

CAVERNAS EM ARENITO DA PROVÍNCIA ESPELEOLÓGICA ALTAMIRA-ITAITUBA: DADOS ESPELEOGENÉTICOS COM BASE NO EXEMPLO DA GRUTA DAS MÃOS (PA), AMAZÔNIA, BRASIL

*SANDSTONE CAVES OF THE ALTAMIRA-ITAITUBA SPELEOLOGICAL PROVINCE:
SPELEOGENETIC DATA BASED ON THE GRUTA DAS MÃOS (PA) STUDIES, AMAZON, BRAZIL*

Roberto Vizeu Lima Pinheiro (1), Clóvis Wagner Maurity (2) & Edithe Pereira (3)

- (1) Geólogo, Professor Associado da Universidade Federal do Pará – UFPA; membro fundador do GEP-Grupo Espeleológico Paraense, Belém PA.
(2) Geólogo, Pesquisador do Instituto de Pesquisa Vale; membro fundador do GEP-Grupo Espeleológico Paraense, Belém PA.
(3) (3) Arqueóloga, Pesquisadora Titular do Museu Paraense Emílio Goeldi; bolsista de produtividade do CNPq, Belém PA.

Contatos: vizeu@ufpa.br; clovis.maurity@gmail.com; edithepereira@museu-goeldi.br.

Resumo

A Amazônia se destaca pela predominância de cavernas em rochas não carbonáticas, notadamente em arenito, rochas ferríferas e seus derivados intempéricos. Poucas cavernas em calcários têm sido descobertas. Esse fato tem relação com o arcabouço geológico regional, com rochas carbonáticas escassas e rochas sedimentares clásticas e rochas intempéricas com expressivo volume. Este trabalho apresenta informações sobre a Gruta das Mãos, desenvolvida em arenitos devonianos da borda sul da Bacia do Amazonas, na Província Espeleológica Altamira Itaituba. O relevo é marcado por platôs, no domínio de planaltos da região sul do vale do Rio Amazonas. A Gruta das Mãos, em Rurópolis (PA), tem 942m de galerias alinhadas em 340oAz, sob controle tectônico. A drenagem criptorréica juvenil provoca forte erosão atual. A presença da caverna está relacionada à interação de fatores geológicos e geomorfológicos, hidrodinâmicos e climáticos, como: (1) fraturamento da rocha; (2) variações isostáticas do relevo; (3) oscilações do nível freático; (3) corrosão das rochas por águas meteóricas (*arenitização*); (4) erosão por fluxo em fraturas (*piping*); e (5) erosão tardia em condições vadosas. A caverna está em processo ativo de desenvolvimento, alcançando o regime vadoso, exercendo forte influência sobre o meio abiótico e biótico, e na conservação de registros arqueológicos.

Palavras-Chave: Pseudocarste; Caverna em Arenito; Amazônia.

Abstract

The caves in the Amazon region are mainly developed in non-carbonate rocks, particularly in sandstone and quartzites, volcanic and banded iron rocks and their weathered products. Few caves have been discovered in limestones. This has to do with the regional geological framework, with minor volumes of limestones, and foremost sandstones and weathered rocks in higher volume. This paper presents information regarding the Caverna das Mãos hosted in Devonian sandstones of the southern edge of the Amazon Basin in the Altamira Itaituba Speleological Province. The landscape is marked by plateaus in the southern highlands of the Amazon River valley. The Caverna das Mãos, in the Rurópolis (PA) district, has 942m of galleries following a main tectonic fracture system striking about 340oAz. The cave is drained by a juvenile fluvial flow responsible for relatively strong wall rock erosion. The presence of the cave is related to the mutual interaction of geological, geomorphological, hydrodynamic and climatic regional factors such as: (1) rock fracturing; (2) tectonic vertical changes of relief level; (3) water table fluctuations; (3) weathering of rocks by meteoric waters (arenitization); (4) erosion by high-pressure hydraulic flow along fractures (piping); and (5) late erosion under vadose conditions. The cave is stated to be under active development process, ingoing vadose regime, that cause strong influences on both the abiotic and biotic environment, and make difficult the conservation of archaeological records.

Key-Words: pseudokarst; sandstone cave; Amazon.

1. INTRODUÇÃO

Vários estudos espeleológicos têm sido realizados na Amazônia desde a década de 80 conduzindo a descoberta de mais de 200 cavernas, notadamente no estado do Pará (GEP, 1983; PINHEIRO e SILVEIRA, 1984; SILVEIRA *et al.*, 1984; PINHEIRO *et al.*, 1985; MOREIRA *et al.*, 1986; PINHEIRO e MAURITY 1988; PINHEIRO, 1988; TRAJANO e MOREIRA, 1991; MAURITY *et al.*, 1995; PINHEIRO *et al.*, 1998; PINHEIRO *et al.*, 1999; PINHEIRO *et al.*, 2001; CRESCÊNCIO *et al.*, 2011; MAURITY *et al.*, 2011; PINHEIRO *et al.*, 2007; BRAGA e COSTA, 2014; CABRAL *et al.*, 2014).

No contexto espeleológico esta região chama atenção pela presença de um número considerável de cavernas em rochas não carbonáticas, destacando-se aquelas em arenito e rochas ferríferas e, principalmente, seus derivados de alteração intemperica. Poucas cavernas em rochas carbonáticas têm sido descobertas, dentre elas, sobressaindo-se, a Gruta do Paraíso, localizada no município de Rurópolis, estado do Pará (p.ex. PINHEIRO *et al.*, 1998).

A predominância de cavernas em rochas não carbonáticas na Amazônia, em detrimento daquelas carbonáticas, é reflexo do arcabouço geológico regional. Mais de 60% do território amazônico é

coberto por rochas metamórficas arqueanas e proterozóicas de alto grau e rochas graníticas do Escudo Brasil Central e Escudo das Guianas, incluindo rochas metavulcânicas e metassedimentares dos terrenos *greenstone belts* (CPRM, 2014). Completa o quadro proterozóico as rochas metamórficas de baixo-médio grau presentes nas faixas móveis, com a Faixa Araguaia, na borda leste do Escudo Brasil Central. O restante corresponde à exposição de rochas sedimentares paleozóicas da Bacia Sedimentar do Amazonas-Solimões e das bacias costeiras mesozóicas, na região litorânea (CPRM, 2014).

Na área dos escudos arqueanos e proterozóicos as cavernas estão presentes em rochas ferríferas e em rochas vulcânicas alteradas por intemperismo, onde se inserem as províncias espeleológicas da Serra dos Carajás e Serra do Piriá (Figura 01). Nas faixas móveis proterozóicas (Faixa Araguaia), ocorrem as cavernas em quartzitos da Serra dos Martírios, na Província Espeleológica Serra dos Martírios-Andorinhas (Figura 01). Nos domínios da bacia sedimentar paleozóica do Amazonas-Solimões ocorrem cavernas em arenitos e raras cavernas em calcário (Província Espeleológica Monte Alegre, na borda norte da bacia; Província Espeleológica Altamira Itaituba, na borda sul) – Figura 01.



Figura 01- Mapa do estado do Pará com a localização das cinco províncias espeleológicas conhecidas, com destaque para a Província Espeleológica Altamira Itaituba, na região entre os rios Tapajós e Xingu.

Há, portanto na região, expressiva predominância de exposições de sequências espessas de rochas sedimentares clásticas. As rochas carbonáticas se restringem aquelas da Formação Itaituba (Carbonífero), na Bacia do Amazonas, com exposições restritas em faixas estreitas e descontínuas, lenticulares, com espessuras relativamente delgadas, nas bordas norte e sul da bacia (CPRM, 2014). Essas condições particulares, em conjunto, limitam em grande parte a instalação e evolução de sistemas cársticos expressivos, e, portanto a existência de cavernas em carbonatos.

Em clima equatorial amazônico quente e úmido, com altos índices pluviométricos sazonais, e densa cobertura florestal, as rochas estão sujeitas a importantes processos intempéricos que resultam na formação de espessos perfis de solos. O intemperismo equatorial amazônico, iniciado no Terciário Inferior, com pico máximo relacionado ao Plioceno (KOTSCHOUBEY e TRUCKENBRODT, 1981), invariavelmente atinge todas as rochas expostas. Essa alteração é responsável pela presença de perfis de solos com espessuras entre 30-40m, sendo comum alcançar bem mais de 100m.

A história plio-pleistocênica de formação do relevo e da paisagem amazônica, condicionada principalmente a movimentos isostáticos regionais discretos, é responsável pela presença de amplas superfícies de aplainamento com o lençol freático relativamente raso e volumoso. É comum a presença de crostas lateríticas-bauxíticas recobrimdo os topos dos platôs e serras, por vezes desprovidas de pedocobertura (desnudadas), propícias em conter coberturas lateríticas endurecidas que se mostram resistentes aos processos de dissecação do relevo, favorecendo o desenvolvimento de feições pseudocársticas em muitos casos.

Estas particularidades geológicas e geomorfológicas da Amazônia interferem nos mecanismos de formação de cavernas, onde a ação geoquímica de águas superficiais sobre rochas fortemente intemperizadas toma papel de destaque e criam modelos cársticos - pseudocársticos especiais.

A presença expressiva de cavernas em arenitos (Província Espeleológica Altamira-Itaituba; Província Espeleológica Monte Alegre; Figura 01); em perfis de solos lateríticos e bauxíticas (Província Espeleológica da Serra do Piriá); e em formações ferríferas arqueanas (Província Espeleológica Serra dos Carajás), têm relação direta com estas condições geológicas, em conjunto.

Este trabalho apresenta informações espeleológicas inéditas sobre a Gruta das Mãos, como exemplo de caverna desenvolvida em arenitos devonianos da borda sul da Bacia do Amazonas, no estado do Pará, na Província Espeleológica Altamira Itaituba (Figura 01). Os resultados alcançados permitem se identificar semelhanças e diferenças entre cavernas desta província com cavernas em arenito da Venezuela e da África do Sul (URBANI, 1977; MARTINI, 1982; MARTINI, 1984; URBANI, 1986) e do Brasil (p.ex.: MARTINS, 1985; KARMMAN, 1986; HARDT *et al.*, 2009; MORAIS e ROCHA, 2011).

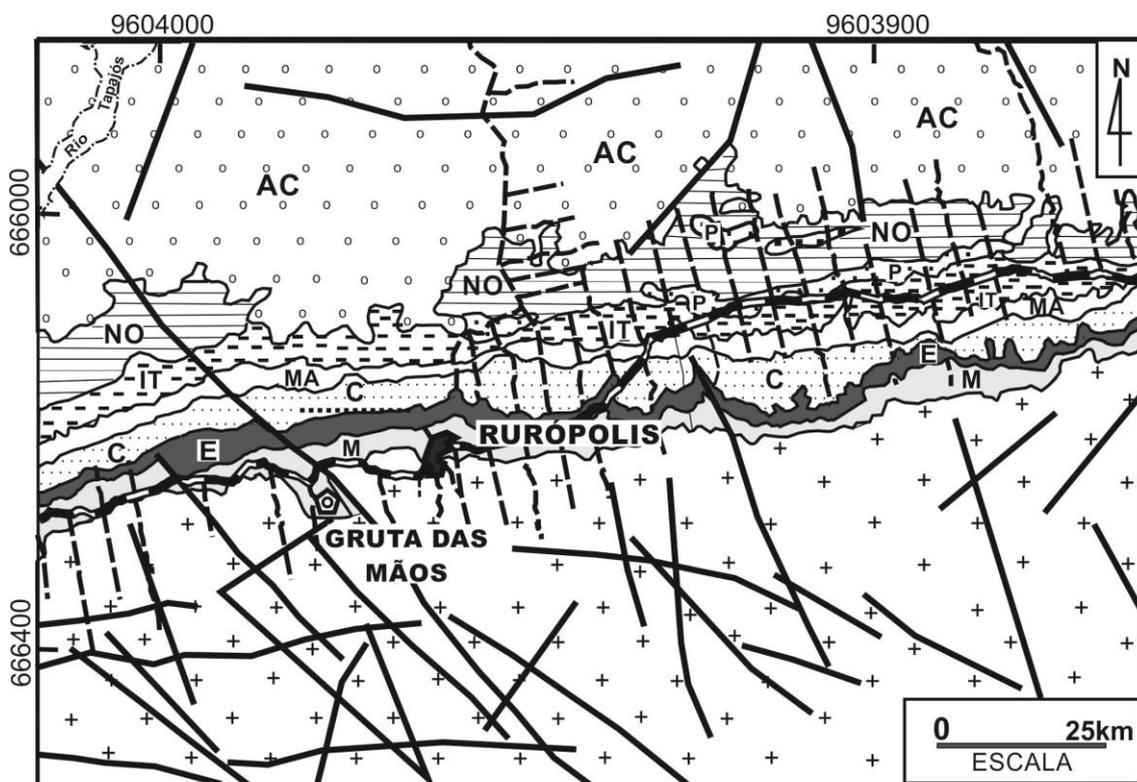
A escolha desta caverna, no contexto da Província Espeleológica Altamira-Itaituba, se dá por sua posição central na área da província, seu desenvolvimento expressivo no contexto, e por sua similaridade com a maioria das cavernas em arenito presente no cenário espeleológico amazônico. A caverna chama atenção ainda por sua importância arqueológica, com pinturas e gravuras rupestres presentes em suas entradas e, de forma incomum, em galerias na zona fótica (PEREIRA, 2011, PEREIRA e SILVA, 2014).

2. CONTEXTO GEOESPELEOLÓGICO - A PROVÍNCIA ESPELEOLÓGICA ALTAMIRA - ITAITUBA

Esta região espeleológica se caracteriza por desenvolver diversas feições pseudocársticas, incluindo cavernas, abrigos e dolinas em arenito associadas principalmente às formações Maecuru e Curuá (Devoniano; SCHOBENHAUS *et al.*, 1984) e, raramente, em calcário da Formação Itaituba (Carbonífero). São conhecidas neste cenário 56 cavernas em arenito, 01 caverna em folhelho e 01 caverna em calcário.

Estas feições estão dispostas em faixas subparalelas à direção geral ENE-WSW, nos domínios geológicos da borda sul da Bacia Sedimentar do Amazonas (Figura 02).

A área de ocorrência de cavernas da chamada Província Espeleológica Altamira-Itaituba compreende a borda sul da bacia sedimentar do Amazonas, entre os rios Xingu e Tapajós (Figura 01). Essa província ocupa a porção sul do Planalto Rebaixado do Amazonas, próximo de seu limite com os domínios da Depressão Periférica do Sul do Pará, de acordo com a com a definição do Projeto RADAM (RADAMBRASIL, 1975 e 1981).



LEGENDA

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- GRUTA DAS MÃOS
- RURÓPOLIS
- DRENAGEM FLUVIAL
- ESTRADA SECUNDÁRIA
- RODOVIA TRANSAMAZÔNICA
- LINEAMENTOS GEOLÓGICOS
- CONTATO LITOESTRÁTIGRÁFICO

UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

| | |
|------------------------|--------------|
| Formação Alter do Chão | CRETACEO |
| Diabásio Penatecaua | JURÁSSICO |
| Formação Nova Olinda | PERMIANO |
| Formação Itaituba | |
| Formação Monte Alegre | CARBONIFERO |
| Grupo Curuá | |
| Formação Ererê | DEVONIANO |
| Formação Maecuru | |
| Embasamento | PRECAMBRIANO |

Figura 02 – Mapa geológico para a região adjacente a cidade de Rurópolis (PA) ressaltando a localização da Gruta das Mãos, na borda sul da Bacia Sedimentar do Amazonas, próximo ao limite desta com as rochas do embasamento pré-cambriano.

A Província Espeleológica Arenítica Altamira Itaituba, em maior detalhe, está relacionada à *Superfície Montanhosa do Paleozóico* (RADAMBRASIL, 1975). O relevo neste domínio tem amplitude marcada por intervalos de cotas entre 50m e 100-180m, com os vales encaixados em baixas altitudes e as colinas e topos de platôs em cotas em torno de 120m, com morros aplainados predominantes e, eventualmente, com cristas suaves e recobertos por capa laterítica (Figura 03).

Em escala regional, o relevo neste domínio é marcado por processos de degradação com a presença de extensos platôs alongados com direção geral ENE-WNW, compondo o domínio de planaltos da região sul do vale do Rio Amazonas. Esses platôs seguem aproximadamente a direção dos afloramentos das camadas de rochas sedimentares que definem a geologia da região, e são, por vezes, substituídos por colinas e morros com cristas bem definidas, com vales encaixados (Figura 03).

BORDA SUL DA BACIA DO AMAZONAS

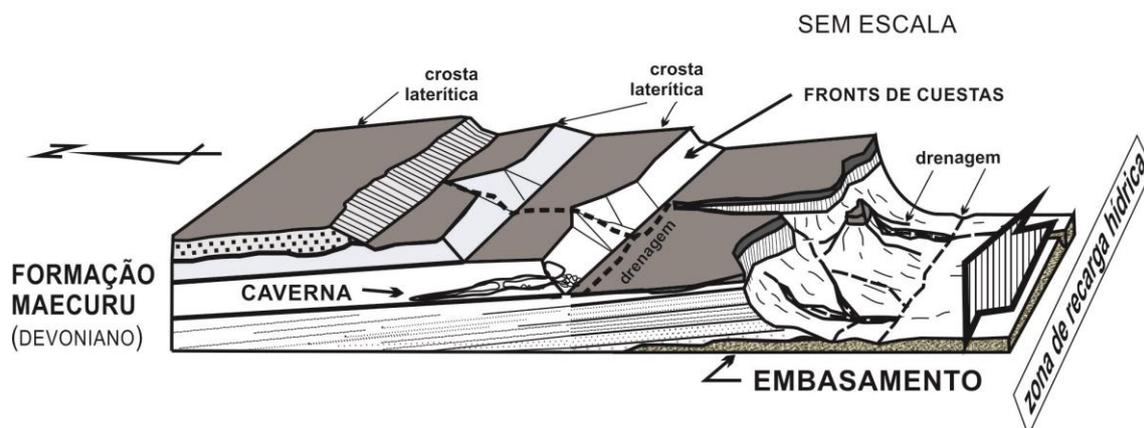


Figura 03- Bloco diagrama esquemático representando a disposição das camadas no contexto da área de ocorrência da Gruta das Mãos, na borda sul da Bacia do Amazonas, e as principais formas de relevo presentes. A figura ilustra a relação entre as camadas, a caverna e a zona de maior recarga hídrica condicionada ao limite entre as rochas sedimentares paleozoicas e as rochas cristalinas do embasamento pre-cambriano. Veja texto para mais detalhes.

Têm como característica, o desenvolvimento de várias frentes de *cuestas* descontínuas, eventualmente escalonadas e ravinadas, com *fronts* voltados para sul, e estendendo-se para norte onde se encontram menos conservadas, abaixo do nível de pediplanação, no reverso das *cuestas* (Figura 03).

Neste contexto as cavernas estão colocadas nos *fronts* de *cuestas* ou em vales encaixados nas incisões dos platôs, quase sempre na base das escarpas, em cotas próximas a 100-150m, logo acima dos leques de colúvios (depósitos de talus) que recobre parcialmente a base dos *fronts* (Figura 03).

A idade provável de início do processo de denudação do relevo tem sido associada ao Terciário, incluindo reativações neotectônicas (COSTA *et al.*, 1996), com retrabalhamentos posteriores ligados à evolução morfoclimática do Quaternário (AB'SABER, 1977), idade a qual deve estar relacionada à maior parte da história de formação destas cavidades.

A drenagem, em escala ampla, é predominantemente dendrítica com alguns tributários que se originam no interior das cavernas e em nascentes dispostas ao longo dos vales. Tal condição mostra que a evolução do relevo, marcado pelas escarpas e paredões dos *fronts* dos vales, está parcialmente associada à implantação e desenvolvimento das próprias cavidades.

Os topos das serras, limitadas pelas linhas de quebra de relevo desenhadas pelas escarpas retas abruptas, se mostram geralmente planos ou levemente ondulados, quase sempre capeados por um horizonte ferruginoso. Este horizonte, com espessuras métricas, se originou por lateritização de idade terciária (Eoceno; KOTSCHOUBEY e

TRUCKENBRODT, 1981) e recobre praticamente todas as faixas de rochas sedimentares da borda sul da Bacia do Amazonas. O capeamento ferruginoso torna os platôs resistentes ao desgaste físico-erosivo (erosão diferencial), aprofundando os vales e ressaltando encostas íngremes nos *fronts* das *cuestas*. As cavernas são encontradas com maior frequência na base dessas escarpas.

3. GRUTA DAS MÃOS - ASPECTOS GEOLÓGICOS, MORFOLÓGICOS E ESPELEOMÉTRICOS

A caverna está situada no município de Rurópolis, região centro-oeste de estado do Pará, norte do Brasil, no contexto da Província Espeleológica Arenítica Altamira Itaituba (Figuras 01 e 02).

A entrada principal da caverna tem coordenadas UTM 714023E e 9540228N, em cota altimétrica em torno de 154m acima do nível do mar (Figura 04). Duas outras entradas se posicionam a SW da principal, na continuação da escarpa de relevo. O topo do terreno, acima da entrada, está em cota em torno de 165m. Chama atenção o fato da entrada se encontrar em uma ampla depressão alongada, com mais de 400m de largura, no platô, que está sendo rapidamente ampliada por erosão recente (Figuras 04 e 05).

A caverna está encaixada em arenitos devonianos da Formação Maecuru, Membro Lontra (OLIVEIRA, 1940; *in* SCHOBENHAUS *et al.*, 1984). Os arenitos observados na caverna têm coloração creme-esbranquiçada e variam de finos a grossos, predominando os finos a médios. São em geral arenitos com grãos sub-arredondados, com seleção má a regular, friáveis, geralmente com

diminuição da granulometria para o topo, localizadamente cimentados, e muitas vezes caulíníficos. Estratificações cruzadas acanaladas de pequeno porte são abundantes nestas rochas. Intercalam-se a níveis siltosos e argilo-siltosos compactos, com coloração variando de creme a castanho claro, com estratificação plano-paralela, estruturas de sobrecarga e leves deformações.

Conjuntos de fraturas com direções NNW-SSE e E-W são predominantes nestas rochas e controlam fortemente a presença das galerias. Esses mesmos conjuntos podem ser vistos em sensores remotos, marcados por expressivos lineamentos de drenagens e relevo (Figura 02).

A caverna apresenta 942m de desenvolvimento linear, com galerias relativamente estreitas e longas, alinhadas preferencialmente na direção de 340° e secundariamente 230° de azimute (Figura 05).

A entrada principal, como já foi mencionado, está localizada na base de uma escarpa semi-circular, escavada em arco, com concavidade voltada para NW. A descida para a entrada é marcada por uma rampa com decline de cerca de 40° a 45°, e aproximadamente 12-16m de desnível. Os salões iniciais são amplos, com teto a cerca de 6 a 8m de altura, e largura de até mais que 20m, dando lugar, para NE, a galerias retilíneas, encaixadas em conjuntos de fraturas, com largura entre cerca de 5m e menos de 1m.

A parte mais expressiva da caverna corresponde a uma galeria estreita e longa, que converge da entrada, até alcançar uma dolina semicircular, com cerca de 30m de diâmetro no topo do platô, distante cerca de 400m a norte. A presença da dolina estabelece um sistema de circulação de ar no interior da caverna, com fluxo diurno do interior para a entrada principal (Figura 05).

Um sistema simples de drenagem segue constantemente ao longo das galerias, em típico padrão criptorréico (Figura 06). Essa drenagem juvenil, bastante ativa no período de chuvas, escava a base das paredes das galerias em forma de “sino” (larga na base e abruptamente estreita e longa para cima), encaixadas em planos de fraturas (Figura 05).

A drenagem potencialmente ativa tem nascentes fora da cavidade, com fluxo em direção ao interior da mesma. Diversos sumidouros e ressurgências estão presentes nas paredes e galerias mais novas. Na época de visita a vazão da drenagem pode ser descrita como baixa a moderada, mas deve aumentar substancialmente durante o período chuvoso, entre os meses de dezembro e abril/maio (Figura 06).



Figura 04 - Entrada da Gruta das Mãos. Observar o leque de colúvios e o desnível entre o platô e o piso da caverna.

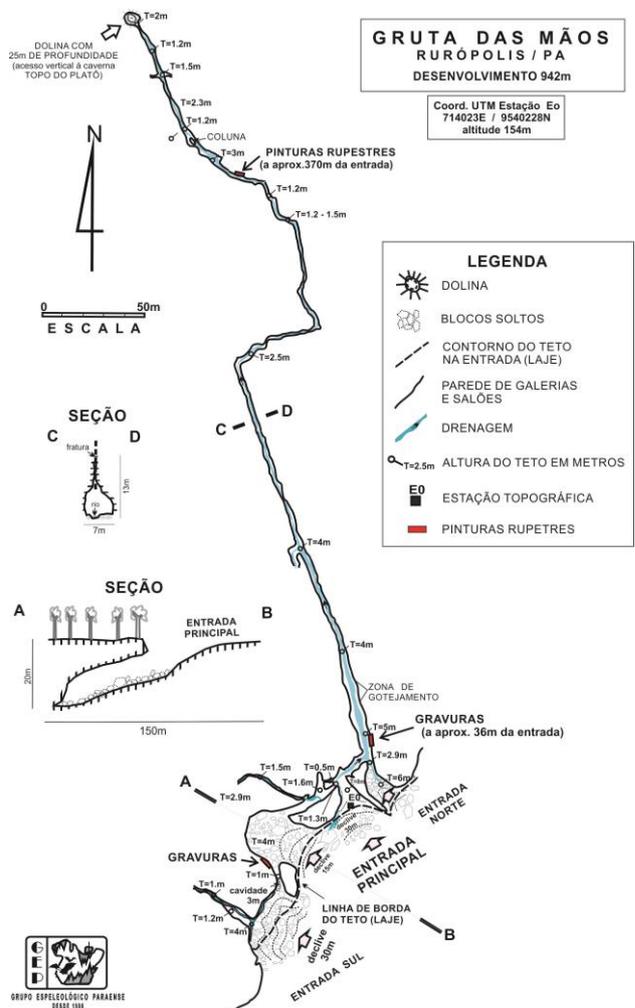


Figura 05- Mapa da Gruta das Mãos incluindo seções transversais em suas galerias.



Figura 06 – Galeria inicial da caverna, fortemente controlada por fraturas tectônicas, com erosão atual decorrente de drenagem ativa.

As paredes da caverna são relativamente lisas e às vezes planas, acompanhando em geral as superfícies das fraturas onde se encaixam. O forte controle estrutural, condicionado às fraturas NNW-SSE, reflete no desenvolvimento retilíneo da caverna (Figuras 07 e 08). É comum a presença de lâminas de hematita-goethita e outros derivados intempéricos (fosfatos?), acompanhando os planos de fraturas e precipitados nas paredes e tetos em forma de cortinas, pequenas estalactites e revestimentos de paredes em corais de sílica e (?) óxidos-hidróxidos de Fe-Al (Figura 07).

Pinturas e gravuras rupestres estão presentes nas paredes internas da caverna e chama atenção à ocorrência de pinturas a cerca de 370m da entrada, e diversas gravuras a 36 m e nas entradas adjacentes (PEREIRA, 2011). Há pichações recentes nas adjacências das gravuras, ameaçando a conservação do registro pré-histórico e o ambiente cavernícola.

A significativa dinâmica atual da drenagem, no processo de ampliação e abertura de espaços na rocha, promove erosão da base das paredes das galerias e coloca em risco a conservação das pinturas e gravuras previamente mencionadas. A taxa de erosão das paredes como observada na época da visita, pode ser considerada relativamente alta, capaz de alterar substancialmente a configuração das galerias em curto espaço de tempo, sazonalmente, principalmente durante a época de chuvas regionais mais intensas.

Essa dinâmica de construção e remodelamento constante das galerias é facilitada, sobretudo pela relativa friabilidade da rocha (perda intempérica de cimento por *arenitização*?). Essa observação permite especular sobre a possibilidade da existência anterior de um número maior de ocorrências de pinturas e gravuras rupestres nesta e em outras cavernas regionais, possivelmente destruídas pela dinâmica fluvial subterrânea ativa.

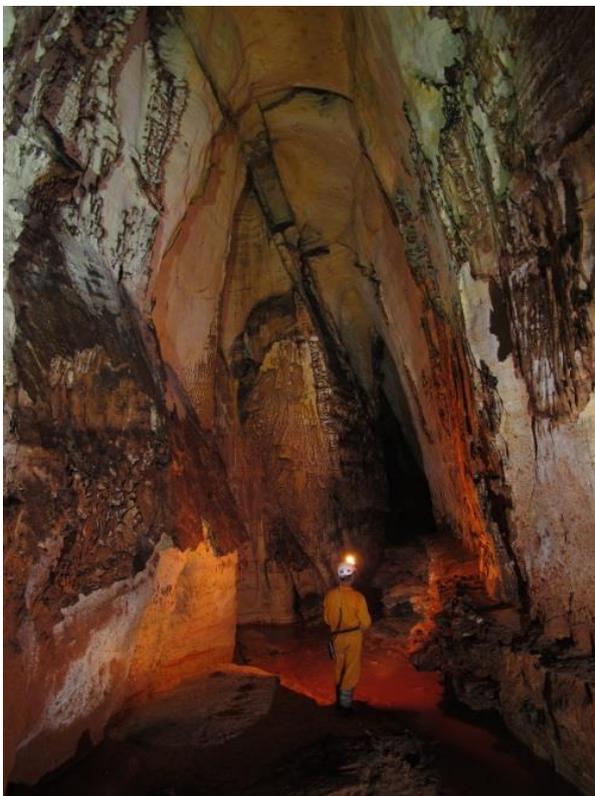


Figura 07- O forte controle estrutural das galerias, encaixadas em fraturas com direção em torno de 340° Az. Observar na foto da direita a presença de espeleotemas tipo corais, em sílica e (?) óxido-hidróxidos de Fe-Al.

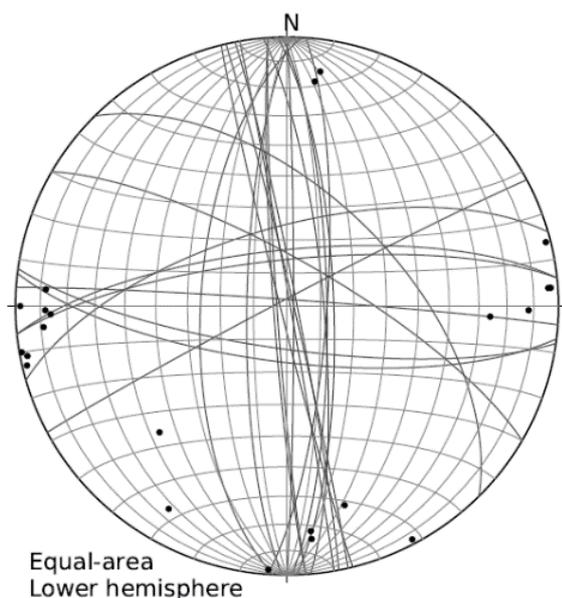


Figura 08- Estereograma de igual área para planos de fratura e respectivos pólos. Observar a predominância de planos na direção em torno de N-S a NNW-SSE, concordantes com as direções principais das galerias da caverna (Figura 04).

4. MODELO ESPELEOGENÉTICO PARA A GRUTA DAS MÃOS

Usando como referência os modelos de desenvolvimento de cavernas em rochas silicosas propostos, por exemplo, por Urbani (1977), Martini (1984), Karmman (1986), Hardt (2009) e Martini (2000), pode-se sugerir os seguintes episódios para explicar a existência da caverna: (1) fraturamento tectônico da rocha; (2) soerguimento com o desenvolvimento do relevo; (3) alterações do nível do lençol de águas freáticas; (3) ataque geoquímico, com corrosão química das rochas por águas meteóricas ácidas – nesse estágio parte do cimento silicoso da rocha é dissolvido deixando a rocha friaável (*arenitização*); (4) erosão da rocha friaável por fluxo conduzido em fraturas (*piping*: carreamento dos grãos por pressão hidráulica sobre conduto fraturado); (5) abertura de galerias e salões por erosão de partículas da rocha por drenagem endorréica em condições vadasas; (6) exposição dos condutos e galerias em ambiente vadoso com expansão dos espaços por ação gravitacional e escavação fluvial; (7) flutuações do nível freático com ação conjunta fluvial a gravitacional, acompanhada de avanço de precipitação mineral e revestimento seletivo dos espaços internos da caverna.

De forma geral a caverna é bastante semelhante às demais cavernas em arenito existem na Província Altamira Itaituba, e comparável com cavernas em arenitos e quartzitos da Venezuela e África do Sul (URBANI, 1977; MARTINI, 1982;

MARTINI, 1984; URBANI, 1986), de Balbina no Amazonas (ELETRONORTE, 1986), no Amazonas (KARMMAN, 1986) Altinópolis em São Paulo (MARTINS, 1985) e em parte, no Tocantins (MORAIS e ROCHA, 2011) e ainda na Chapada dos Guimarães em Mato Grosso e Serra de Itaqueri em São Paulo (HARDT *et al.*, 2009).

A preferência de desenvolvimento das cavernas pela região de borda da bacia deve-se ao suave mergulho que as camadas ganham em direção ao centro da bacia. Esse mergulho fraco ($<15^\circ$) favorece a migração do lençol freático e conduz o relevo à formação de *fronts* de *cuestas*, onde as cavernas têm maior possibilidade de erosão por drenagem ao longo de fraturas (Figura 03). O fato de essas rochas estarem na base da sequência paleozóica exposta na borda sul da bacia, próximo ao contato com o embasamento cristalino, faz com que grande parte da recarga hídrica local aconteça por esta região (Figura 03). Essa particularidade, em conjunto com fatores morfológicos e climáticos, tem grande importância na presença de cavernas no contexto desta província.

Rochas com camadas previamente fraturadas são facilitadores na abertura das cavernas. O arranjo espacial entre a posição das fraturas em relação às direções das encostas (direção dos vales fluviais) tem papel relevante nos estágios iniciais de formação das cavernas. As cavernas têm possibilidade de se formar quando as fraturas interceptam as vertentes das encostas, ou mesmo as direções de fraturas cortam as drenagens com caráter erosivo, servindo de condutos forçados de fluxo hidráulico (*piping*).

A posição altimétrica do lençol freático em relação à cota de superfície dos vales e drenagens subordinadas condiciona o processo erosivo das cavernas. Quanto maior o desnível entre estas duas superfícies mais ativo o processo de erosão e, portanto maior a taxa de desenvolvimento das galerias e crescimento das cavernas. A drenagem pode ser criptorréica, com fluxo para o interior, ou para o exterior, em função da posição altimétrica do nível freático no maciço.

A erosão hidráulica é precedida por ataque intempérico da rocha por ação geoquímica de águas superficiais e subterrâneas (Figura 09). A taxa de dissolução da sílica extremamente baixa e a pouca solubilidade desta em ambientes geológicos pode ser alterada pela ação de soluções reativas concentradas em zonas de fraturas, permitindo a transformação das rochas maciças e duras em massas porosas e permeáveis (URBANI, 1986; MARTINI, 1984; MARTINI, 1982; MARTINI, 2000). Desta forma pode-se dizer que as formas cársticas em rochas

silicosas não estão controladas quimicamente apenas pela solubilidade, mas também pela taxa de dissolução do mineral envolvido, destacando-se, neste caso, o quartzo ou o(s) mineral(ais) presente(s) no cimento da rocha (p.ex. MARTINI, 1984 e 2000).

Esta nova condição textural e mecânica (*arenitização* ou *decimentação*) deixa a rocha vulnerável a ação erosiva, notadamente por água sob pressão hidráulica canalizada ao longo das superfícies de fraturas (processo conhecido como *piping*, como sugerem p. ex. Martins, 1985; Urbani, 1986; Karmman, 1986). O escoamento de rocha, em grãos, se dá pela ação de forças de pressão e tração estabelecidas na rocha por perda do equilíbrio e reajuste gravitacional, com esforços laterais muito mais intensos que verticais (RABCEWICZ, 1979).

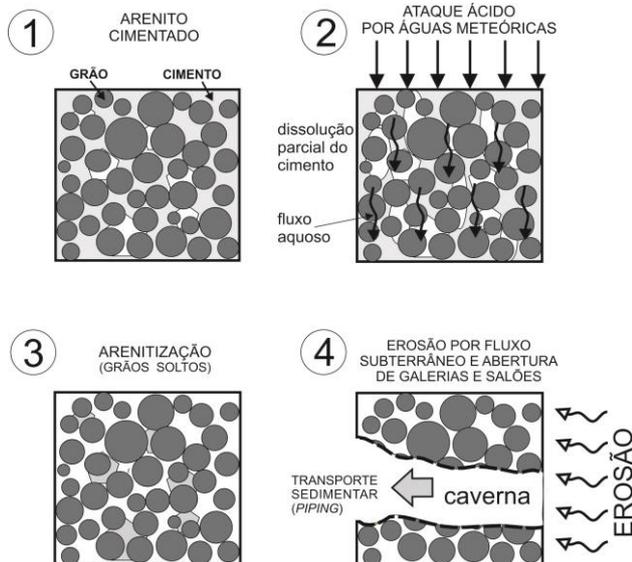


Figura 09- Esquema para explicar o processo de dissolução do cimento de arenitos por ação de águas meteoricas, conduzindo a rocha à fragilidade (*arenitização*) mecânica e favorecendo a ação de erosão por fluxo hidráulico (*piping*). Esse caminho dá início à formação da caverna em condições freáticas (veja texto para mais detalhes).

O *piping* inicia quando a região da rocha *arenitizada* estabelece conexão com a superfície de um vale ou suas paredes de escarpas, com o nível freático colocado em desnível altimétrico em relação à cota do nível topográfico da drenagem superficial (Figura 10). Essa situação permite o estabelecimento de uma diferença de potencial hidráulico, e fluxo entre o aquífero e a drenagem, para o interior da rocha ou para fora desta.

O início da formação das cavidades é marcado pela erosão em pacote de rocha previamente *arenitizada*, tornada friável por lixiviação do cimento (Figura 09). Com a continuidade e ampliação do processo erosivo este extrapola o domínio friável e amplia o ataque erosivo para níveis mais profundos, geralmente concentrados nos planos de fraturas tectônicas (Figura 10).

Com a descida do nível freático, induzida por rebaixamento devido mudanças climáticas ou por soerguimento tectônico do maciço, partes das galerias vão sendo colocadas em zona vadosa, condicionando o processo de colapso por gravidade, com rápido aumento do volume de espaços livres na caverna (Figura 10). Esse processo é marcado por solifluxão e modelamento final do relevo endocársico e exocársticos. Essa condição é acompanhada localmente por preenchimento com precipitação em espeleotemas cujos minerais são derivados de fluidos de lavagens intempéricas e suas reações tardias (sílica, fostatos, óxidos e hidróxidos de Fe-Al, etc.).

As cavernas da Província Espeleológica Altamira-Itaituba entraram em condições vadasas provavelmente no final do desenvolvimento da Superfície Montanhosa do Paleozóico, e atravessam atualmente este estágio, onde as serras, localizadamente, com estruturação em cuestras e platos, entram em abatimento gravitacional de blocos em fatias sub-paralelas aos vales. Seguindo este mecanismo, a erosão se dá inicialmente na base dos paredões abruptos, quando exógenas, ou em subsuperfície (erosão endógena). Os dois processos competem simultaneamente e ditam em grande parte a morfologia e desenvolvimento da caverna em formação.

Desta forma pode-se sintetizar que a presença da caverna no pacote de rocha arenítica depende da interação conjunta de fatores responsáveis pela implantação do relevo (taxa de implantação das vertentes; posição dos vales em relação aos elementos tectônicos regionais; resistência das rochas ao entalhe erosivo; presença de fraturas tectônicas; capacidade de ação dos agentes erosivos; soerguimentos e subsidências tectônicas, etc.) e fatores hidrodinâmicos (gradientes e oscilações do lençol freático; posição deste em relação aos vales e vertentes; porosidade e permeabilidade da rocha; etc.). Os fatores climáticos predominantes durante o regime de implantação do relevo e nos dias atuais também são elementos importantes para o desenvolvimento do processo espeleogenético das cavidades neste contexto.

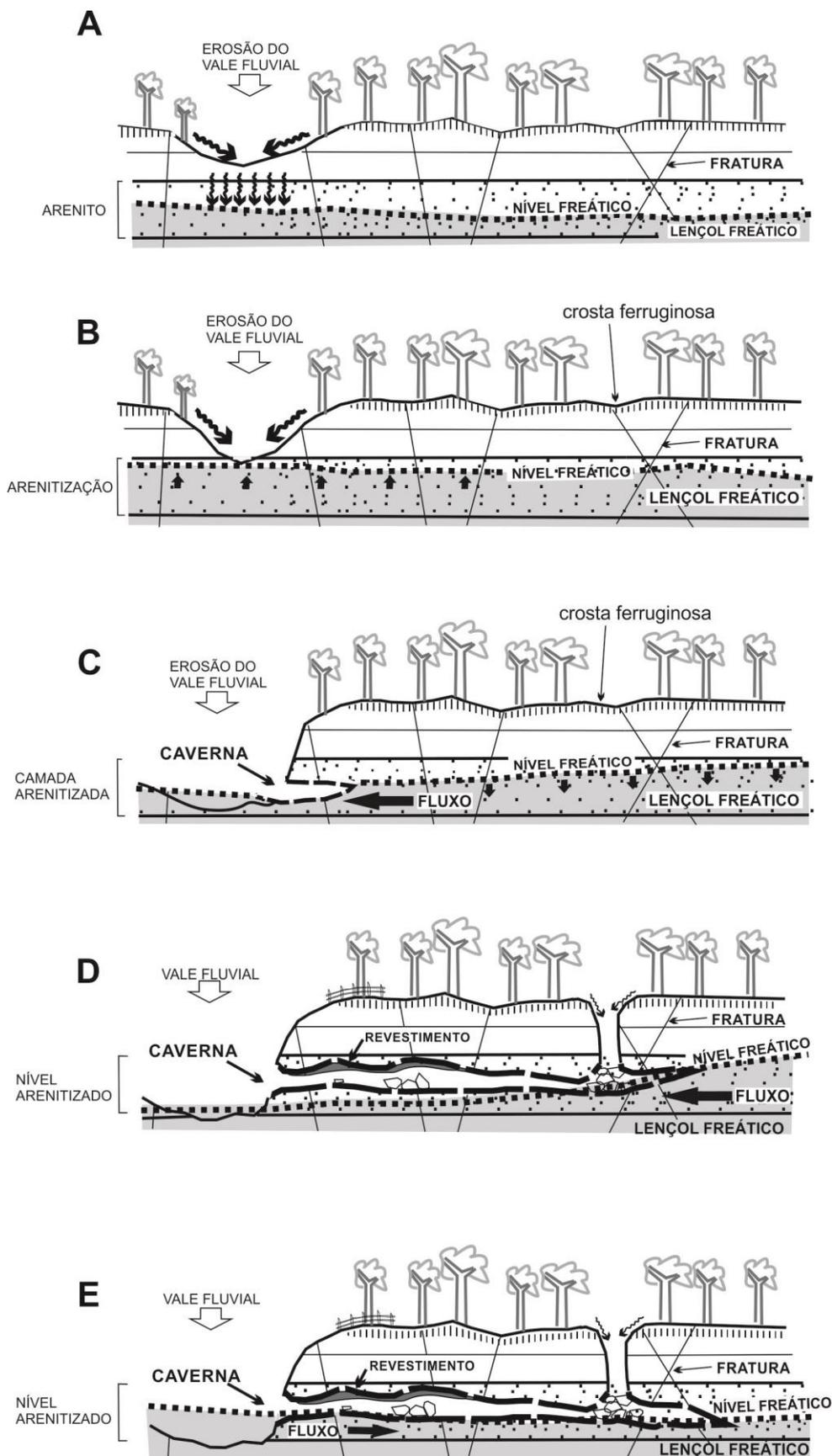


Figura 10- Estágios de desenvolvimento da Gruta das Mãos. (A) a rocha fraturada é soerguida por isostasia, esculturação do relevo e alimentação do lençol freático; (B) avanço erosivo e intempérico com subida do nível freático, colocando o arenito em condições freáticas; início do processo de *arenitização*; (C) oscilações do nível freático induzem fluxo sobre a rocha *arenitizada* e início da erosão e formação da caverna; (D) e (E) ampliação das galerias por erosão induzida por fluxo hidráulico e início de exposição das galerias em condições vadosas, com colapso gravitacional e precipitação de minerais neoformados (espeleotemas).

Estes processos, em conjunto ou isoladamente, são descritos como pseudo-cársticos e são capazes de gerar uma diversidade de paisagens envolvendo vários tipos rochosos solúveis e insolúveis, dentre eles os arenitos (HARDT *et al.*, 2009; FREIRE e LIMA, 2012).

Cavernas em rochas silicosas conhecidas no mundo, notadamente na África do Sul (MARTINI, 1982; MARTINI, 1984) e na Venezuela (URBANI, 1977; URBANI, 1986) apresentam semelhanças marcantes com as cavernas em arenito na Amazônia, tal como a Gruta das Mãos.

Destaca-se particularmente no contexto amazônico, e para a região da borda sul da Bacia do Amazonas (Figura 02), a posição as rochas imediatamente sobrejacentes ao embasamento cristalino, criando neste nível do maciço, condições de recargas e de fluxos de águas relativamente altos (Figura 03). Observa-se ainda, ausência de expressivas feições de paisagens pseudocársticas, no relevo de superfície, como descritas na Venezuela e África do Sul (URBANI, 1977; MARTINI, 1982; MARTINI, 1984; URBANI, 1986).

Em outras palavras, na borda sul da bacia do Amazonas, onde estão posicionadas as cavernas referidas, não existem feições de relevo do tipo pseudocárstico expressivo, notadamente os de superfície de relevo (também conhecidos como *relevo ruiforme*, com torres, pináculos, fendas, arcos, etc.).

Esta diferença deve-se provavelmente ao estágio ainda transicional de entrada em condições vadosas a que estas rochas estão sujeitas, considerando as evidências de presença de nível freático ainda raso, com o relevo (superfície e sub-superfície) sendo significativamente trabalhado por drenagens ativas, em cotas próximas do nível de piso das cavernas.

A caverna, e suas encostas de serras subordinadas, está estágio transicional (marcado pela ação erosiva fluvial superficial e cárstica) e o estágio vadoso, não tendo ainda alcançado plenamente esta última condição.

5. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

Com base em dados observados na Gruta das Mãos, na Província Espeleológica Altamira-Itaituba, pode-se ressaltar as seguintes conclusões:

Ω a posição das rochas areníticas na Formação Maecuru em relação à borda sul da bacia do

Amazonas, imediatamente adjacente às rochas do embasamento, condiciona a presença de uma zona de alto fluxo hidráulico potencializando a ação geoquímica e erosiva das águas meteóricas para a formação das cavernas observadas.

Ω as cavernas são provavelmente formadas pela ação inicial de dissolução do cimento dos arenitos (*arenitização* ou *decimentação*) em volumes de rochas no maciço, seguida da ação erosiva de fluxo hidráulico canalizado em fraturas.

Ω as rochas nessa região ainda não alcançaram condições vadosas plenas, com a formação pouco expressiva de feições pseudocársticas tais como torres, arcos e outras feições ruiformes típicas. A ação erosiva de águas subterrâneas e superficiais é ainda plenamente ativa e modifica substancialmente a morfologia subterrânea atual, indicando a condição transicional entre o estágio de rebaixamento do nível freático e a ação de colapso gravitacional e reequilíbrio mecânico típica de estágios vadosos tardios.

Ω em comparação com as cavernas quartzíticas e areníticas da Venezuela e África do Sul, observa-se que as cavernas da borda sul da Bacia do Amazonas, no Brasil, estão ainda em processo ativo de desenvolvimento geoespeleológico. Esta condição deve estabelecer importantes influências sobre o meio abiótico (precipitação de minerais, formação de espeleotemas, estabilidade de galerias e condutos, etc.) e ainda no meio biótico causando constantes modificações ambientais e tensão ecológica entre indivíduos e espécies habitantes desse ambiente. Essa condição afeta também, direta e indiretamente, a conservação de registros arqueológicos, no caso, os painéis de arte rupestre.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi realizado com o auxílio financeiro do CNPq através do Projeto Arte Rupestre e Contexto Arqueológico nas Cavernas de Rurópolis, Pará. O trabalho de campo teve o apoio da Sra. Erismar de Souza Silva, presidente da Associação dos Exploradores de Cavernas de Rurópolis, a quem agradecemos por sua colaboração e cativante empolgação com as cavernas da região.

BIBLIOGRAFIA

- AB'SABER A.N. Potencialidades paisagísticas brasileiras, **Geomorfologia**, 55, pp. 1-25. 1977.
- BRAGA, A.A. de J. & COSTA, F.R. Caracterização estrutural nas áreas de ocorrência de cavidades naturais da Unidade Espeleológica de Carajás-PA. Congresso Brasileiro de Geologia, 47, **Anais**. Salvador BA, 2014. p.34.
- CABRAL, E. da S.; MACAMBIRA, J.B.; ABREU, S. da S. Geologia e petrografia de formações ferríferas associadas à cavernas da Serra Sul, Carajás-PA. Congresso Brasileiro de Geologia, 47, **Anais**. Salvador BA, 2014, p.120.
- COSTA, J.B.S.; BEMERGUY, R.L.; HASSUI, Y.; BORGES, M.S.; FERREIRA Jr, C.R.R.; BEZERRA, P.E.L.; COSTA, M.L.; FERNANDES, J.M.G. Neotectônica na região Amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. **Gnomos**, 4 1996, p.23-44.
- CPRM, Geological Survey of Brazil, GIS – **Geology and mineral resources of the State of Pará**. Digital archive in shapefile format. Acessado em Out. 2014.
- CRESCENCIO, G.; ATZINGEN, N. von & GESTER, R. Estudos espeleológicos no município de Marabá-PA. **Boletim Técnico da Casa de Cultura de Marabá**, 2, p.65-70. 2011.
- ELETRONORTE. Centrais Elétricas do Norte do Brasil. **Usina Hidrelétrica de Balbina. Estudos ambientais do reservatório de Balbina**, Relatório Diagnóstico BAL-50-1001-RE, Brasília DF. Relatório inédito. 1986. 78p.
- GEP, GRUPO ESPELEOLÓGICO PARAENSE. Primeiras observações espeleológicas da Gruta do Piriá-PA, Belém PA. Relatório Inédito, 1983. 40p.
- HARDT, R; PINTO, S. A. F. Carste em Litologias não carbonáticas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.10, n.2, p.99-105. 2009.
- HARDT, R.; RODET, J.; PINTO, S. dos A.F.; WILLEMS, L. Exemplos Brasileiros de Carste em Arenito: Chapada dos Guimarães (MT) e Serra de Itaqueri (SP). **Espeleo-Tema**, v.20, n.1/2, p.07-23. 2009.
- FREIRE, L.M. & LIMA, J.S. Província Espeleológica Altamira- Itaituba, Estado do Pará: exemplo de carste em rochas não carbonáticas. Simpósio Nacional de Geomorfologia, 9, **Anais**, Rio de Janeiro, 2012, 6p.
- KARMANN, I. Caracterização geral e aspectos genéticos da gruta arenítica “Refugio do Maroaga”, AM-02. **Espeleo-Tema**, v.13, p.09-18. 1986.
- KOTSCHOUBEY, B. & TRUCKENBRODT, W. Evolução poligenética das bauxitas do distrito de Paragominas-Açailândia (Estados do Pará e Maranhão). **Rev. Bras. Geoc.**, 11: 1981. 193-202.
- MARTINI, J.E.J. Rate of quartz dissolution and weathering of quartzite. **Bull. South Afr. Speleo. Ass.** V.25, p.7-10. 1984.
- MARTINI, J.E.J. Dissolution of quartz and silicate minerals. In: Klimchouk B.A.; Ford, D.C.; Palmer, A.N.; Dreybrodt, W. (editors). **Speleogenesis – Evolution of karst Aquifers**. Huntsville (USA), National Speleological Society, 2000, p. 171-174.
- MARTINI, J.E.J. Karst in Black and Wolkberg group quartzite of the eastern Transvaal escarpment, South Africa. **Bol. Soc. Venezolana Espeleologia** 10(19). p.99-114. 1982.
- MARTINS, S.B.M.P. (Coord.) **Levantamento dos Recursos Naturais do Distrito Espeleológico Arenítico de Altinópolis, SP**. Relatório Final FAPESP, 1985. 121p, 6 mapas.

- MAURITY, C.W.; PINHEIRO, R.V.L.; KERN, D.C.; SOUZA, S.H.P.; HENRIQUES, A.L.; SILVEIRA, O.T. Estudos das Cavernas da Província Espeleológica Arenítica de Monte Alegre (PA). **Cadernos de Geociências**, v. 15, p. 57-63, 1995.
- MAURITY, C.W. 1995. **Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1, Serra dos Carajás-PA**. (Mestrado em Geologia) Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, PA. 1995, 93p.
- MAURITY, C.W.; CRESCÊNCIO, G. & PINHEIRO, R.V.L. Estudos espeleológicos em Palestina do Pará. **Boletim Técnico da Casa de Cultura de Marabá**, 2, p.51-64. 2011.
- MORAIS, F. & ROCHA, S. da. Cavernas em arenito no Planalto Residual do Tocantins. **Espeleo-Tema**, v.22, n.1, p.127-137. 2011.
- MOREIRA, J.R.A.; PINHEIRO, R.V.L.; PAIVA, R.S. **Novos Dados Espeleológicos dos Platôs N-4 e N-1 da Serra dos Carajás**. Belém. Grupo Espeleológico Paraense GEP, Relatório Inédito, 1986, 29p.
- PEREIRA, E. **Vistoria Técnica em Sítios com Arte Rupestre no Município de Rurópolis (PA)**. Belém PA. Museu Paraense Emílio Goeldi, Departamento de Antropologia, Relatório Inédito, 2011. 27p.
- PEREIRA, E. e SILVA, E. de S. Da penumbra à escuridão - A arte rupestre das cavernas de Rurópolis, Pará, Amazônia, Brasil. In: Rupestreweb, <http://www.rupestreweb.info/cavernasruropolis.html>. Acessado em Outubro de 2014.
- PINHEIRO, R. V. L. Nova Proposta para a Classificação de Províncias Espeleológicas. In: I Congresso de Espeleologia da América do Sul e do Caribe, 1, Belo Horizonte. **Anais**. SBE-FEALC, 1988. p.220-222.
- PINHEIRO, R.V.L.; MAURITY, C.W. As Cavernas em Rochas Intempéricas da Serra dos Carajás (PA). In: I Congresso de Espeleologia da América do Sul e do Caribe, 1, 1988, Belo Horizonte. **Anais**. SBE-FEALC, 1988. p. 179-186.
- PINHEIRO, R.V.L.; ARCANJO, S.E.S.; KERN, D.C.; GORAYEB, P.S. de S. Dados Espeleológicos da Serra das Andorinhas, São Geraldo do Araguaia (PA). In: GORAYEB, P.S. de S.(Org.) **Parque Andorinhas: História, Conhecimento e Preservação**. Belém (PA): SECTAM/FUNTEC/UFPA/FADESP, 2007, v.01, p.119-127.
- PINHEIRO, R.V.L.; MOREIRA, J.R.A.; KERN, D.C.; MAURITY, C.W.; KRAUSE, E.A.K.; PAIVA, R.S.; PINHEIRO, S.V.L.; SOUZA, S.E. **As Cavernas e Grutas de Altamira PA**. Belém PA: Grupo Espeleológico Paraense GEP, Relatório Inédito, 1999. 32p.
- PINHEIRO, R.V.L.; SILVEIRA, O.T. As Grutas Bauxíticas da Serra do Piriá. In: XVI Congresso Nacional de Espeleologia, 16, Rio Claro. **Anais**. São Paulo: SBE, 1984. v.1. p.01-09.
- PINHEIRO, R.V.L.; MAURITY, C.W.; SANTOS, H.M.M.; MELO, C.C S.; TOLEDO, P.M. **Observações preliminares sobre as cavernas da região de Itaituba - PA**. Belém PA: Grupo Espeleológico Paraense GEP, Relatório Inédito, 1998, 21p.
- PINHEIRO, R.V.L.; MAURITY, C.W.; MOREIRA, J.R.A.; DOMINGOS, F.H.G.; SILVA, W.L. da; OLIVEIRA, A.C. da S. **As Cavernas da Região de Altamira - PA**. Belém PA: Grupo Espeleológico Paraense GEP, Relatório Inédito, 2001, 34p.
- PINHEIRO, R.V.L.; SILVEIRA, L.T.; MAURITY, C.W. & HENRIQUES, A.L. **Considerações preliminares sobre a espeleologia da Serra dos Carajás (PA)**. Belém PA: Grupo Espeleológico Paraense GEP, Relatório Inédito, 1985, 49p.

- PINHEIRO, R.V.L.; MOREIRA, J.R.A.; SILVEIRA, O.T. Cavernas em Arenitos da Região de Monte Alegre. In: Congresso Nacional de Espeleologia, 1985, Ouro Preto MG. **Anais**. SBE, 1985a. p.09-09.
- RADAMBRASIL, Projeto. **Geomorfologia**. Departamento Nacional da Produção Mineral. Folhas: NA-21, NA-22, SA-21, AS-22, AS-23, SB-21, SB-22, SB-23, SC-21, SC-22. (Levantamento de Recursos Naturais). 1975.
- RADAMBRASIL. Projeto. **Levantamento integrado dos recursos naturais do Brasil**. Ministério das Minas e Energia - MME, Rio de Janeiro, 1981.
- SCHOBENHAUS C., CAMPOS D.A., DERZE G.R., ASMUS H.E. **Geologia do Brasil**. texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:250.000. Brasília, DNPM. 1984. 435p.
- SILVEIRA, L.T.; PINHEIRO, R.V.L.; PINHEIRO, S.V.L. **Roteiro Espeleológico das Serras do Ererê e Paituna, Monte Alegre (PA)**. Belém PA. Grupo Espeleológico Paraense GEP, Relatório Inédito, 1984, 55p.
- TRAJANO, E. & MOREIRA, J.R. de A. Estudo da Fauna de cavernas da Província Espeleológica Arenítica Altamira-Itaituba, Pará. **Rev. Brasil. Biol.**, 51(1):13. p.-291-991. 1991.
- URBANI, F. Notas sobre el origen de las cavidades em rocas cuarcíferas precambria del Grupo Roraima, Venezuela. **Interciência**, v.11 n.6, p.298-300. 1986.
- URBANI, F. Nuevos comentarios sobre estudios realizados em las formas cársticas de la cuarcitas del Grupo Roraima, I, 1977, **Bol. Soc. Venezolana Espel.** 8(15):71-77, 1977.

Fluxo editorial:

Recebido em: 11.11.2014

Aprovado em: 09.05.2015



A revista *Espeleo-Tema* é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE).
Para submissão de artigos ou consulta aos já publicados visite:

www.cavernas.org.br/espeleo-tema.asp