



TEMAS E TEMÁTICAS PARA ZONEAMENTO DE SISTEMAS CÁRSTICOS NA AMAZÔNIA ORIENTAL-BRASIL

Themes and topics for zoning of karst systems in the Eastern Amazon-Brazil

Temas y temáticas para zonificación de sistemas cársticos en Amazonia Oriental-Brasil

Maria Rita Vidal ¹

Abraão Levi dos Santos Mascarenhas²

Diemison Ladislau Alencar³

Andréa Regina de Britto Costa Lopes⁴

RESUMO

Representativos ambientes cársticos podem ser observados no Parque Estadual Serra dos Martírios/Andorinhas (PESAM) no Estado do Pará. A partir de uma visão interdisciplinar, apoiada em recursos geoinformativos (sistemas de informação geográficas), foi elaborado um roteiro de temas e temáticas geoambientais que permitem propor zonas de proteção e uso sustentável de trilhas em ambientes cársticos no PESAM. Para a compartimentação ambiental foi adotada a Geoecologia das Paisagens como suporte à delimitação das unidades de paisagem. Estas unidades são a base para a definição de trilhas que possibilitam o acesso à caverna. Como resultados, o gradiente altimétrico possibilitou construir uma tipologia de trilhas baseadas em grau de dificuldade, enquanto as feições geomorfológicas complementam a delimitação das unidades de paisagem. Estas bases auxiliam o plano de uso público de visitantes e pesquisadores através do estabelecimento de trilhas para acesso externo e interno à caverna, além de possibilitar sinalizar os principais salões a serem visitados através de diferentes categorias e fragilidades.

Palavras-chave: cavidades, geoprocessamento, conservação, patrimônio geomorfológico.

ABSTRACT

In the Serra dos Martírios/Andorinhas State Park (PESAM), in the State of Pará, representative karst environments can be observed. Based on an interdisciplinary vision, supported by geoinformation

¹ Professora de Geografia na Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará/UNIFESSPA. Doutora em Geografia pela UFC. Coordenação Geral do Projeto CAVEGIS na UNIFESSPA. Líder do grupo de pesquisa do CNPq "Geoecologia das paisagens e sistemas geoinformativos". Folha 31, qd. 7, lote especial, s/n, bairro Nova Marabá, Marabá-PA, Brasil. CEP: 68507-590. Tel.: 94-2101-7105. ritavidal@unifesspa.edu.br.

² Professor de Geografia na UNIFESSPA. Mestre em Geografia pela UFC. Doutorando em Geografia-USP. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará/Unifesspa. Coordenação das metodologias dos sistemas geoinformativos e da modelização gráfica e cartográfica do Projeto CAVEGIS. Folha 31, qd. 7, lote especial, s/n, bairro Nova Marabá, Marabá-PA, Brasil. CEP: 68507-590. Tel.: 94-2101-7105. abraaolevi@unifesspa.edu.br.

³ Geógrafo pela UNIFESSPA. Mestrando em Geografia do Pontal-UFU R. Vinte, nº 1600 - Tupã, Ituiutaba - MG, 38304-402/Campus Pontal. Técnico responsável pelos produtos derivados dos geoprocessamentos. Membro do Grupo de pesquisa do CNPq "Geoecologia das paisagens e sistemas geoinformativos". Tel.: 34-3271-5305. diemisonladislau@gmail.com.

⁴ Professora Adjunta na Faculdade de Ciências Humanas do Instituto de Estudos do Tópico Úmido da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (FCH/IETU/UNIFESSPA). Doutora em Geografia, Utilização e Conservação de Recursos Naturais pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Endereço postal: Rua Maranhão, s/n, Centro, CEP: 68.555-251, Xinguara-PA, Brasil, Telefone: (94) 2101.5934. E-mail: andrea.lopes@unifesspa.edu.br.

resources (geographic information systems), a roadmap of geo-environmental themes and topics was developed, allowing the proposition of protection zones and sustainable use of trails in karst environments in PESAM. For environmental compartmentalization, we adopted the Geoecology of Landscapes as a support to the delimitation of landscape units. These units are the basis for defining trails that allow access to the cave. As a result, the altimetric gradient made it possible to construct a typology of trails based on the degree of difficulty, while geomorphological features complement the delimitation of landscape units. These bases help the plan of public use of visitors and researchers through the establishment of trails for external and internal access to the cave and make it possible to signal the main halls to visit through different categories and weaknesses.

Keywords: cavities, geoprocessing, conservation, geomorphological heritage.

RESUMEN

Se pueden observar ambientes kársticos representativos en el Parque Estatal Serra dos Martyrios/Andorinhas (PESAM) en el estado de Pará. Sobre la base de una visión interdisciplinaria, basada en recursos geoinformativos (sistemas de información geográfica), se elaboró una hoja de ruta de temas y temas geoambientales, que permiten proponer zonas de protección y uso sostenible de senderos en entornos En el PESAM. Para la compartimentación ambiental, se adoptó la geoecología de los paisajes como apoyo a la delimitación de las unidades paisajísticas. Estas unidades son la base para la definición de senderos que permiten el acceso a la cueva. Como resultado, el gradiente altimétrico permitió construir una tipología de senderos basados en el grado de dificultad, mientras que las características geomorfológicas complementan la delimitación de las unidades paisajísticas. Estas bases ayudan al plan de uso público de visitantes e investigadores a través del establecimiento de senderos para el acceso externo e interno a la cueva, además de permitir señalar las principales salas para ser visitadas a través de diferentes categorías y debilidades.

Palabras clave: cavidades, geoprocésamiento, conservación, patrimonio geomorfológico.

INTRODUÇÃO

Os sistemas ambientais são fontes de matéria-prima que impulsionam o desenvolvimento social e econômico de uma sociedade. Atualmente fala-se de geodiversidade para se referir a todo patrimônio geológico-geomorfológico que compõe as paisagens mundiais. Os fatores ambientais, como variabilidades climáticas, dinâmicas interna e externa da crosta terrestre, nos apresentaram com as mais fantásticas paisagens naturais (GRAY, 2004; 2008; 2018; GRAY; GORDON e BROWN, 2013).

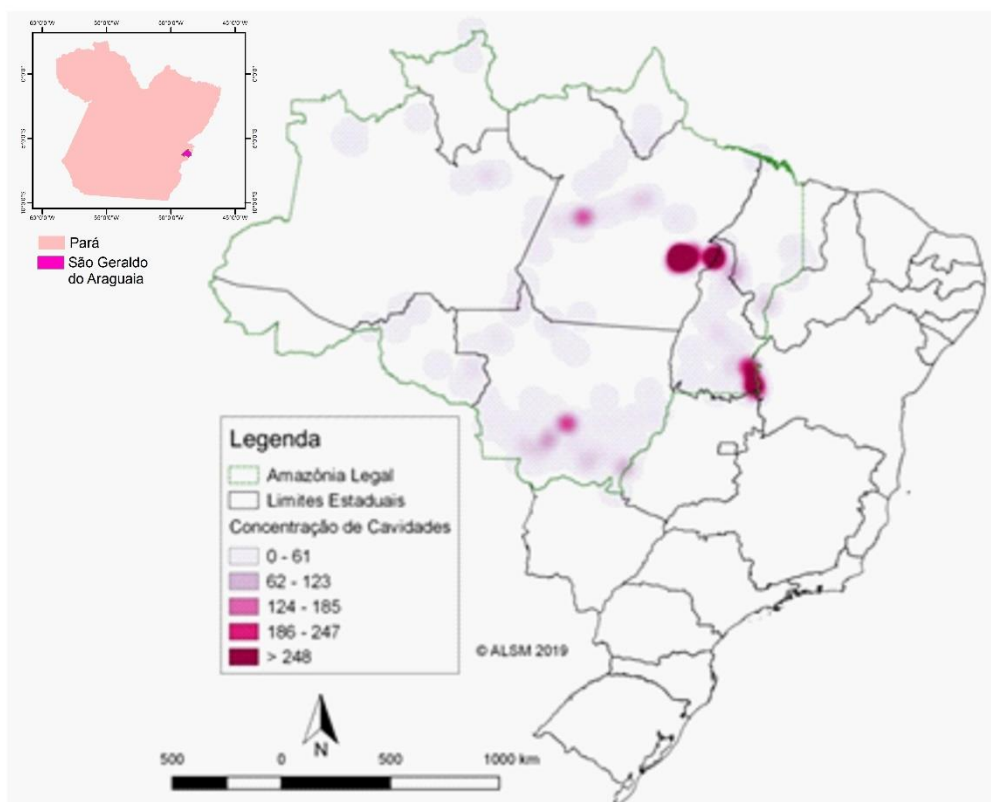
Entre estas paisagens estão as cavidades naturais que por sua beleza cênica já nos trazem todo o encantamento que as cavernas possibilitam. Uma das alegorias mais conhecidas sobre caverna é a filosofia contida no livro de Platão, "A República" (século IV), onde luz, escuridão, conhecimento são conceitos que trazem elementos naturais relacionados aos costumes sociais, daí então termos referências de uso das cavernas como templos religiosos.

Estes ambientes subterrâneos, com suas neoformações e as dinâmicas externas que influenciam diretamente os processos de dissoluções, devem ser ordenados para suportar as diversas atividades humanas – já que estas ditas atividades causam impactos sobre os seus frágeis ambientes. Daí a necessidade de discutir sobre os temas que embasam a metodologia de zoneamento para cavidades naturais que busque equacionar as atividades científicas, turísticas, atividades de educação ambiental, culturais e religiosas.

A concentração de ocorrências de cavidades naturais em ambientes cársticos nos permite falar de grandes províncias naturais existentes na região Amazônica. Os critérios geológicos-geomorfológicos e processos de dissoluções e os arranjos estratigráficos complementam nossa ideia, partindo da noção de província espeleológica de Karmann e Sanchez (1980) para definir tais ocorrências.

Para a região Amazônica encontramos as províncias espeleológicas do Sudeste do Pará, encravadas no maciço metavulcânico da Serra dos Carajás (GORAYEB et al., 2008). No Estado do Tocantins duas grandes províncias espeleológicas se destacam: a) província espeleológica da região de Xambioá, e b) província espeleológica da região Arraias/Taguatingas, além da porção Sul do estado de Mato Grosso (Figura 1).

Figura 1: Distribuição espacial das cavernas na Amazônia Legal.



Fonte: Canier-IBAMA (2018) e IBGE (2010). Organizado pelos autores (2019).

Os estados do Pará (Serra dos Carajás; Ruropólis; Altamira/Itaituba; São Geraldo do Araguaia), Tocantins e Mato Grosso concentram o maior número de cavidades dentro dos limites da Amazônia Brasileira, tendo como base geomorfológica o planalto central brasileiro, onde na sua borda mais ocidental encontram-se as maiores cavidades em minério de ferro e, em menor quantidade, cavernas em quartizitos.

Dados levantados no Cadastro Nacional de Cavernas no Brasil (2019) apontam a região Norte como uma nova fronteira para a espeleologia, com destaque para o Estado do Pará, principalmente na Serra dos Carajás e Serra das Andorinhas, onde o Pará acumula o número de 879 cavernas, enquanto o Amazonas detém 3, Tocantins 650 e Rondônia 1. No Pará, o município de São Geraldo do Araguaia se destaca entre os dez (10) municípios do Brasil em maior número de concentração de cavernas. O Pará perfaz um total de 468 cavernas registradas, o que corresponde a 5,9% da área total do Brasil (CNC, 2019).

Atualmente, no Brasil contamos com um bom lastro jurídico sobre proteção do patrimônio espeleológico em associação com as leis ambientais e as demais resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente que visam proteger toda a geodiversidade nacional (PEREIRA, VALADÃO, 2018; MONTEIRO, 2013; GANEM, 2009).

A criação do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Caverna (CECAV-ICMBIO) em 1997 é a consolidação das políticas públicas que visam à proteção e o manejo das cavidades naturais em território nacional, reconhecendo o zoneamento como uma atividade técnico-político e jurídica importante na conservação/proteção deste subsistema natural (FERREIRA, 2018).

Para tanto, reconhecer a diversidade biológica e a geodiversidade é um fator importante no zoneamento já que no ambiente cavernícola há uma série de adaptações evolutivas que nos permite ter a chave de interpretação dos ecossistemas subterrâneos e subsuperficiais.

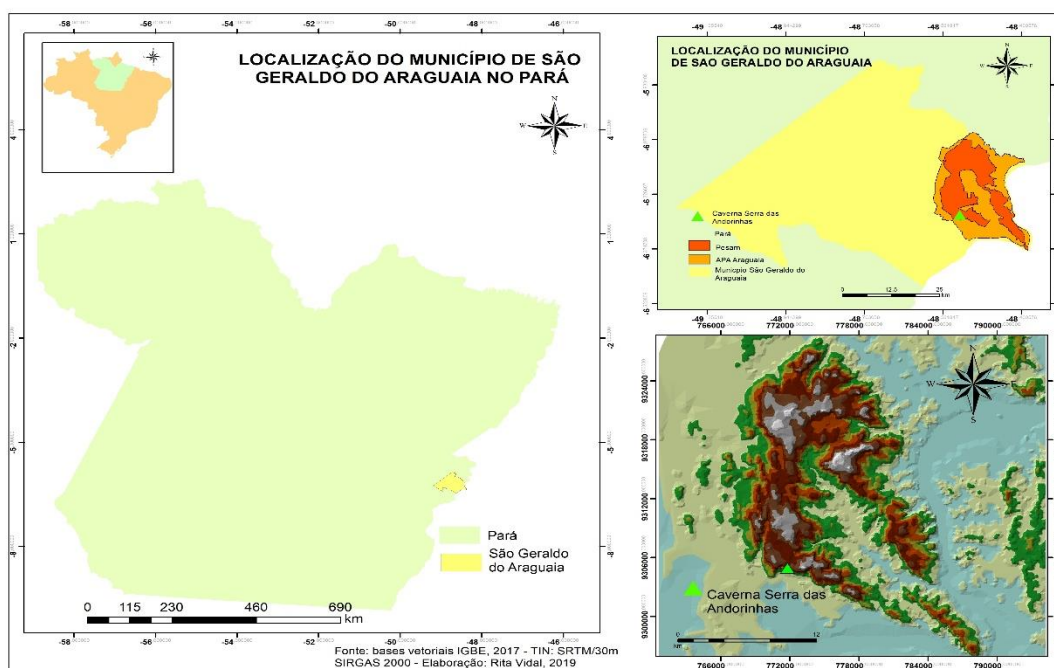
Os fatores que contribuem para a integridade física das cavernas, bem como para a manutenção do seu atual processo de desenvolvimento, configuram-se principalmente nos processos de gênese e aspectos geomorfológicos relativos à litologia, tal como a microbacia hídrica na qual as cavernas se encontram inseridas (TRICART, 1956; ROSS, 1994; PILÓ, 2000; AULER, ZOGBI, 2005a; 2005b; FORD, 2003; FORD, WILLIAMS, 2007). Ambos fatores serão discutidos ao longo do presente trabalho, por meio de temas e temáticas que permitem auxiliar as tomadas de decisões para o plano de uso público das cavidades do Parque Estadual Serra das Andorinhas/Martírios (PESAM).

A presente secção busca, através de uma visão interdisciplinar e apoiado nos recursos geoinformativos (Sistemas de informação geográficas), apresentar um leque de temas e temáticas geoambientais que permitam propor zonas de proteção e uso sustentável de trilhas em ambientes cársticos no PESAM, por meio de estudos integrados e interdisciplinares; realizar o levantamento das bases físicas e geográficas do ambiente dinamizador que compõe a cavidade natural Serra dos Martírios. A preferência por estudar este ambiente recai sobre o potencial geomorfológico e biológico que o mesmo apresenta.

LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

A caverna Serra das Andorinhas localiza-se no município de São Geraldo do Araguaia, sob as coordenadas geográficas: Lat. 6° 16' 56" S, Long 48° 32' 34"W. A caverna está assentada em um maciço de rochas quartzíticas, em uma zona de transição entre os ecossistemas Amazônico e Cerrado, sob a influência do megassistema fluvial do Rio Araguaia. A região detém o nome de Serra dos Martírios/Andorinhas devido às importantes gravuras rupestres com símbolos religiosos encontradas em toda a região (Figura 2).

Figura 2 – Localização geográfica da Caverna Serra das Andorinhas



Fonte: Organizado pelos autores.

A referida caverna foi a primeira cadastrada pelo Grupo de Espeleologia de Marabá (GEM), recebendo código GEM-001. Com elevada diversidade de espeleotemas, a caverna possui a maior colônia de morcegos *Pteronotus parnellii*, assim como apresenta a maior espécie de quiroptera que se encontra no continente americano, o *Vampirum spectrum* (ATZINGEN; SCHERER; FURTADO, 2007). Esta caverna é detentora de grande potencial para atividades turísticas direcionadas para educação ambiental, especialmente por se tratar da maior caverna dentre as conhecidas no Parque Estadual Serra dos Martírios Andorinhas-PESAM (PARÁ, 2006).

Os principais rios que drenam este maciço são os rios Xambeozinho e Sucupira, uma sub-bacia hidrográfica que dinamiza os processos de dissoluções e nos agraciam com belas quedas d'água que podem chegar até mais de 150 metros de altura nas escarpas do planalto dissecado. As cavidades

encontradas na Serra das Andorinhas, juntamente com as pinturas e gravuras rupestres, credenciaram o ambiente a se tornar uma Unidade de Conservação de Proteção Integral (PESAM).

Para proteger o entorno desta unidade foi criada uma Área de Proteção Ambiental (APA do Araguaia) que só muito recentemente completou seu processo de regularização fundiária, ocorrida no ano de 2018. Atualmente, o Instituto de Desenvolvimento Florestal e Biodiversidade (IDEFLOR-BIO) é órgão estadual responsável pela gestão das duas unidades de conservação estaduais.

METODOLOGIA

Para a construção de todo percurso teórico-conceitual e metodológico foi necessário compreender os estudos nos temas e temáticas, nas mais diversas obras: sobre ambientes carvenícolas em autores como Karmann e Sanchez (1980) e Piló (2000; 2003); em seus aspectos espeleológico/estratigráficos em Auler e Zogbi (2005a; 2005b); além dos aspectos ambientais das cavernas que podem ser encontrados em Ford e Williams (2007) e Natuschka et al. (2012), entre outros.

Para a abordagem integrada da caverna, o presente estudo utiliza-se da análise sistêmica tratada por autores como Bertrand (1972); Sotchava (1977) Christofletti (1999), Ross (2006) as unidades de paisagem para a composição de trilhas de acesso à caverna foram elaboradas sob a concepção da Geoecologia da Paisagem descrita por Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2004).

Os métodos de mapeamento foram ancorados na cartografia temática e demais métodos de representação gráfica dos modelos geográficos e ambientais, dos quais a Geoecologia das Paisagens se utiliza dos recursos geoinformativos (Sistema de informação geográfica, GPS, imagens de satélites, *softwares* de mapeamento, cena de radar interferométrico SRTM-NASA, etc.). A base de imagens orbitais foi realizada através do geocatálogo do MMA, onde as imagens *Landsat-8* possibilitaram a construção e análise dos produtos cartográficos através das técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Assim, o uso do *software* proprietário *Arcgis*© (licenciado para o CTIC-Unifesspa) e *Software Open source* *Qgis* 2.18 foram essenciais em todas as fases do projeto.

Os arquivos vetoriais do tipo *Shapefile* foram adquiridos nos bancos de dados do IBGE, MMA, DNPM, ICMBIO etc., que se tornaram essenciais no planejamento de idas ao campo, bem como na ação de plotar novas informações no decorrer de toda pesquisa. Duas campanhas foram realizadas na caverna, para coleta de dados sistematizados e estabelecer as características dos oitos (08) trechos que compõem a trilhas que leva a caverna. O trabalho de campo possibilitou também a coleta de dados para a composição do mapa de unidades de paisagem no entorno da caverna.

Assim, para que seja realizado um ordenamento por zona (zoneamento), faz-se necessário entender que a classificação da relevância das cavernas, contida no Decreto nº 6.640 de 2008 e na

Instrução normativa 02 de 2017 do Ministério do Meio Ambiente, guarda seu caráter geral para a proteção das cavidades e que o zoneamento visa disciplinar o uso do patrimônio espeleológico, ou seja, o Zoneamento é um instrumento de política pública capaz de ordenar, de forma criteriosa, os usos que levem em consideração a capacidade de suporte dos ambientes subterrâneos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na região da Amazônia Legal não é tão comum falar de ambientes de cavernas, apesar de (muito recentemente) os estudos concentrados em área de mineração ou em sítios de empreendimentos de barragem trazerem preocupações com as cavernas do entorno aos empreendimentos. Isto ficará claro quando se analisar a distribuição espacial destas cavidades neste recorte espacial.

Considerando que a Caverna Serra das Andorinhas possui pelo menos quatro (04) grandes salões com piso plano em boa parte do seu percurso hipógeo, o que facilita o caminhar em seu interior, verifica-se que estas características podem favorecer positivamente as atividades de uso público nestes setores, que contêm uma grande variedade de estruturas espeleogenéticas que representam beleza cênica única, trabalhada pela complexa dinâmica hidrogeológica que constrói/reconstrói feições geomorfológicas dignas de serem apreciadas.

O ambiente hipógeo constitui o Patrimônio Espeleológico. Para ser liberado para atividades turísticas faz-se necessário executar diagnóstico e proposta de zoneamento espeleológico da referida caverna, definindo setores ou zonas segundo as fragilidades ambientais. Assim descreve-se os temas relevantes ao zoneamento:

I Geologia e Geomorfologia

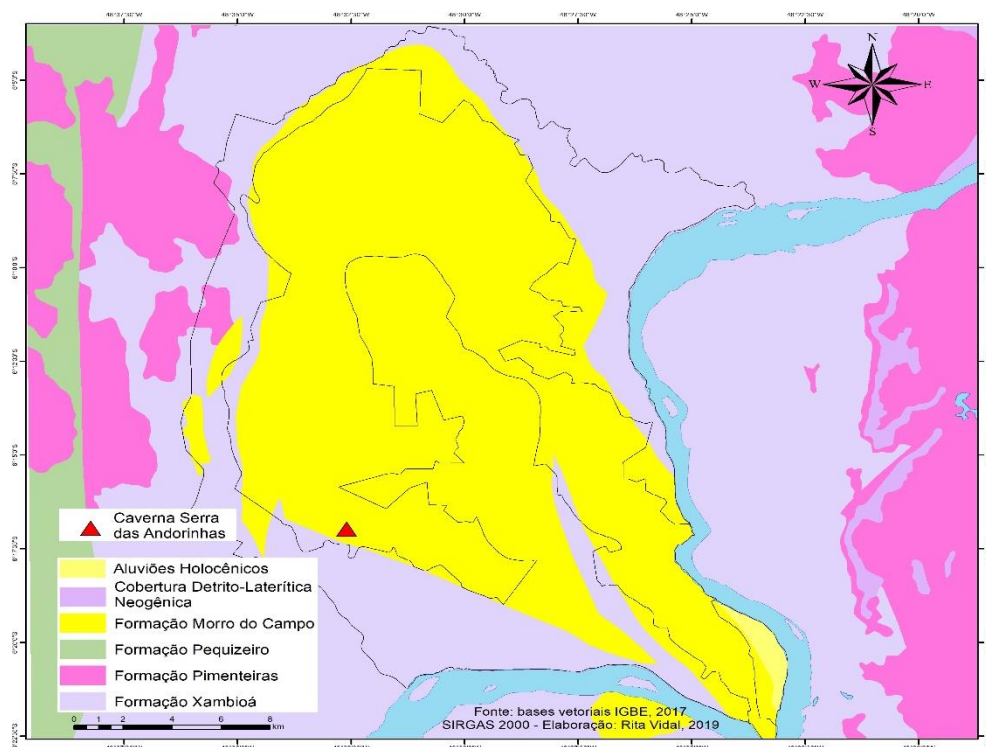
A Serra das Andorinhas, geologicamente, faz parte do Cinturão Araguaia de idade Neoproterozóico- período geológico compreendido entre 1.000 e 550 milhões de anos (HASUI *et al.* 1984; ALVARENGA *et al.* 2000). O Cinturão Araguaia está assentado sobre a borda oriental do Cráton Amazônico, situado no leste-sudeste do Estado do Pará e oeste do Estado de Tocantins (HASUI *et al.* 1980). Por sua extensão - que se dispõe submeridionalmente em torno de 1.200 km entre os crátons Amazônico e São Francisco (GORAYEB, 2008), o Cinturão Araguaia é composto por rochas derivadas de sucessões sedimentares, predominantemente, e rochas magmáticas em menor quantidade, que foram transformadas em rochas metamórficas (GORAYEB, 2008).

O conjunto rochoso em toda a sua extensão foi reunido na unidade denominada Supergrupo Baixo Araguaia, subdividido no Grupo Estrondo com as formações Morro do Campo e Estrondo e no Grupo Tocantins com as formações Pequizeiro e Couto Magalhães (ABREU, 1978). De acordo com

Gorayeb (2008; 2009), na área de estudo, ocorrem predominantemente, unidades litoestratigráficas neoproterozóicas do Cinturão Araguaia reunidas no Supergrupo Baixo Araguaia. Secundariamente, estão presentes rochas arqueanas, que compõe o embasamento do Cinturão, agrupadas no Complexo Colméia e seqüências sedimentares paleozóicas pertencentes à Bacia do Parnaíba, além de sedimentos recentes coluviais e aluviais, associados ao rio Araguaia.

Abreu (1978), contribuiu significativamente para estabelecer o quadro lito-estratigráfico do Cinturão Araguaia, seguido por outros como (MORAES REGO 1933; PUTY *et al.* 1972; SILVA *et al.* 1974). Desde então, essa mega-unidade como com a sua subdivisão nos grupos Estrondo e Tocantins, tem sido adotada na literatura, onde destaca-se o Grupo Estrondo – formação Morro do Campo e Xambioá (GORAYEB, 2008). A ocorrência mais expressiva dos litotipos da Formação Morro do Campo sustenta a Serra das Andorinhas, cujo Parque Estadual da Serra dos Martírios/Andorinhas (Figura 3).

Figura 3 - Aspectos geológicos do entorno da Caverna Serra das Andorinhas/Martírios.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

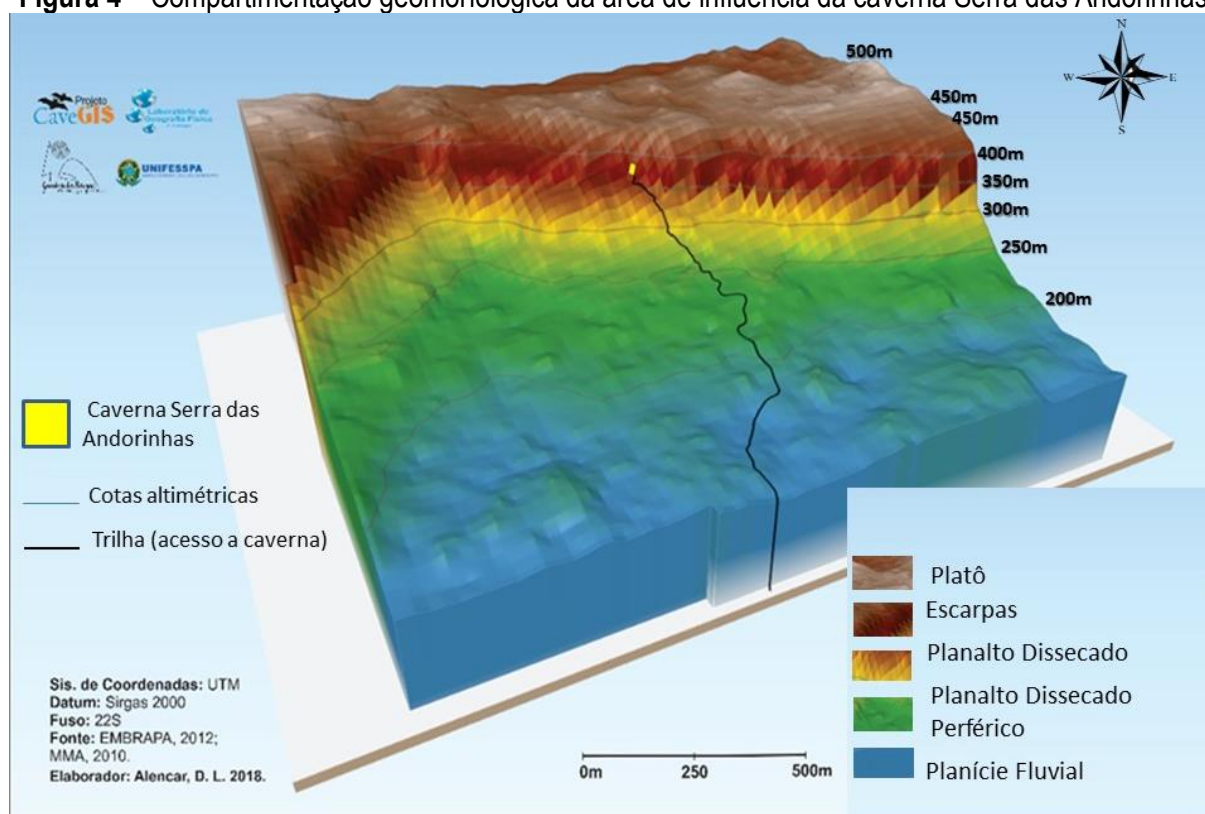
Destaca-se uma espessa camada de quartzitos orientada NW-SE com baixo mergulho para NE que desenha em planta uma feição de amêndoa, desaparecendo para o quadrante noroeste (GORAYEB, 2008).

Ainda de acordo com Gorayeb (2008), a Formação Morro do Campo é composta, predominantemente, por quartzitos intercalados com muscovita quartzito, quartzito-muscovita xisto,

cianita xisto, quartzito feldspático e magnetita quartzito. Na área de estudo essa unidade está representada basicamente por quartzitos puros e por quartzitos micáceos com intercalações subordinadas de cianita quartzitos e muscovita xistos, além de ocorrências restritas de magnetita quartzito.

A caracterização geomorfológica indica as principais feições e sua funcionalidade para o sistema cavernícola, bem como as áreas de risco (naturais e antrópicos) e os potenciais impactos à cavidade. Contempla ainda, no interior da caverna, estudos sobre as feições de destaque e interesse, atentando-se para as feições espeleogenéticas, onde podem ser identificados espeleotemas raros e frágeis, assim como a dinâmica dos processos geomorfológicos ativos, como processos erosivos, movimentos de massa, dentre outros (Figura 4).

Figura 4 – Compartimentação geomorfológica da área de influência da caverna Serra das Andorinhas



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

A primeira aproximação da compartimentação geomorfológica para a área de influência da caverna foi executada com o auxílio da cena de radar interferométrico SRTM-NASA, em escala de 1:250.000, compatível com a escala geomorfológica regional, com dados topográficos/altimétricos, e a variação de declividade. A temática é importante pois quanto maior a declividade, maior o grau de

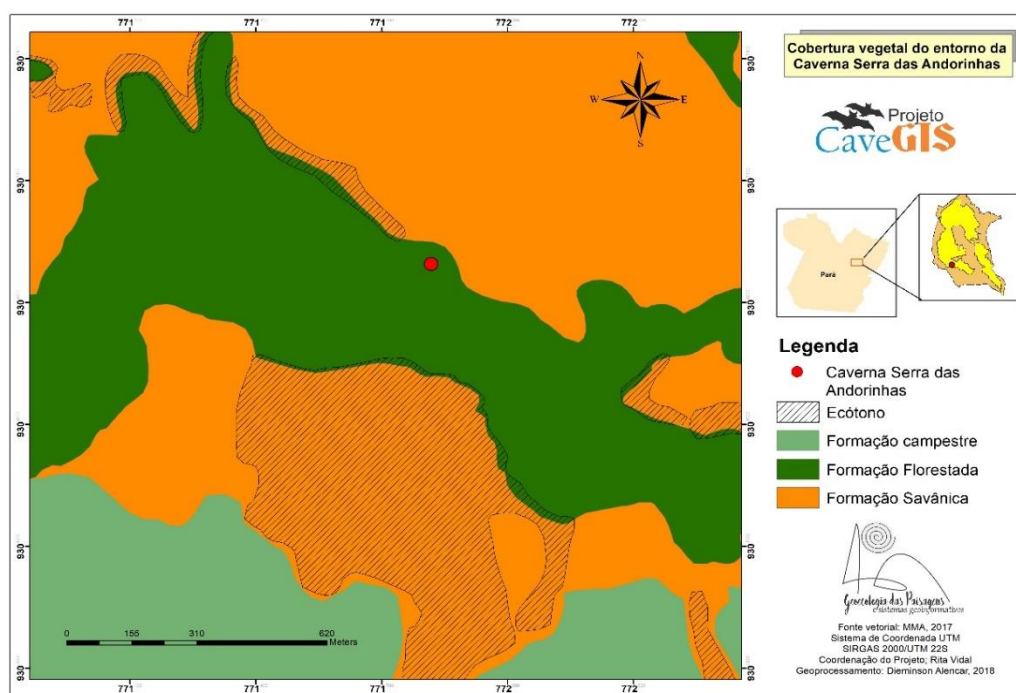
dificuldade da trilha, que pode ser orientada por classes de 0-5% relevo plano, de 5 – 20 relevo ondulado e de 20-70 relevo montanhoso.

II Flora e cobertura vegetal e solos

A vegetação existente no entorno das cavernas garante a manutenção do aporte energético. Um fator importante é a presença de raízes e a disponibilização de materiais vegetais como galhos, raízes, folhas, frutos etc. que representam importantes fontes de matéria orgânica para o ecossistema subterrâneo (TRAJANO; BUCHUETTE, 2006). Estes garantem ainda a manutenção do clima interno das cavernas e área de forrageio para os animais troglóxenos.

Desta forma, a caracterização da cobertura vegetal da área de entorno da caverna complementa a análise da sua importância para preservação do ecossistema subterrâneo. Dois elementos naturais são essenciais ao entendimento desta espacialização. Um é a influência dos fatores hidroclimáticos que respondem pela variabilidade da temperatura e das precipitações; o outro elemento corresponde, sem dúvida, aos fatores edáficos que dão suporte aos indivíduos florestais (Figura 5).

Figura 5 – Aspectos da Cobertura Vegetal no entorno da caverna



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

- Formações Campestres: Vegetação com fisionomia do bioma cerrado associada a neossolos litólicos; sua dinâmica ecológica assemelha-se ao Cerrado Campos Sujo; e é mapeado principalmente nas áreas de maiores altitudes, em específico, os platôs. Esta formação pode ser

vista também nas extensões dos afloramentos rochosos localizados nas margens do Rio Araguaia, surgindo/sendo vista também em algumas propriedades privadas dentro da Área de Proteção Araguaia.

- Formação Florestada: Possuem árvores com alturas próximas a 65 m, cobertas de cipós (Lianas sp.). Este tipo de floresta costuma ter uma formação com dossel composto pelos topos das imensas árvores, retendo cerca de 95% dos raios solares, deixando o interior da floresta escuro e úmido; é comum encontrar em Matas de Terras Firmes, composição florística formada por associações com outros domínios regionais.
- Formação Savânica: Em outras condições pedogeomorfológicas, apresenta-se por formação que pouco se diferencia do Cerrado, tipo Cerradão, sendo o principal diferenciador o tamanho das árvores e a densidade da vegetação.

III Hidrografia

A caracterização do sistema hidrodinâmico é realizada observando a sazonalidade, por meio da identificação de drenagens superficiais perenes ou intermitentes, contemplando toda a microbacia, dos rios Sucupira, Xambioazinho e Gameleira, associada à gênese da caverna conforme retratados por Ford, William (2007). A definição da microbacia hídrica é baseada nas informações sobre a zona de infiltração e as curvas de nível, considerando zonas de enxurrada, bacias de contenção e obstáculos naturais identificados em imagens SRTM-NASA.

O rio Sucupira drena toda a parte Leste do maciço quartizito; este rio dinamiza a área e está associado a outros rios a saber: Tira-Catinga, Boqueirão, Sucuriú, Jatobá, Gameleira – ambos formam uma importante rede de drenagem envolvendo toda a área de estudo.

A presença de lago subterrâneo, sumidouro, surgência e/ou ressurgência também foi documentada ao longo das campanhas feitas à caverna. O fluxo hídrico interno das cavidades é um processo dinâmico que depende da alimentação externa, chuvas em superfícies, que permitem o desenvolvimento de processos de dissoluções e formas de canais efêmeros. Esta variação de recarga foi muito bem estudada por Gabrovšek, Häuselmann, Audra (2014), para definir tipos de cavernas a partir dos fluxos subterrâneos de água e sedimentos; este comportamento de fluxo hídrico estar associado a sistemas de fraturas, desenvolvimento de condutos, litotipo, redes hidráulicas, etc. (BOUDINET, 2012; FORD, 2003).

IV Microclimatologia

Outro fator importante inerente ao ambiente subterrâneo trata-se das características climáticas. Grande parte das cavidades naturais subterrâneas têm uma tendência à estabilidade ambiental em relação à umidade relativa do ar e à temperatura, principalmente em regiões mais distantes de entradas, aproximando-se das médias anuais do ambiente externo circundante (HOWARTH, 1983; FERREIRA; MARTINS, 1999).

Neste contexto, faz-se necessário o monitoramento da temperatura e da umidade relativa externa e no interior da cavidade, na mesma periodicidade e considerando a sazonalidade de forma a avaliar e caracterizar o sistema espeleológico, possibilitando um monitoramento, caso seja utilizada para espeleoturismo, para verificar a interferência no espeleoclima devido à presença de visitantes.

V Meio Biótico

Para as análises acerca do meio biótico são investigadas as características diretamente correlatas à preservação do equilíbrio do ecossistema subterrâneo, do mesmo modo que a diversidade de substratos orgânicos e os agentes relacionados com a importação destas fontes de energia, atentando-se para a área externa necessária à manutenção do equilíbrio ecológico existente na caverna.

A fauna silvestre (vertebrada e invertebrada) associada à caverna e os organismos patógenos e nocivos também são estudados. E os casos que possam interferir direta ou indiretamente no uso da caverna para o espeleoturismo são devidamente descritos (SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ et al., 2018

I Patrimônio Histórico e Cultural (material e imaterial)

Identificar previamente o patrimônio material e imaterial de manifestações culturais que estejam relacionadas à cavidade, tais como: cultos religiosos, vestígios de caça e pesca, visitação turística, dentre outras, para Price e Tavares (2016), revela bons exemplos de abordagem histórico-religiosa para o Sudeste Asiático.

A escolha de cavernas como ambientes sagrados pode ser considerada a forma mais concreta de apropriação imaterial de ambiente cárstico subterrâneo em todo o mundo. No Brasil, o uso de paisagens sobre rochas traz este mesmo sentido. Vejamos, por exemplo, o caso do Cristo Redentor no estado do Rio de Janeiro, construído sobre um maciço granítico (Pão de açúcar); e o Cruzeiro de Santa Cruz, um geossítio localizado no Sul do estado do Ceará, como apropriação destes ambientes com uma boa conotação de aspecto religioso.

VII Turismo (Visitação)

A atual dinâmica de visitação em cavernas deve ser caracterizada realizando um histórico de exploração e utilização e possibilidades de se instalar um programa adequado de espeleoturismo para a caverna. Por isso a importância do entendimento da geoconservação e da necessidade de preservação do patrimônio geomorfológico-geológico (JORGE; GUERRA, 2016; MOREIRA, 2014).

O processo fundamental a ser construído é mapear a geodiversidade regional e local, como por exemplo, os ambientes rupestres em rochas areníticas no PESAM, com gravuras e pinturas rupestres, os paredões esculpidos em rochas quartzíticas, talhados pelo Rio Sucupira com suas belas quedas d'águas, etc.

Os temas e temáticas podem ser trabalhados a partir da composição das unidades de paisagem que possibilitam a análise integrada de todos os componentes geoambientais dispostos no entorno da caverna.

Unidades de paisagem para ambientes cársticos

As unidades de paisagem (Figura 5) fornecem a compartimentação dos sistemas ambientais de forma dinâmica, pois todos os fatores geoambientais (geomorfologia, vegetação, solos, clima, hidrografia, etc.) podem ser analisados em caráter integrado de forma a compreender as estruturas da paisagem.

Na área de estudo, as unidades de paisagem refletem a formação dos ambientes em rochas de quartzíticas e sua relação com as variações climáticas que logram um ambiente vegetacional, do tipo ecótono, de transição entre o domínio Amazônico e o domínio do Cerrado. A cobertura e uso do solo refletem dinâmicas atuais na área de entorno. Apesar da caverna Serra das Andorinhas estar em uma unidade de conservação de uso integral (Parque Estadual), tem-se fluxo de visitação e os impactos expressos pela ação humana dentro do parque.

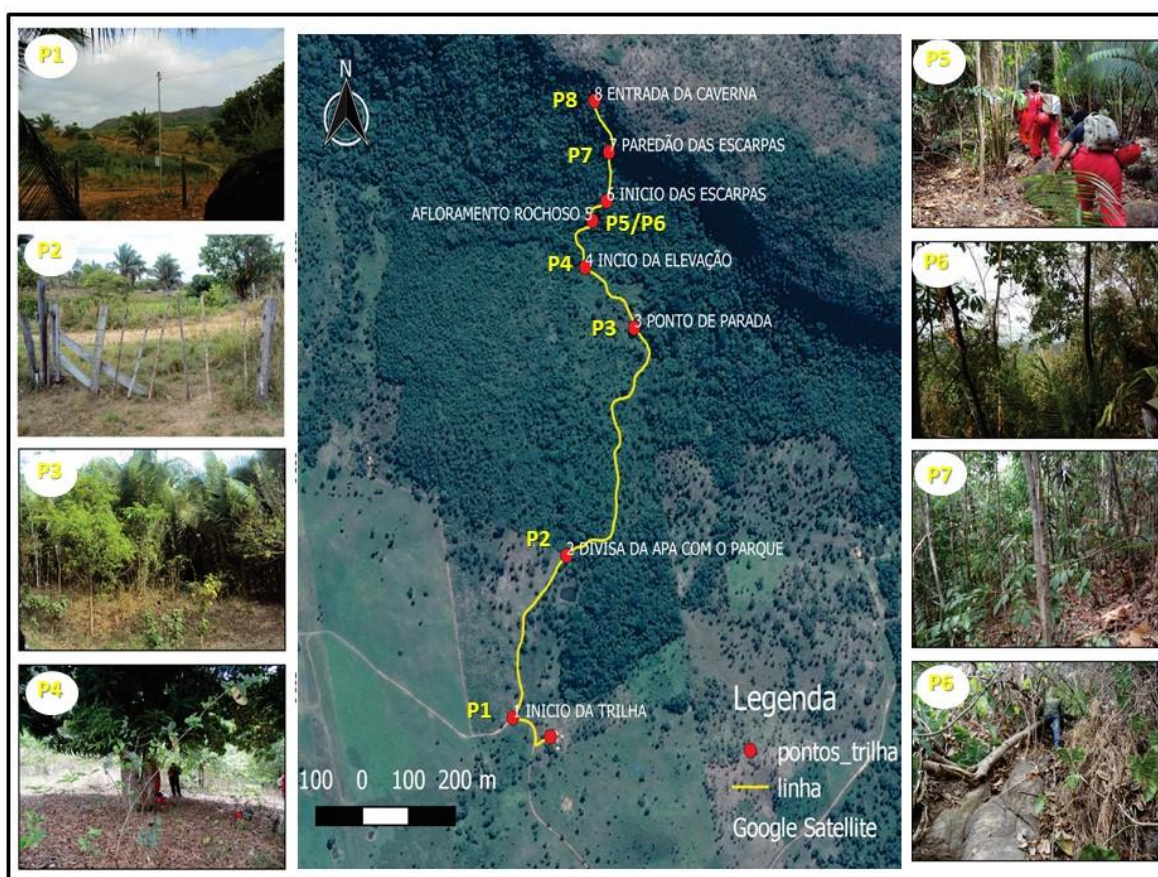
As campanhas permitiram delimitar as unidades de paisagem para apontar as principais rotas de trilhas no sentido de compatibilizar tais atividades turísticas e a conservação da caverna.

- Planície Fluvial: Os sistemas de drenagem dos recursos hídricos no maciço quartzito da Serra das Andorinhas afetam diretamente as estruturas geológicas e estratigráficas, moldando feições geomorfológicas espetaculares. Os processos de corrosão, erosão linear, formações de *pipes* em solos neossolos quartzarênicos e flúvicos ou em Argissolos, além das ações eólicas que atuam de forma abrasiva, tornam-se elementos essenciais na definição destas paisagens. A

vegetação quando preservada evita processos erosivos nas calhas dos rios e nos terraços fluviais. Apresentam também afloramentos em rochas micaxísticas, como as encontradas na calha do rio Sucupira, Xambiozinho e Gameleiro, expressos em P1, P2 e P3 na Figura 6.

- Planalto Dissecado revestido por formações florestadas em área de ecótono: ambientes sedimentares que se comportam como feições de *Talus*, ou mesmo como rampas de colúvios, por estarem próximas às encostas íngremes, com desníveis entre 50 a 100 metros entre as curvas de níveis estabelecidas para a área de estudo em P6 e P7 da Figura 5. As características deste ambiente são definidas como forte presença de formações florestadas e que, apesar dos solos serem bastante rasos e de fraca drenagem, possibilitam o desenvolvimento de uma vegetação encosta, bem característico de ambientes de cimeira.

Figura 6 – Unidades de paisagem e trilha de acesso à Caverna Serra das Andorinhas



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

- Escapa: ausência de formação pedológica, elemento geoindicador de presença de cavidades naturais por apresentarem-se como exutórios de drenagem criptorréica ou por encontrar ressurgências que formam cachoeiras – quando há ausência de água ou apenas lâminas d'água

revelam-se entradas de fluxo laminar para as regiões hipógeas. Visualiza-se em P8 na figura 5. A escarpa, por se apresentar como relevo abrupto, deixa exposta a estratigráfica do relevo quartzito e algumas áreas formam extensos cânions.

- Platô recoberto por formações savânicas e campestres: revela feições geomorfológicas aplainadas em altitudes de quase 600 metros, seus solos apresentam características arenosas, rasos e mal drenados; como as encostas apresentam a barlavento, não aproveitam a umidade da área do ecossistema amazônico. Este ambiente apresenta-se com vegetação tipicamente de Cerrado, com algumas áreas com fortes características de veredas, concentrando áreas úmidas.

A figura 5 também representa os pontos mapeados e propostos para acesso à caverna, ao total, foram 08 pontos que possibilitam um panorama geral da trilha. Para cada ponto criou-se classes temáticas estabelecidas a partir de critérios retirados da inclinação do relevo, características do solo e porte vegetacional ambos descritos no quadro 1.

Quadro 1 – Caracterização dos trechos de paradas na trilha que leva a caverna serra das andorinhas.

Ponto	Coordenadas Geográficas Altitude (m)	Relevo/Solo e Cobertura vegetal	Característica da trilha
P1	Lat. 06°17'33.4" Long: 48°32'41.1" Altitude: 159m	<ul style="list-style-type: none"> • Ondulado • Argiloso • Pastagem/roçados 	Trecho largo, área plana ondulada com solos arenosos. No entorno tem-se fazendas com remanescentes de floresta originas fragmentadas por presença do Babaçu (<i>Attalea speciosa</i>).
P2	Lat. 06°17'24.1" Long: 48°32'37.4" Altitude:171 m	<ul style="list-style-type: none"> • Plano/ondulado • Argiloso • Savânica • Campestre 	Trecho estreito em relevo plano/ondulado, entrada da unidade de Conservação e início de áreas com matas mais densas.
P3	Lat. 06°17'09.9" Long: 48°32'32.6" Altitude:232m	<ul style="list-style-type: none"> • Ondulado • Argiloso • Florestada 	Trecho de trilha estreita com relevo ondulado e solos argilosos no período chuvoso se tornam muito escorregadios.
P4	Lat. 06°17'08.0" Long: 48°32'33.6" Altitude:236m	<ul style="list-style-type: none"> • Plano/ondulado • Arenoso • Florestada 	Trecho estreito, com relevo acentuado (ingreme), detém o início da mata fechada. Tem blocos de rochas soltas, troncos caídos e prevalência de espinhos na vegetação.
P5	Lat. 06°17'04.2" Long: 48°32'34.4" Altitude:275 m	<ul style="list-style-type: none"> • Escarpado • Argiloso • Florestada 	Trecho estreito como elevado nível de dificuldade com relevos escarpados, incidência de abelhas na trilha e com chão escorregadio.
P6	Lat. 06°17'01.0" Long: 48°32'34.8" Altitude: 312 m	<ul style="list-style-type: none"> • Ondulado-Escarpado • Arenoso • Florestada 	Trecho estreito como elevado nível de dificuldade, como chão coberto por folhas que conferem risco de escorregamento, relevo escarpado com vegetação densa/fechada.

P7	Lat. 06°16'58.9" Long: 48°32'36.4" Altitude: 349m	<ul style="list-style-type: none"> • Escapado • Arenoso • Florestada 	Trecho de trilha estreita com paredão íngreme, chão coberto por folhas que conferem risco de escorregamento, vegetação densa/fechada e cortante.
P8	Lat. 06°16'58.1" Long: 48°32'36.0" Altitude: 409 m	<ul style="list-style-type: none"> • Escarpado • Arenoso • Florestada 	Trecho íngreme, blocos soltos, chão escorregadio, presença de abelhas, risco de acidente com animais peçonhentos, o desnível entre a entrada inferior e superior da caverna é de aproximadamente 11 m.

Fonte: Trabalho de campo. Elaborado pelos autores (2019).

De forma geral, percebe-se que cada unidade de paisagem tem seu valor específico para o equilíbrio e funcionamento do sistema, o que mostra a importância da elaboração de propostas para a diminuição dos efeitos das pressões antrópicas sobre estas unidades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos até aqui revelam a necessidade de construir um zoneamento espeleológico que possa normalizar os usos e acesso às cavidades naturais do PESAM. Para tanto, faz-se necessário descrever os temas e temáticas ambientais que subsidiam os critérios de zoneamento.

Os temas aqui tratados ainda carecem de mais bibliografia e aplicações práticas em cavidades naturais, em rochas quartzíticas – pois ainda temos poucas publicações sobre os temas a serem descritos quando se trata deste tipo de rochas. Assim, os critérios aqui selecionados têm alto poder de serem implementados em futuros zoneamentos de uso público em ambientes cársticos na Amazônia. Os terrenos sedimentares permitem identificar grandes províncias espeleológicas na Amazônia para além de Carajás. Isto tem criado uma frente de trabalho no tocante à geomorfologia, para os possíveis desenvolvimentos de metodologias de zoneamento espeleológicos em unidades de conservação.

A ciência geomorfológica tem avançado pouco na descrição e análise dos ambientes hipógeos. Talvez o foco nos processos de dissoluções e análise das formas (geométricas) do relevo não permitiram correlacionar os ambientes interno e externo. Daí um desafio para as próximas gerações de geomorfológicos amazônicos.

As unidades de paisagem revelam e descrevem os ambientes externos às cavidades, permitindo fazer apontamentos sobre a dinâmica nos ambientes internos, já que todo fluxo que percorre as cavernas é oriundo de ambientes externos, apesar de haver algumas atividades que se desenvolvem de forma autônoma ao ambiente externo.

Quando falamos em Amazônia, torna-se unanimidade se reportar à diversidade de vida, quando não muito, fala-se também de uma sociobiodiversidade para lembrar a rica cultura que permeia a

dinâmica desta imensa e luxuriante floresta. Mas devemos lembrar que a Amazônia também guarda uma infinidade de recursos minerais, formas variadas de rochas, uma gama de formas de relevo que precisa ser conservada e protegida. Algumas destas formas já possuem legislação para isso, é o caso das cavernas e cachoeiras.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o aporte da Universidade do Sul e Sudeste do Pará, em especial à Faculdade de Geografia que permitiu em alguns momentos nos ausentarmos de nossas atividades administrativas para coletas em campo. À Casa de Cultura em Marabá, pela parceria nos projetos institucionais. Ao Ideflor, através do acordo de Cooperação estabelecido entre as instituições parceiras Unifesspa e Ideflor.

REFERÊNCIAS

- ABREU F.A.M. O Supergrupo Baixo Araguaia. *In* 30º Congresso Brasileiro de Geologia, **Anais**, Recife, v. 2, 1978, p. 539-545.
- ALVARENGA C.J.S., MOURA C.A.V., GORAYEB P.S.S. 2000. **Paraguay and Araguaia belts**. *In*: U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Thomaz Filho, D.A. Campos (Eds.), *Tectonic Evolution of South America*, 2000, p. 183-193.
- ATZINGEN, N. V.; SCHERER, R. S.; FURTADO, M. B. Parque Estadual Serra dos Martírios/Andorinhas, no Estado do Pará e sua importância espeleológica. **Anais... XIX Congresso de Espeleologia**, Ouro Preto, MG, 2007.
- AULER, A.; ZOGBI, L. **Espeleologia: noções básicas**. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2005a.
- _____. Ambiente Cárstico. *In*: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; SANTOS, A. M.; OLIVEIRA, P. E. (Eds.). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto-SP: Editora Holos, 2005.
- BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia Física Global** - esboço metodológico. Caderno de Ciências da Terra. São Paulo, SP: Instituto de Geografia – USP, 1972.
- BOUDINET, P. A statistical model of karstic flow conduits. **Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers**, v. 12, 2012.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.
- FERREIRA, G. L. B. V. O Canie e a gestão do Patrimônio Espeleológico do Brasil. **Rev. Direito Ambiental e sociedade**, v. 8, n. 2, 2018.
- FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Structure and Natural History of Bat Guano Invertebrate Communities with Special Reference to Brazilian Caves. **Rev. Tropical Zoology**, Firenze, v. 12, n. 2, 1999.
- FORD, D. Perspectives in karst hydrogeology and cavern genesis. **Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers**. The Virtual Scientific Journal, v. 1, n. 1, 2003.
- FORD, D.; WILLIAMS, P. D. **Karst Hydrogeology and Geomorphology**. Nova Jersey: John Wiley e Sons LTD, 2007.
- FRIEDE, R.; CARLOS, A. C.; AVELAR, K. E. S. The Legal System of The Brazilian Speleological Patrimony. **Revista Semioses**, v. 10, n. 02, 2016.

GABROVŠEK, F.; HÄUSELMANN, P.; AUDRA, P. 'Looping caves' versus 'water table caves': The role of base-level changes and recharge variations in cave development. **Geomorphology**, 204, 2013.

GANEM, R. S. **As cavidades naturais subterrâneas e o decreto nº 6.640/2008**. Consultoria Legislativa. Câmara dos Deputados. Brasília/DF, 2009.

GORAYEB, P. S. S. et al. Geologia do Parque Estadual da Serra dos Martírios-Andorinhas e Região Adjacente. In: GORAYEB, P. S. S. (Org.). **Parque Martírios-Andorinhas: conhecimento, história e preservação**. Belém: EDUFPA, 2008.

GRAY, M. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature**. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2004.

_____. Geodiversity: a new paradigma for valuing and conserving Geoheritage. **Geoscience Canada**, v. 35, n. 2, 2008.

_____. Geodiversity: the origin and evolution of a paradigm. In: BUREK, C. V.; PROSSER, C. D. (Eds.). **The History of Geoconservation**. London: Geological Society, Special Publications, 300, 2018.

GRAY, M.; GORDON, J. E.; BROWN, E. J. Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. **Journal Proceedings of the Geologists' Association**, 124, 2013.

HASUI Y., TASSINARI C.C.G., SIGA JR. O., TEIXEIRA W., ALMEIDA F.F.M., KAWASHITA K. Datações Rb-Sr e K-Ar do centro norte do Brasil e seu significado geológico-geotectônico. Congresso Brasileiro de Geologia, 31, **Anais...Camboriu**, v. 5, 1980, p. 2659-2667.

HASUI Y., COSTA J.B.S., ABREU F.A.M. **Província Tocantins. Setor setentrional**. In: F.F.A. de Almeida & Y. Hasui, (Eds.). **O Precambriano do Brasil**. São Paulo, Edgard Blücher. 1984. p.137-204.

HAN, Jing-Cheng et al. Characterization of elevation and land cover dependent trends of NDVI variations in the Hexi region, northwest China. **Journal of Environmental Management**, v. 232, 2019.

HOWARTH, F. G. Ecology of Cave Arthropods. **Ann. Rev. Entomol**, 1983.

JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T. Geodiversidade, Geoturismo e Geoconservação: Conceitos, Teorias e Métodos. **Espaço Aberto**, v. 6, n. 1, 2016.

KARMANN, I.; SÁNCHEZ, L. E.. Distribuição das rochas carbonáticas e províncias espeleológicas do Brasil. In: RASTEIRO, M.A.; CÂMARA, A. (Orgs.). Congresso Nacional de Espeleologia, 14, 1980. Belo Horizonte. **Anais... Campinas: SBE**, 2018. p. 25. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais14cbe/14cbe_025-025.pdf. Acesso em: fev. 2019.

LI, Y. et al. Dynamic analysis of ecological environment combined with land cover and NDVI changes and implications for sustainable urbanerural development: The case of Mu Us Sandy Land, China. **Journal of Cleaner Production**, 2017.

MORAES REGO L.F. Notas geográficas e geológicas sobre o rio Tocantins. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, 1933, p.272-288.

MONTEIRO, F. A. D. Espeleologia e legislação – proteção, desafios e o estado do conhecimento. In: RASTEIRO, M. A.; MORATO, L. (Orgs.). Congresso Brasileiro De Espeleologia, 32, 2013. Barreiras. **Anais... Campinas: SBE**, 2013, p. 197-206.

MOREIRA, J. C. **Geoturismo e interpretação ambiental** [online]. 1ª. ed. rev. e ampl. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2014.

NATUSCHKA, M. L. et al. Caves and Karst Environments. In: Bell, E.M. **Life at Extremes: Environments Organisms and Strategies for Survival**. Oxfordshire; Cambridge: CAB International, 2012.

PEREIRA, M. C.; VALADÃO, R. C. Instrumentos para as gestões territorial e ambiental no Brasil: a proteção do Carste em perspectiva. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 36, n. 1, p. 142-159, 2018.

PILÓ, L. B. Geomorfologia Cárstica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 1, n. 1, 2000.



PRICE, L.; TRAVASSO, L. E. P. Uso religioso de cavernas no Sudeste Asiático e China: a paisagem cárstica sob outra perspectiva. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 10, n. 3, 2016.

PUTY C.O.F., et al. **Projeto Marabá. Relatório Integrado**. CPRM/DNPM, Belém, 1972.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V; C., A. P. B. **Geoecologia das Paisagens**: uma visão geossistêmica da análise ambiental. Fortaleza, CE: Editorial UFC, 2004.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para o planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

_____. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia USP**, São Paulo, n. 8, 1994.

SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, D. et al. The deep subterranean environment as a potential model system in ecological, biogeographical and evolutionary research. **Subterranean Biology**, 25, 2018.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de geossistemas**. São Paulo: Instituto de Geografia USP, 1977.

SILVA G.G.S., et. al. Geologia da folha SB-22 Araguaia e parte da folha SC- 22 Tocantins. In: **Projeto RADAMBRASIL**, Rio de Janeiro. DNPM, parte 4, 1974.

TEIXEIRA, W. TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAILOI, F. (Org). **Decifrando a Terra**. São Paulo, Companhia Editora Nacional, 2008.

TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. **Biologia Subterrânea**: introdução. São Paulo: Rede Espele, 2006.

TRICART, J. O. Karst das vizinhanças setentrionais de Belo Horizonte. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, a. XVIII, n. 4, 1956.