

## GEOESPELEOLOGIA DAS CAVERNAS EM ROCHAS FERRÍFERAS DA REGIÃO DE CARAJÁS, PA

Luís B. PILÓ - [lbpilo@gmail.com](mailto:lbpilo@gmail.com)

Augusto AULER

Instituto do Carste - Rua Kepler, 385/ 04, CEP. 30360-240, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

### Abstract

*This paper intends to provide an overview of the caves and speleogenesis in iron ore in the Carajás Mineral Province. Caves were characterized regarding their dimensions, morphology, lithology, structure, sedimentation and speleogenesis. The results show that there is a considerable potential for cave generation in these rocks, placing the Carajás Province as one of the most significant speleological areas in Brazil.*

### Introdução

Na região da Serra dos Carajás, no sudeste do Pará, a primeira referência a cavernas deve-se a Tolbert *et al.* (1971), que relata sobre as grandes cavernas encontradas sob o manto de canga.

Os estudos espeleológicos tiveram um grande avanço a partir dos trabalhos do Grupo Espeleológico Paraense - GEP, notadamente Clóvis W. Maurity e Roberto Vizeu L. Pinheiro. Em seu primeiro relatório, Pinheiro *et al.* (1985) detalhou aspectos geoespeleológicos de quatro cavernas na Serra Norte, além de discorrer sobre sua possível gênese. Essas revelações foram ampliadas em Pinheiro & Maurity (1988), momento em que a interpretação espeleogenética foi aprimorada. Maurity & Kotschoubey (1995) posteriormente produziram um detalhado estudo não só sobre a gênese das cavidades, como também da geoquímica e da mineralogia dos espeleotemas.

Ainda na região de Carajás, mais especificamente na Serra Leste, Atzingen & Crescêncio (1999) apresentaram uma descrição, acompanhada de mapas, de algumas cavernas da região.

A partir do ano 2000 teve início um dos maiores levantamentos espeleológicos já realizados no Brasil. O Grupo Espeleológico de Marabá - GEM, através de convênio com a Casa de Cultura de Marabá - FCCM e a Vale, realizou prospecções nas serras Norte, Sul, Leste, Tarzan e Bocaina (Figura 1). Essas investidas levaram a descoberta de mais de 1.100 cavidades na região. Em poucos anos, a região de Carajás surge como a área com a maior concentração de cavernas no Brasil. Cavernas na formação ferrífera e sob a cobertura de canga já representam cerca de 20% das cavernas oficialmente cadastradas no Brasil.

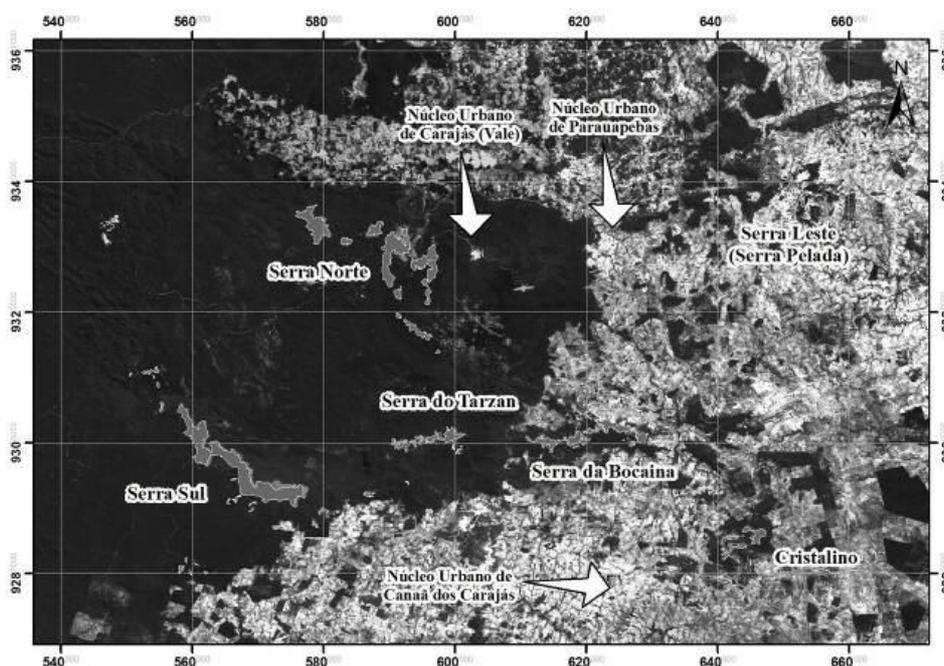


Figura 1: Localização da região de Carajás.

## Objetivos

Este resumo tem como objetivo revelar um breve panorama geoespeleológico das cavernas da região de Carajás. Especificamente pretende discorrer sobre os seguintes aspectos: morfologia e morfometria; lito-estrutura; sedimentos clástico e químico; além da espeleogênese.

## Procedimentos

Para elaboração dos estudos geoespeleológicos, centenas de cavernas estão sendo topografadas com grau de precisão 5D (BCRA), o que tem contribuído para importantes revelações sobre aspectos espeleométricos e morfológicos. Dados litológicos e estruturais das cavernas foram analisados através de descrição petrográfica e medidas de campo. Os depósitos clásticos e químicos também estão sendo descritos. Análises laboratoriais, envolvendo granulometria, química global de óxidos e difratometria de Raios-X, já foram realizadas para caracterização das rochas, dos sedimentos clásticos e dos espeleotemas.

## Resultados

### Inserção na paisagem

A Serra dos Carajás encontra-se inserida no domínio do Planalto Dissecado do Sul do Pará, caracterizado por maciços residuais de topo aplainado ou ondulado, além de poucas cristas e picos interpenetrados por faixas de terrenos rebaixados.

Entre as principais serras da região temos a serra Norte e Leste, da Bocaina, do Tarzan e a Serra Sul. Essas serras apresentam amplitude de 300 m, com altitude média de 700 m (RadamBrasil, 1974).

Nos recortes mais altos do planalto dissecado, localmente chamados de platôs, ocorrem coberturas de canga que recobrem principalmente as rochas ferríferas arqueanas, pertencentes à Formação Carajás (Grupo Grão-Pará).

Esses platôs cobertos pela canga apresentam-se como fragmentos de dimensões variadas, onde ocorre uma evolução física e biológica singular no contexto regional. Nesses platôs ocorre uma das maiores reservas de minério de ferro do mundo, além de outras mineralizações importantes.

Essas elevações, frequentemente, possuem encostas com feições côncavas portadoras de depósitos de tálus grosseiros, originários da erosão e regressão da cobertura de canga que reveste e mantém os platôs, como também de escarpas da formação ferrífera.

O posicionamento das cavernas pode ser dividido em três grupos: cavernas posicionadas nas bordas de lagoas doliniformes, no topo de platôs; cavernas localizadas nas bordas de drenagens e cabeceiras; além das cavernas inseridas nas bordas inclinadas do planalto dissecado (platôs), incluindo ocorrências nas baixas, médias e altas vertentes. As cavidades estão inseridas na base de pequenas escarpas de canga ou da formação ferrífera.

## Litotipos e estruturas

A maioria das cavernas já registradas na região de Carajás é constituída por dois litotipos: a Formação Ferrífera Bandada - FFB e a canga detrítica. Muitas cavernas apresentam os dois litotipos. Em outras litologias, tais como arenitos, máficas alteradas e ferricretes, cavernas também já foram identificadas, mas em menor número.

As ocorrências ferríferas (jaspilitos) foram denominadas de Formação Carajás, unidade intermediária do Grupo Grão Pará (Beisiegel *et al.* 1973). Sua idade mínima é de  $2.740 \pm 8$  MA (Trendall *et al.*, 1998). No interior das cavernas predomina rocha bandada pela alternância de camadas (até 3 cm) e lâminas milimétricas de hematita, separadas por matriz argilo-ferruginosa, como também por espaços vazios de morfologia tabular/laminar.

Os planos do bandamento normalmente estão bem preservados. Representam estruturas reliquias do jaspilito transformado em minério de ferro. Essas estruturas, localmente, podem apresentar um arranjo caótico, muito deformado. Nessas situações, as lâminas apresentam-se fragmentadas ou exibem *kinks* e dobras. O plano inclinado do bandamento da rocha ferrífera é a descontinuidade principal no controle morfológico das seções das cavidades. Sistemas de fraturas (juntas) inclinadas também podem guiar o desenvolvimento de cavidades. No geral, o controle das estruturas não é marcante nas cavernas de Carajás.

Já a canga detrítica é constituída por clastos subangulares (tamanho seixo a calhau) de minério de ferro, caoticamente arranjados e cimentados por matriz reduzida, constituída por agregados de

óxidos e hidróxidos de ferro (hematita e goethita), além de água. Trata-se de um produto da degradação da formação ferrífera, cujos detritos foram transportados através do *creep* e de fluxos hídricos concentrados.

Na canga, predominam fraturas atectônicas de alívio de pressão. Essas juntas influenciam a ocorrência de movimentos de massa do tipo abatimentos, que são corriqueiros no interior das cavidades. Frentes de alteração química da rocha também são guiadas por essas juntas irregulares.

### Espeleometria e morfologia

As cavernas inseridas na formação ferrífera e na canga são em geral de pequenas dimensões. Em torno de 70% das cavidades de Carajás estão no intervalo entre 20-30 m de projeção horizontal. Cavernas com projeções superiores a 100 m são menos freqüentes, mas ocorrem em todas as serras da região. A maior caverna nesses litotipos, até o momento, encontra-se na serra Norte, com 372 m de projeção horizontal.

Em razão das pequenas dimensões da grande maioria das cavernas de Carajás, o padrão morfológico encontra-se inibido. Ocorrem muitas cavidades em pequenos salões únicos, com apêndices que se afunilam normalmente em canalículos.

Dois padrões já podem ser identificados: *cavernas de câmaras irregulares* e *cavernas retilíneas*. As cavernas de câmaras irregulares se caracterizam por condutos irregulares, normalmente globulares, de tamanho variado que se interconectam. A conexão entre câmaras maiores é feita, muitas vezes, por meio de condutos estreitos. As maiores cavernas da região apresentam esse padrão. Assemelha-se ao padrão esponjiforme definido por Palmer (1991).

As cavernas retilíneas, menos freqüentes, são formadas por condutos simples, seguindo uma direção preferencial, condicionada por junta ou pela superfície inclinada do bandamento da rocha ferrífera.

As seções transversais e longitudinais demonstraram, nas paredes e teto, maiores irregularidades quando da presença da canga. Pilares ocorrem em cavernas dos dois litotipos. Pendentes, por sua vez, são mais freqüentes nas cavernas de canga. As clarabóias são relativamente comuns nas cavernas de Carajás. As cavernas constituem feições muito rasas, o que contribui para atuação de

processos de abatimento de tetos e a formação de pequenas clarabóias.

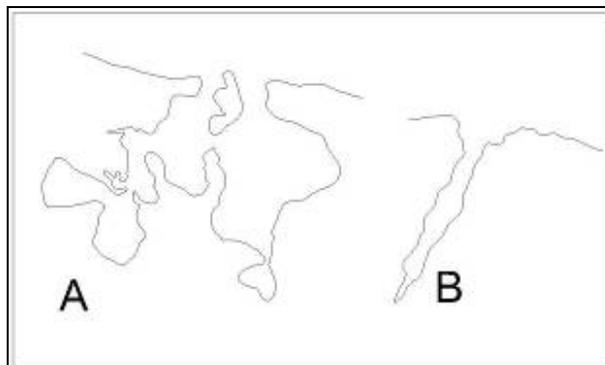


Figura 2: Principais padrões planimétricos das cavernas de Carajás: A) câmaras irregulares; B) retilínea.

### Hidrologia

A grande maioria das cavernas da região é seca. Ou seja, os processos hidrológicos associados a cursos d'água são restritos no interior das mesmas, só ocorrendo em cavernas localizadas nas proximidades de igarapés. Surgências e canais de drenagem temporários ocorrem, gerados pela concentração do gotejamento ou percolação de águas pluviais infiltradas via canalículos ou juntas.

O gotejamento no interior das cavernas é expressivo durante a estação chuvosa, em função da alta porosidade da rocha e proximidade da superfície.

### Sedimentos clásticos

Os depósitos clásticos das cavernas de Carajás podem ser divididos em dois tipos principais. Depósitos formados por sedimentos predominantemente de caráter autogênico, gerados a partir de material do próprio substrato encaixante (formação ferrífera e/ou canga); depósitos formados por sedimentos mistos: autogênicos e alogênicos, ou seja, gerados tanto no interior da caverna como vindos de fora.

Os depósitos predominantemente autogênicos são constituídos por clastos de hematita originados do minério de ferro, da canga e, por vezes, de rochas máficas em contato com a FFB. Esses clastos são originados principalmente de processos gravitacionais do tipo abatimentos de porções do teto e das paredes. Diante disso, os depósitos apresentam uma estreita relação com os constituintes do substrato sobrejacente. O transporte

sedimentar, atualmente, é geralmente restrito no interior das cavernas.

Os depósitos mistos também são muito frequentes nas cavernas. Os alogênicos são originados principalmente dos canalículos e juntas alargadas existentes na grande maioria das cavernas, como também de clarabóia e cones sedimentares de entrada.

A injeção de sedimentos via canalículos da rocha pode ser originada do interior do próprio maciço ou da superfície. Os sedimentos alogênicos são, frequentemente, mais finos e de cor predominantemente vermelha (2.5YR). Pequenos leques de sedimentos finos, na saída dos canalículos, são muito comuns nas cavernas.

### Espeleotemas

Os depósitos químicos (espeleotemas) podem ser identificados em praticamente todas as cavernas da região de Carajás. Neste momento, vários espeleotemas estão em pleno processo de formação.

Observa-se uma gradação tipológica de espeleotemas dependendo da incidência de luz e fluxos de ar e soluções. Próximo à zona de entrada ou nos arredores de clarabóias tem-se uma competição entre material biológico (musgos, líquens) e deposição química.

Em locais com fluxo de ar mais acentuado predominam coralóides de pequenas dimensões e aspecto pontiagudo. Nesses setores temos uma maior quantidade de coralóides.

Nos trechos mais internos, nos quais há uma maior estabilidade atmosférica e maior umidade relativa do ar, há predomínio de crostas de material ferruginoso, recobrando paredes e blocos, além de coralóides com o topo arredondado e coloração marrom-avermelhada.

Fluxos hídricos na forma de escorrimentos geram espessas crostas, às vezes com textura semelhantes aos microtravertinos. Descontinuidades no teto podem fornecer sedimentos químicos tipo pingentes. Em síntese, as crostas e os coralóides são os mais abundantes espeleotemas das cavernas de Carajás.

Dados de difração de Raios X evidenciaram uma grande diversidade de minerais, superior daquela encontrada nas cavernas carbonáticas. O óxido de ferro do tipo hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) é o mineral mais abundante nos espeleotemas analisados, juntamente com a goethita ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ). Já a gibbsita ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) foi identificada em um número menor de amostras até o

momento. A gibbsita pode ser derivada da dissolução de alumínio por soluções ácidas criadas pela oxidação de sulfetos. Guano de morcego também pode contribuir para sua origem, assim como lixiviação a partir do solo (Hill & Forti, 1997).

Quanto aos fosfatos, a leucofosfita ( $\text{KFe}_2(\text{PO}_4)_2\text{OH}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) já foi identificada em vários espeleotemas de cavernas da serra Norte. Esse mineral também foi identificado em Carajás por Maurity & Kotschoubey (1995). Também já foi registrado em cavernas no Quadrilátero Ferrífero (Piló & Auler, 2007) e em várias cavernas do mundo, segundo Hill & Forti (1997). Possivelmente, os depósitos de guano contribuem para o fornecimento de fósforo para a formação de compostos químicos fosfáticos.

A estrengita ( $\text{Fe,AlPO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), mineral fosfático de ferro e alumínio, foi detectado em algumas cavernas, tendo sido também identificado por Maurity & Kotschoubey (1995) como revestimentos de pisos, blocos, bem como cimento de paleopavimentos em cavernas da serra Norte.

Três sulfatos também já foram registrados: a gipsita ( $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), a alunita ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)(\text{OH})_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) e a basalunita ( $\text{Al}_2\text{SO}_4(\text{OH})_{10}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ).

### Aspectos espeleogenéticos e cronológicos

Simmons (1963), trabalhando em Minas Gerais, foi pioneiro em atribuir a gênese de cavernas em minério de ferro e canga a processos de dissolução. Segundo ele, a dissolução do dolomito, mas também de quartzo e hematita, leva à formação de uma zona de minério de ferro alterada de alta porosidade que chega a atingir 50% do volume da rocha.

Autores como McFarlane & Twidale (1987) acreditam que a dissolução dos óxidos de ferro, e não somente de sílica e dolomita, são essenciais à carstificação em minério de ferro.

Devido ao caráter pouco solúvel do ferro, esses autores evocam a atuação de agentes microbiológicos, já que existem microorganismos capazes de remover Fe por meio de complexação e formação de quelatos que possuam afinidade com o ferro.

Pinheiro & Maurity (1988) propuseram duas fases para a formação das cavernas de Carajás: na primeira etapa agiria a dissolução, na zona freática, de complexos alumino-ferrosos e argilo minerais

instáveis de Fe, Al e Si que preenchem os vazios da canga endurecida, mas também ocorrem em níveis inferiores a esta; a segunda etapa envolveria processos erosivos (*piping*) que basicamente expandem as cavidades geradas na primeira etapa, levando então à formação de galerias e salões.

É importante salientar que os processos de mineralização promovem um significativo aumento da porosidade e permeabilidade do corpo mineral, o que certamente gerou condições para formação das primeiras cavidades. Ou seja, um conjunto de cavernas de Carajás está relacionado com processos de mineralização da formação ferrífera, envolvendo reações químicas no interior da massa rochosa na zona freática, gerando zonas de alta porosidade. São cavernas “minerogênicas”. Uma segunda fase na zona vadosa é fundamental para que o material friável resultante seja transportado para o exterior por meio de processos similares ao *piping*.

Foi constatado que a zona de contato canga/minério de ferro favorece claramente a espeleogênese. Já a gênese de cavernas exclusivamente formadas na canga parece ser controlada pelas variações de fácies.

Também já foi registrado em Carajás que a oscilação de lagoas e os escoamentos pluvial e fluvial podem ampliar cavidades.

Pinheiro *et al.* (1985) e Pinheiro & Maurity (1988) associam o início da formação das cavidades de Carajás ao processo de geração da canga laterítica, atrelando a idade das cavernas à idade da canga. No entanto, existem grandes incertezas com relação à idade do início da formação da canga. Uma idade aproximada, final do Cretáceo/início do Terciário e desenvolvimento durante o Pleistoceno foi aventada por Pinheiro *et al.* (1985) e Pinheiro & Maurity (1988).

### Referências bibliográficas

- ATZINGEN, V. N.; CRESCÊNCIO, G. Estudos espeleológicos em Serra Pelada, Curionópolis – PA. *Boletim Informativo da Fundação Casa da Cultura de Marabá*, p. 63-72, 1999.
- HILL, C.; FORTI, P. *Cave Minerals of the World*. National Speleological Society, 1997. 463p.
- MAURITY, C.W.; KOTSCHOUBEY, B. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 – Serra dos Carajás-PA. Degradação, pseudocarstificação, espeleotemas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra*, n 7, p. 331-362, 1995.
- MCFARLANE, M.J.; TWIDALE, C.R. Karstic features associated with tropical weathering profiles. *Zeitschrift für Geomorphologie Suppl. Bd*, v. 64, p. 73-95, 1987.

Novos dados geoquímicos e cronológicos fornecidos por Spier (2005) sinalizaram que a partir do Eoceno as formações ferríferas do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, já apresentavam boas condições para o início da espeleogênese, tendo em vista que os processos supergênicos já estavam instalados, ocasionando aumento expressivo da porosidade e perda de densidade da formação ferrífera. Acredita-se que a grande maioria das cavernas desenvolvidas na formação ferrífera de Carajás é muito antiga, com idades bem superiores às cavernas carbonáticas. As cavernas com a presença da canga detrítica são mais recentes.

### Considerações finais

Carajás apresenta-se hoje como uma das mais importantes regiões espeleológicas do Brasil, comprovando o grande potencial da formação ferrífera e da canga para geração de cavidades. Diante da nova legislação sobre as cavernas, parte desse grande conjunto de cavernas será conservado, potencializando estudos e novas revelações para a espeleologia brasileira.

### Agradecimentos

À Vale pelo incentivo à divulgação dos dados de estudos ambientais realizados na região, particularmente à Daniela Silva, Ataliba Coelho, Yuri Stávale, Thiago Lima e Allan Calux têm contribuído decisivamente para os trabalhos em Carajás. Ao GEM pela determinação na prospecção e topografia das cavernas. Ao CECAV/ICMBio pelas frutíferas discussões sobre o tema e apoio permanente.

- PALMER, A. N.. Origin and morphology of limestones caves. *Geological Society of America Bulletin*, v.103, p.1-21. 1991.
- PILÓ, L.B.; AULER, A.S. Mineralogia de espeleotemas das grutas de minério de ferro de Capão Xavier, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ESTUDOS DO CARSTE, 2., 2007, São Paulo. *Caderno de Resumos...São Paulo: Instituto de Geociências, IG-USP, 2007. p. 32.*
- PINHEIRO, R.V.L.; MAURITY, C.W.; HENRIQUES, A.L.; SILVEIRA, L.T.; MOREIRA, J.R.A.; LOPES, P.R.C.; SILVEIRA, O.T.; PAIVA, R.S.; LINS, A.L.F.A.; VERÍSSIMO, C.U.V.; PINHEIRO, S.H.S., HENRIQUES, R.V.L. *Considerações Preliminares sobre a Espeleologia da Serra dos Carajás (PA)*. Grupo Espeleológico Paraense - GEP. Relatório inédito, 1985. 38p.
- PINHEIRO, R.V.L.; MAURITY, C.W. 1988. As cavernas em rochas intempéricas da Serra dos Carajás (PA) – Brasil. In: CONGRESSO DE ESPELEOLOGIA DA AMÉRICA LATINA E DO CARIBE, 1., 1988, Belo Horizonte. *Anais...Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 1988. p. 179-186.*
- RADAMBRASIL. *Levantamento de recursos naturais*, v.4, Folha SB.22 - Araguaia. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Rio de Janeiro, RJ. 1974.
- SIMMONS, G.C. Canga caves in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *The National Speleological Society Bulletin*, v 25, p. 66-72. 1963.
- SPIER, C.A. *Geoquímica e gênese das formações ferríferas bandadas e do minério de ferro da mina de Águas Claras, Quadrilátero Ferrífero, MG*. 2005. 298 f. Tese (Doutorado) -Instituto de Geociências, USP, São Paulo.
- TOLBERT, G.E.; TREMAINE, J.W.; MELCHER, G.C.; GOMES, C.B. The recently discovered Serra dos Carajás iron deposits, northern Brazil. *Economic Geology*, v. 66, p. 985-994. 1971.
- TRENDALL, A. F.; BASEI, M.A.S.; LAETER, J.R.; NELSON, D.R. Íon microprobe zircon U-Pb results from the Carajás área of the Amazon Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 11, p. 265-277. 1998.