

## ESPELEOGÊNESE EM QUARTZITOS DA SERRA DO IBITIPOCA, SUDESTE DE MINAS GERAIS

Atlas V. CORRÊA NETO & João BAPTISTA FILHO

Departamento de Geologia  
e-mail: ATLAS@IGEO.UFRJ.BR

### SPELEOGENESIS IN QUARTZITES FROM THE IBITIPOCA RANGE, SOUTHEASTERN MINAS GERAIS

#### ABSTRACT

The caves built in quartzites at the Ibitipoca Range are part of hierarquized underground drainage systems. Speleogenesis was a two-stage process, following the sanding/piping model. In the first stage, porosity was generated by feldspar and phyllosilicates alteration and silica solution from quartz. The essential conditions for cave development were: (1) a large difference between local and regional base levels; (2) presence of rock layers specially susceptible to sanding and piping processes (fine-grained micaceous quartzite) and (3) a sequence of cycles of stability and uplift. Different cave patterns and sizes can be explained by changes in one or more of the above conditionants.

Keywords: speleogenesis, quartzite, Brazil.

#### RESUMO

As cavernas em quartzito na Serra do Ibitipoca são parte de redes hierarquizadas de drenagens subterrâneas. A espeleogênese foi um processo de dois estágios, seguindo o modelo *sanding/piping*. A alteração intempérica de feldspatos e filossilicatos e a dissolução de sílica gerou porosidade inicial nos quartzitos, durante o primeiro estágio. As condições essenciais para a espeleogênese foram: (1) grande diferença entre o nível freático local e o nível de base regional; (2) presença de camadas de rocha especialmente favoráveis aos processos de *sanding* e *piping* (quartzito fino micáceo) e (3) ciclos sucessivos de estabilidade e soerguimento. Diferenças na morfologia e tamanho das cavernas podem ser explicadas por mudanças em um ou mais dos fatores acima.

Palavras-chave: espeleogênese, quartzitos, Minas Gerais.

#### 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A Serra do Ibitipoca é formada por quartzitos pertencentes ao Gp. Andrelândia (Ebert, 1955; Trouw *et al.*, 1983), composto por metassedimentos com médio a alto grau de metamorfismo. Esta serra caracteriza-se por grande número de cavernas desenvolvidas em quartzitos. São conhecidas atualmente 30 cavernas, a maior das quais, a Gruta das Bromélias, atinge 2750 m de desenvolvimento linear (DL) (Corrêa Neto *et al.*, 1995). Estas cavernas

foram inicialmente descritas por Perez & Grossi (1987). Estudos posteriores foram realizados por Corrêa Neto *et al.* (1993, 1995, 1996).

Cavernas formadas nos quartzitos do Gp. Andrelândia são também relativamente comuns em outros locais do sudeste de Minas Gerais (ex.: Serras de Luminárias, Carrancas e São Tomé das Letras). O propósito desta contribuição é de descrever brevemente as cavernas formadas em quartzitos da Serra do Ibitipoca e propor possíveis mecanismos de espeleogênese.

## 2. CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO

As formas escarpadas da Serra do Ibitipoca contrastam com seus arredores (figs. 1 e 2), tendo em média altitudes de 1500-1600 m, atingindo valor máximo de 1784 m no Pico Ibitipoca ou Lombada. A serra é composta por duas *cuestas* cujos flancos *dip-slope* estão inclinados para o interior do mesmo vale, por onde correm o Rio do Salto e o Córrego da Mata. A diferença entre o nível freático da serra, nas áreas onde formaram-se cavernas, e o nível de base de seus arredores que varia entre 250 m na parte oeste e 350 m na parte sul.

Na Serra do Ibitipoca são comuns vales estreitos, provavelmente gerados por desabamento de cavernas (ex.: Córrego do Pião) e dolinas (ex.: Gruta dos Três Arcos). O padrão de drenagem é em treliça, bastante espaçado, com baixa densidade hidrográfica, em especial quando comparada com seus arredores. Os depósitos fluviais são inexpressivos e descontínuos. Nos arredores da serra o relevo é formado por morros e colinas arredondadas e a drenagem é predominantemente subdendrítica (fig. 1).

Os litótipos predominantes da Serra do Ibitipoca (fig. 2) são quartzitos grossos sacaroidais, pertencentes às porções basais do Gp. Andrelândia. Subordinadamente, ocorrem quartzitos finos micáceos, biotita-xistos e lentes decimétricas de muscovita-xistos. As camadas mergulham ao redor de 20° para SE na maior parte da serra. O metamorfismo atingiu a fácies anfíbolito médio (Nunmer, 1991). Nos arredores da serra predominam biotita-xistos e gnaisses.

A estruturação tectônica da serra foi gerada por três fases de deformação. A primeira gerou grandes dobras recumbentes com eixos E - W. Durante a segunda, as estruturas anteriores foram parcialmente reorientadas por empurrões de SE para NW e redobramentos (Nunmer, 1991). As estruturas da última fase correspondem a dobras suaves concêntricas com

eixos NE - SW. A foliação principal, subparalela ao acamadamento sedimentar reliquiar, é relacionada ao primeiro dobramento. Os principais sistemas de fraturas tem direções SW - NE (predominante), N - S e E-W.

### 3. CAVERNAS DA SERRA DO IBITIPOCA

Em função de diferenças morfológicas e controles geológicos, três grupos de cavernas podem ser identificados na Serra do Ibitipoca (Corrêa Neto *et al.*, 1993). Os grupos I e II serão descritos aqui. O Grupo III, composto por túneis (extensão máxima de 86 m - Ponte de Pedra) e arcos ao longo de cursos d'água superficiais, é irrelevante para a presente discussão.

O Grupo I (Fig. 3a, 3b) é formado pelas maiores cavernas (600 m - 2750 m, desenvolvimento linear- DL), exibindo em planta padrões *branchwork* com passagens angulares (*cf.* Palmer, 1991). Os condutos têm corte retangular a oval, alguns mostrando formas compostas, com a parte superior oval e a inferior em fenda estreita. O gradiente das galerias é ao redor de 8°. Nas partes topograficamente mais elevadas (mais próximas à superfície) das galerias desenvolveram-se dolinas de corte assimétrico e elípticas em planta. Ao longo dos condutos há raras clarabóias.

As cavernas do Grupo I possuem controle estrutural (zonas de fratura) e estratigráfico (quartzito micáceo de grã fina e espessura entre 1,5 m e 2 m). Há galerias inativas a 1,5 m e 3 m acima do nível freático atual. São comuns níveis ricos em *pipes*, condicionados pelos planos de foliação.

Galerias de cavernas do Grupo I condicionadas por fraturas paralelas ao mergulho das camadas, têm padrões distintos das condicionadas por fraturas paralelas à direção. No primeiro caso, formam-se galerias estreitas e longas (fig. 3a), resultando em grande desenvolvimento linear. No segundo (fig. 3b), as galerias são menores, porém mais largas e de maior volume. O desenvolvimento linear é menor.

As cavernas do Grupo II (Fig. 3c - 3e) têm desenvolvimento linear entre 186 m e 600 m, com padrões *network* rudimentares em planta, formados por galerias levemente meandranes de corte simples (retangulares ou triangulares, raramente em fissura) e com gradiente ao redor de 5°. Nos tetos são comuns *pipes* subverticais. Galerias inativas existem a 1,5 m, 7 m e 10 m acima do atual nível de base. Não há controle estratigráfico claro.

As galerias mais extensas são condicionadas por fraturas NE e, mais raramente, N - S. Fraturas NW e E - W geralmente condicionam galerias menores ou pequenos desvios na direção das maiores. As galerias de cavernas do grupo II também são caracterizadas por reentrâncias com forma oval em planta, topo dômico e fundo com suave inclinação parabólica, no interior do qual há acúmulo de água.

As cavernas de ambos os grupos desenvolveram-se em áreas onde a direção de mergulho das camadas aproximadamente coincide com a direção de inclinação da superfície topográfica.

Nas cavernas de ambos os grupos há espeleotemas de sílica (opala-a, identificada através de difratometria de raios-X) formando recobrimentos nas paredes das galerias, ligados à exudação de água capilar. Esses espeleotemas assumem geralmente formato de coralóides, também tendo sido encontradas raras formas de bolhas ocas e estalactites com alguns centímetros de comprimento. Os recobrimentos de sílica são mais extensos em cavernas do Grupo II. Foi encontrada anemolite de sílica com 13 cm de comprimento, em caverna do Grupo II. Escorrimentos de alofana também são comuns em cavernas de ambos os grupos, associando-se à água corrente a partir de fendas e canais de diâmetros centimétricos.

No interior das cavernas dos grupos I e II, são comuns depósitos de sedimentos, especialmente em galerias inativas e níveis suspensos de condutos ativos. Os sedimentos são de duas origens: fluviais e de gravidade.

Os sedimentos fluviais compõem-se de areias grossas a médias (com ocasionais grânulos) mal trabalhadas, com baixos valores de arredondamento e esfericidade média (devido ao formato original dos grãos dos quartzitos sacaroidais). Os depósitos são incoesos e atingem espessuras de até 1,5 m. Nas galerias ativas, onde o fluxo de água causa mais erosão do que deposição, o acúmulo de sedimentos é localizado em pequenas barras após obstáculos. O topo dos depósitos fluviais das cavernas do grupo II ocasionalmente apresenta camada de aproximadamente 1 cm de espessura de material cimentado por sílica. Em algumas cavernas, como na Gruta do Bocão, há estreitos (40 cm - 50 cm) depósitos compostos por seixos de quartzito, cimentados por alofana, com até 30 cm de espessura.

Os depósitos de gravidade originam-se da queda de material do teto e das paredes das galerias e salões. Tem forma de cone invertido, compondo-se de areia grossa a muito grossa,

blocos e *boulders*. São comuns em galerias inativas (sobrepostos aos fluviais), em níveis suspensos nos salões e nas entradas das cavernas.

#### 4. DISCUSSÃO

A espeleogênese na Serra do Ibitipoca é tida como processo de dois estágios (Corrêa Neto *et al.*, 1993), seguindo o modelo *sanding/piping* (Martini, 1987), similar à casos na Venezuela (Urbani, 1986), África do Sul (Martini, 1987) e Líbia (Busche & Sponholz, 1992).

A aplicação desse modelo é baseada na presença de níveis de *pipes*, espeleotemas de sílica, padrão das cavernas em planta, e na significativa diferença entre o nível freático local e o nível de base regional.

O modelo *sanding/piping* pressupõe a formação inicial de zonas lineares de porosidade e permeabilidade aumentadas, na interseção de fraturas com planos de foliação e/ou acamamento, durante período de prolongada estabilidade do nível de base e baixo gradiente do nível freático. Espaços vazios seriam formados pela dissolução de diminutas quantidades de sílica (sobre a dissolução de sílica o leitor deve referir-se a White *et al.*, 1966; Young, 1986; Busche & Sponholz, 1992) ao longo do contato de grãos de quartzo. Nessas zonas lineares, a rocha torna-se enfraquecida mecanicamente (o *négrès* de Martini, 1987).

Um ponto a ser levantado é a eficiência da dissolução de sílica como mecanismo gerador de porosidade. Apesar da existência de diversas evidências favoráveis a ocorrência de dissolução de sílica durante a espeleogênese em quartzitos (Young, 1986; Busche & Sponholz, 1992), em rochas siliciclásticas, a formação da porosidade secundária, durante a diagênese, é fundamentalmente devido a dissolução incongruente de aluminossilicatos. Este processo resulta na formação de argilominerais, um 'resíduo' que deve ser removido para evitar a obstrução dos espaços vazios recém formados.

Os freqüentes escorrimentos de alofana formados a partir de *pipes* e fraturas são indicio de que, pelo menos parte da porosidade formada na primeira etapa do processo de espeleogênese na Serra do Ibitipoca, foi devida a alteração de aluminossilicatos (feldspatos e micas). Os dados atualmente disponíveis não permitem, entretanto, avaliar a importância relativa da dissolução de sílica e da alteração de aluminossilicatos na geração de poros durante a primeira etapa da espeleogênese.

Qualquer que tenha sido o processo predominante, a geração de poros foi originada pela percolação de água meteórica, enriquecida em ácidos orgânicos e CO<sub>2</sub> provenientes do solo, através de fraturas e planos de foliação. Esses compostos aumentam em muito a capacidade da água de atacar os componentes das rochas. A abundância de chuvas da região também teve influência marcante, por prover suprimento constante e renovável de água.

No segundo estágio, um soerguimento (regional?) aumenta o gradiente e a velocidade de fluxo do lençol freático. Grãos de quartzo são mecanicamente removidos, formando rede de condutos cilíndricos (*pipes*), alguns dos quais concentram ainda mais o fluxo. Estes alargam-se, tornando-se galerias de caverna, integrando sistema hierarquizado de drenagem subterrânea, também composto por *pipes*, fraturas e poros interligados.

O controle estratigráfico responde pelo maior porte das cavernas do Grupo I. A camada de quartzito fino micáceo é especialmente propícia ao processo, devido à composição mineralógica e a grã fina, que fornece maior superfície de contato dos grãos com a água (Corrêa Neto *et al.*, 1993).

A seqüência composta por um período inicial de estabilidade e posterior soerguimento, parece essencial para a formação de cavernas em quartzito, tendo sido registrada na Austrália (Young, 1986), Venezuela (Urbani, 1986), África do Sul (Martini, 1987) e Líbia (Busche & Sponholz, 1992).

Na Serra do Ibitipoca, feições externas (terraços aluvionares, leitos fósseis de rios) e internas (níveis de galerias abandonadas) registram sucessivos episódios de soerguimento. Se os níveis de galerias abandonadas forem utilizados como indicadores de idade (Palmer, 1987), as cavernas do Grupo II seriam mais antigas que as do Grupo I, pois apresentam mais níveis de galerias elevadas. O controle estratigráfico pode ser responsável pelo desenvolvimento mais rápido das cavernas do Grupo I na segunda etapa da espeleogênese.

As cavernas em quartzitos das serras de Luminárias (MG) e Carrancas (MG) (fig. 4) têm características similares às do grupo II de Ibitipoca, apresentando porém, maior controle litológico, devido à presença de camadas centimétricas de xistos imediatamente abaixo dos níveis de *pipes* (Corrêa Neto *et al.*, 1996). Processos genéticos semelhantes aos acima propostos, provavelmente, também atuaram em Carrancas e Luminárias.

## 5. CONCLUSÕES

A formação de cavernas em quartzito na Serra do Ibitipoca deve-se à longo período inicial de estabilidade do lençol freático, durante o qual, na interseção de fraturas com planos de foliação, formaram-se de zonas de porosidade e permeabilidade aumentadas, devido à alteração intempérica de feldspatos e filossilicatos e a dissolução de sílica, tornando o quartzito incoeso e friável. O fluxo de água subterrânea concentrou-se nessas zonas.

Um ou mais episódios posteriores de soerguimento, causaram aumento da velocidade do fluxo de água. Ocorreu formação de *pipes* ao longo das zonas de permeabilidade aumentada, devido a remoção mecânica dos grãos de quartzo. Eventualmente, alguns *pipes* foram alargados até tornarem-se galerias de cavernas. Níveis suspensos de galerias podem indicar episódios sucessivos de soerguimento.

Contribuíram para a espeleogênese:

- (i) Grande diferença entre o nível freático da Serra do Ibitipoca e o nível de base regional.
- (ii) Presença de camada (quartzito micáceo de grã fina) especialmente favorável a ocorrência de *sanding* e *piping*, gerando as diferenças morfológicas entre cavernas dos grupos I e II.

### Agradecimentos:

Os autores desejam agradecer ao IEF-MG e, em especial, à direção do Parque Estadual do Ibitipoca pelo apoio à pesquisa desde 1990. Os trabalhos de campo tornaram-se possíveis graças à Sociedade Carioca de Pesquisas Espeleológicas (SPEC). Luis Cláudio C. Anísio e Aline T. Silva, do curso de Graduação em Geologia da UFRJ, foram de grande auxílio, respectivamente, durante trabalhos de topografia e interpretação de difratogramas de raios-X.

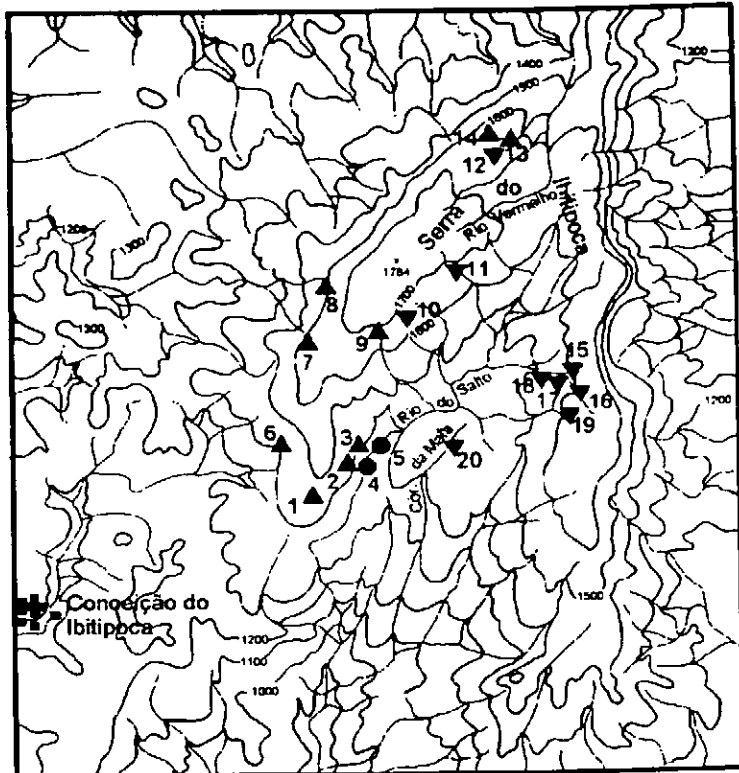
## 6. REFERÊNCIAS:

- BUSCHE, D. & SPONHOLZ, B. 1992. Morphological and micromorphological aspects of the sandstone karst of eastern Niger. *Z. Geomorph. N.F.* 85: 1-18.
- CORRÊA NETO, A.V.; ANÍSIO, L.C.C. & BRANDÃO, C.P. 1993. Um endocarste quartzítico na Serra do Ibitipoca, SE de Minas Gerais. SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 7, *Anais do ...*, Boletim SBG núcleo MG 12: 83-86.
- CORRÊA NETO, A.V.; ANÍSIO, L.C.C. & BRANDÃO, C.P. & CINTRA, H.P. 1995. Gruta das Bromélias (MG 042), município de Lima Duarte, MG: uma das maiores cavernas em quartzito do mundo. *Espeleo-tema* 18: 1-12.
- CORRÊA NETO, A.V.; DUTRA, G. & BAPTISTA FILHO, J. 1996. Espeleogênese em quartzitos: comparações entre as serras de Ibitipoca, Luminárias e Carrancas (MG). CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38. *Anais do ...*. Salvador, SBG, Vol. 4: 555 - 558.
- EBERT, H. 1955. Pesquisas na parte sudeste do Estado de Minas Gerais. *Relatório Anual da Divisão de Geologia e Mineralogia*. Rio de Janeiro, RJ. 1954:78-89.
- JENNINGS, J.N. 1983. Sandstone pseudokarst or karst? *in*: YOUNG, R.W. & NANSON, G.C., Aspects of Australian sandstone landscapes. *Aust. & N.Z. Geomorph. Group Wollongong*: 21-30.
- MARTINI, J. 1987. Karst features in quartzite of South Africa. *Karstologia* 9:45-52.
- NUMMER, A. R. 1991. Mapeamento geológico litoestrutural e tectônica experimental do Grupo Andrelândia na região de Santa Rita do Ibitipoca-Lima Duarte, Sul de Minas Gerais. *Tese de Mestrado*, Instituto de Geociências, UFRJ. 190p.
- PEREZ, R.C. & GROSSI, W.R. 1987. The quartzitic speleological district of the Parque Florestal Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais, Brazil. INTERNATIONAL CONGRESS OF SPELEOLOGY, 9, *Proceedings of ...*, 12-14.
- PALMER, A. N. 1987. Cave levels and their interpretation. *The NSS Bulletin*, 49: 50-66.
- PALMER, A. N. 1991. Origin and morphology of limestone caves. *Geological Society of America Bulletin*, 103: 1-21.
- SZCZERBAN, E. & URBANI, F. 1974. Carsos de Venezuela, Parte 4: Formas cársicas en areniscas Precámbricas del Territorio Federal Amazonas y Estado Bolívar. *Bol. Soc. Venezolana Espele.* 5(1):27-54.
- URBANI, F. 1986. Notes on the origin of caves in Precambrian quartzites of Roraima Group, Venezuela. *Interciência* 11(6): 298-300.



- TROUW, R.A.J.; RIBEIRO, A. & PACIULLO, F.V.P. 1983. Geologia estrutural do Grupo São João del Rei, Carrancas e Andrelândia, sul de Minas Gerais. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 55(1): 71-85.
- WHITE, W.B.; JEFFERSON, G.L. & HAMAN, J.F. 1966. Quartzite Karst in Southeastern Venezuela. *International Journal of Speleology*, 2: 309-314.
- YOUNG, R.W. 1986. Tower karst in sandstone: Bungle Bungle massif, Northwestern Australia. *Z. Geomorph. N. F.*, 30(2): 189-202.

anibil.pcx



Base topográfica Folha Lima Duarte 1 50 000 IBGE

0 KM 2 KM

**LOCALIZAÇÃO DAS CAVERNAS**

- |                        |                              |
|------------------------|------------------------------|
| 1- Gruta das Casas     | 11- Gruta da Cruz            |
| 2- Gruta da Pinguça    | 12- Gruta dos Fugitivos      |
| 3- Gruta dos Coelhos   | 13- Gruta dos Três Arcos     |
| 4- Ponte de Pedra      | 14- Gruta dos Moreiras       |
| 5- Gruta do Gnomo      | 15- Gruta da Catedral I & II |
| 6- Gruta do Martiniano | 16- Gruta do Plão            |
| 7- Gruta das Bromélias | 17- Gruta do Bocão           |
| 8- Gruta das Dobras    | 18- Gruta do Bolagato        |
| 9- Gruta do S          | 19- Gruta dos Viajantes      |
| 10- Arco do Arlete     | 20- Gruta do Guano           |



Área Estudada

**TIPOS DE CAVERNA**

- Grupo I ▲  
 Grupo II ▼  
 Grupo III ●

Rio do Salto Cór. da Mata Rio Vermelho

**FIGURA 1:** Mapa topográfico da Serra do Ibitipoca, com localização das cavidades mais significativas. Ver texto para detalhes.

anibi2b.pcx

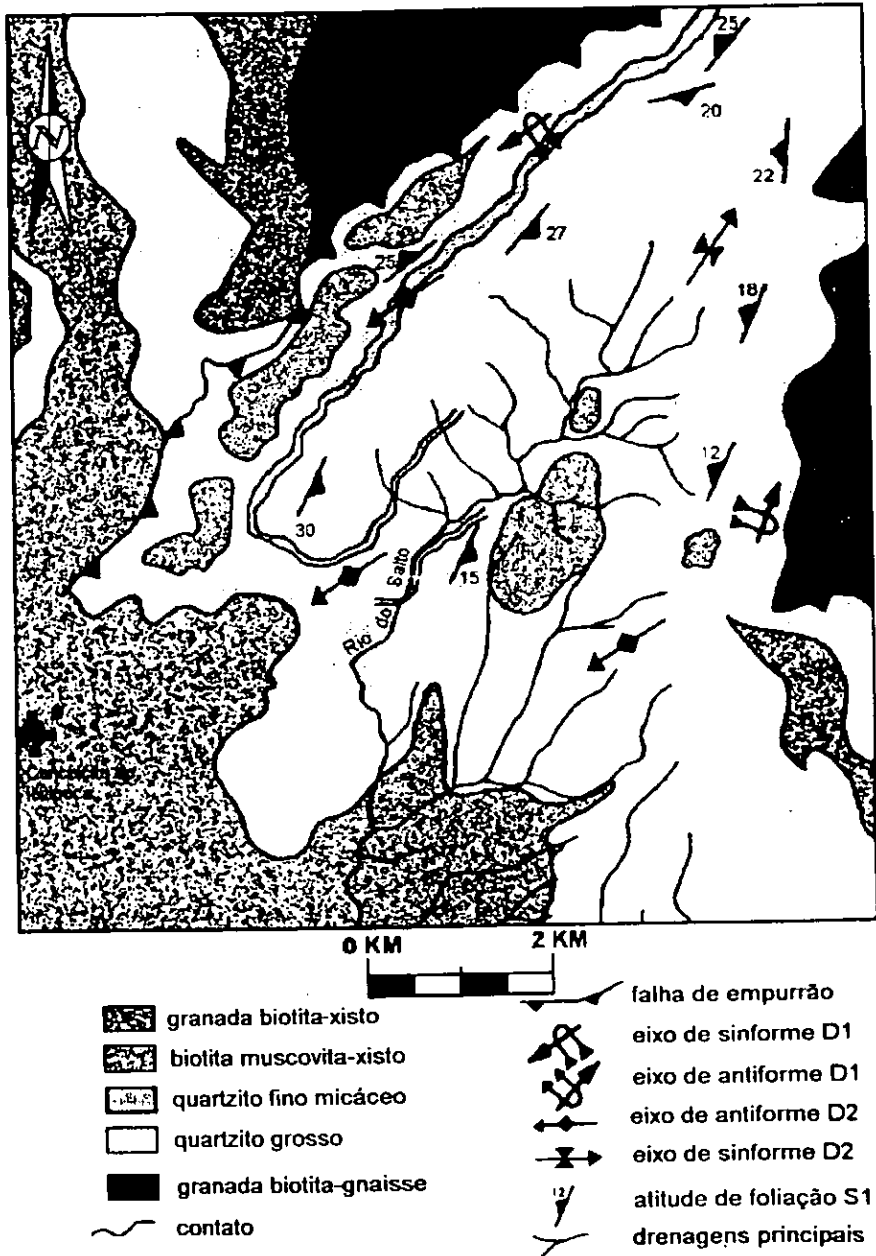


FIGURA 2: Mapa geológico simplificado da Serra do Ibitipoca. Geologia modificada a partir de Nummer (1991)

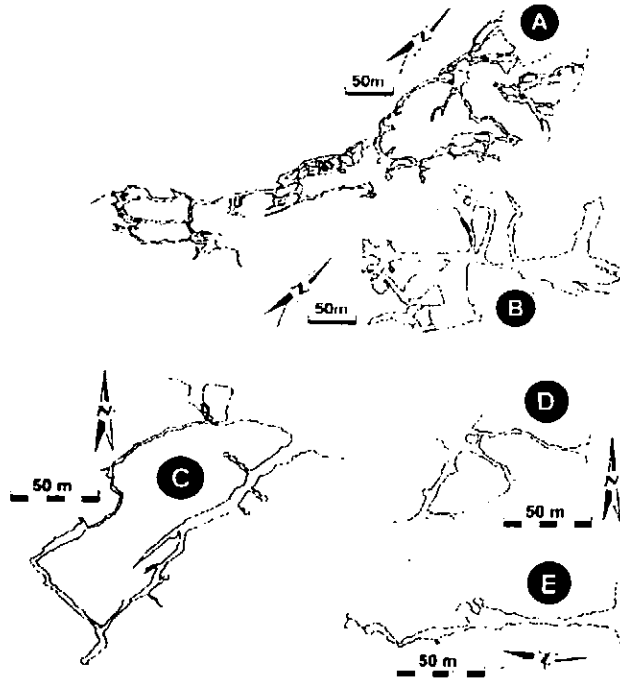


FIGURA 3: (A) Gruta das Bromélias, 2750 m DL. (B) Gruta das Casas, 600 m DL. (C) Gruta do Bocão, 450 m DL. (D) Gruta dos Fugitivos, 186 m DL. (E) Gruta do Pião, 126m DL. (A) e (B) são cavernas do Grupo I; as restantes são do Grupo II. Ver texto para detalhes.

Mapas simplificados; cortesia da SPEC.

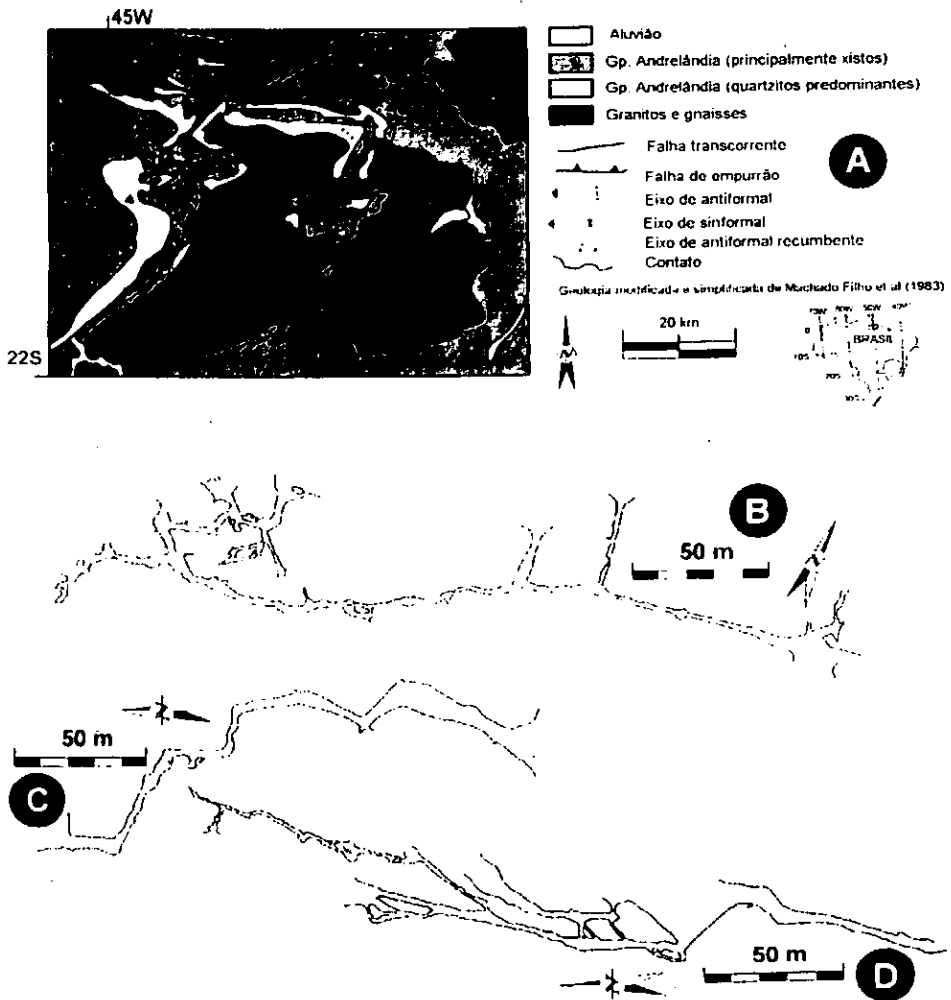


FIGURA 4: Algumas cavernas das serras de Carrancas (B) e Luminárias (C) e (D) (A) Mapa geológico simplificado para fins de localização. (B) Toca de Carrancas, 583 m DL. (C) Toca do Chico Lino, 213 m DL. (D) Tocas Num Sei I e II, 468 m DL em conjunto. Mapas simplificados, cortesia do SPANS (B) e GBPE (C) e (D).

