne font que commencer. Cependant, on observe des vallées dans les calcaires, d'aspects variés (fig. 20) : il y a des canyons profonds et étroits, drainés, résultant de l'effondrement récent du toit des galeries-tunnels (Lapa da Terra Ronca) alors que d'autres sont largement ouverts (en aval de la confluence des Lapa do São Bernardo et Lapa do Palmeiras) et peuvent présenter des successions de partie drainée superficiellement et de partie drainée souterrainement (Lapa do São Bernardo III). La morphogenèse du site reste inconnue, mais il semble qu'une phase de creusement superficiel ait précédé la phase de circulation souterraine. D'après les analyses hydrogéologiques réalisées, GUYOT et al. (1996) estiment qu'en 5 à 10 Ma, la Serra do Calcário aura disparu si les conditions hydro-climatiques actuelles persistent.

4.4 - Discussion

La présentation des contextes morphologiques de ces sites nous permet d'observer que leurs évolutions sont distinctes. Le site de Lagoa Santa présente un karst sous couverture que l'on n'observe pas dans les autres sites. Les études polliniques confirment l'évolution récente du lac, au cours de l'Holocène. Le karst de la vallée du Peruagu présente une évolution plus avancée que celle de Lagoa Santa dans la mesure où le développement du fluviokarst se réalise dans les roches calcaires dénudées. Le site du Morro Furado offre l'évolution la plus complexe, avec trois phases d'évolution bien marquées, formant les reliefs les plus résiduels. Le site de São Domingos présente un contexte un peu différent, la Serra do Calcário jouant le rôle de barrage, à l'image des Grands Causses (dans le sud de la France). Cette situation est favorable au développement de canyon de type "cluse", mais aucun n'est connu, qui traverse entièrement le chaînon calcaire. Une autre situation particulière et distincte, dans le site de São Domingos, est le plissement des couches calcaires du Groupe Bambuí perpendiculairement à l'axe E-W d'écoulement des eaux issues de la Serra Geral de Goiás, qui s'oppose

à leur écoulement. Cette condition n'est pas observée dans les autres sites, dont les couches sont subhorizontales.

Pour comprendre pourquoi les sites présentent des stades évolutifs différenciés dans le domaine du Groupe Bambuí, nous avons réalisé l'étude de la distribution spatiale des formations du Groupe Bambuí. La carte géologique de BRAUN et FRANCISCONI (1976 in BRAUN et al., 1990), actualisée en 1988, est claire et donne la réponse (fig. 21). Nous avons vérifié que la prédominance la plus importante de roches calcaires dénudées se trouve dans deux secteurs : l'un, entre le nord de l'Etat de Minas Gerais et le sud-ouest de l'Etat de Bahia, entre Januária et la Serra do Ramalho où se trouvent les sites de la vallée du Peruaçu et du canyon du Morro Furado, et l'autre dans le secteur est de l'Etat de Goiás où se trouve le site de São Domingos. D'autres affleurements plus limités sont observés dans les régions de Montes Claros et Lagoa Santa, où prédominent les couvertures pélitiques. Cette dominance est aussi observée dans toute la partie occidentale du Groupe Bambuí. Nous pouvons ainsi remarquer que les évolutions des sites se différencient en fonction du degré de dénudation du massif carbonaté. Les évolutions karstiques les plus anciennes se trouvent, logiquement, dans les secteurs où la roche carbonatée a été exposée le plus longtemps.

Les sites qui présentent les évolutions karstiques les plus récentes sont situés dans les régions où prédomine la couverture pélitique, à l'exemple de Lagoa Santa.

Conclusion

Le canyon du Morro Furado est le résultat d'une succession de phases morphogénétiques qui accompagnent le dégagement des formations calcaires de leur couverture périto-gréseuse. Il semble cependant que la réduction de cette couverture ait pour incidence la diminution de l'alimentation en eau du canyon qui, de ce fait, ne parvient plus à maintenir son activité fluviale, au profit des processus clastiques. Les conséquences sont l'indigence des circulations, le plus souvent temporaires (pendant la saison des pluies), l'effondrement des voûtes et des parois des grandes cavités karstiques, l'empâtement du fond du canyon sous d'importantes accumulations clastiques colonisées peu à peu par la végétation, l'encombrement du talweg par des dépôts de crue (éléments de décantation et sables grossiers).

L'observation des différents sites karstifiés des calcaires Bambuí montre d'importantes variations selon les secteurs étudiés. On observe une gradation des karsts, des moins évolués (Lagoa Santa), vers les plus évolués (Morro Furado), en passant par des stades intermédiaires (São Domingos, Peruaçu), mais on constate

aussi que la couverture périto-gréseuse est la plus importante à Lagoa Santa, la plus ténue au Morro Furado, et que les modèles intermédiaires offrent soit une formation gréseuse importante mais en amont du karst (São Domingos), soit une couverture périto-gréseuse modérée (Peruaçu). Il existe donc une relation entre l'importance de la couverture et l'entretien du karst, régulé par l'alimentation hydrique : la couverture (gréseuse et pélitique) assure un drainage pérenne du karst, mais elle s'oppose au développement de grandes morphologies karstiques.

On peut ainsi définir trois types de développement karstique pour les régions calcaires du domaine Bambuí :

- si la couverture est trop importante, elle s'oppose au développement spectaculaire des canyons ou des galeries-tunnels (Lagoa Santa),

- si la couverture est trop réduite, elle n'alimente plus suffisamment le karst pour qu'il puisse maintenir ses formes spectaculaires (Morro Furado),

- entre ces deux conditions extrêmes, une alimentation importante fait évoluer les formes fluvio-karstiques très rapidement (São Domingos), et une alimentation plus faible permet la prédominance des formes d'effondrement sur celles du fluviokarst (Peruaçu).

A ce stade de la recherche, il convient d'étudier le mécanisme à l'origine d'une exposition différentielle des calcaires : érosion ou disposition de la couverture pélitique ? Il faudra examiner la géométrie des dépôts du domaine Bambuí, l'homogénéité de sa couverture et le rôle de la tectonique.

Remerciements :

A la CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pour l'attribution d'une bourse de recherche, l'Instituto Anchietano de Pesquisas (São Leopoldo - RS), l'Instituto do Trópico Subúmido (Goiânia - GO), Messieurs Marcus Vinicius Beber (archéologue) et Jean-Pierre Bataillon (spéléologue), pour leur appui et l'aide sur le terrain, et à Maria Jacqueline Rodet pela tradução pelo português.

