



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIENCIAS HUMANAS
FACULDADE DE GEOGRAFIA

ROBERTA MOURA MIRANDA

ESTUDO GEOESPELEOLOGICO DA PROVÍNCIA ESPELEOLÓGICA DE
ALTAMIRA-ITAITUBA - PA

Marabá, 2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIENCIAS HUMANAS
FACULDADE DE GEOGRAFIA

ROBERTA MOURA MIRANDA

ESTUDO GEOESPELEOLÓGICO DA PROVÍNCIA ESPELEOLOGICA DE
ALTAMIRA-ITAITUBA - PA

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à Faculdade de Geografia do
Instituto de Ciências Humanas da
Universidade Federal do Sul e Sudeste do
Pará, como requisito para obtenção do grau
de Bacharel em Geografia.

Orientador(a): Prof. Dr. Abraão Levi dos
Santos Mascarenhas.

Marabá

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Biblioteca Setorial Josineide da Silva Tavares

M672e Miranda, Roberta Moura
Estudo geoespeleológico da província espeleológica Altamira-Itaituba -
PA / Roberta Moura Miranda. — 2024.
29 f. : il. color.

Orientador (a): Abraão Levi dos Santos Mascarenhas.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul
e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Ciências
Humanas, Faculdade de Geografia, Curso de Bacharelado em Geografia, Marabá,
2024.

1. Cavernas - Pará. 2. Carste. 3. Espeleologia – Altamira (PA). 4.
Espeleologia – Itaituba (PA). 5. Cavernas – Formação. 6. Desmatamento –
Amazônia. I. Mascarenhas, Abraão Levi dos Santos, orient. II. Título.

CDD: 22. ed.: 551.447098115

Elaborado por Miriam Alves de Oliveira – CRB-2/583

ROBERTA MOURA MIRANDA

**ESTUDO GEOESPELEOLÓGICO DA PROVÍNCIA ESPELEOLÓGICA DE
ALTAMIRA-ITAITUBA – PA**

Monografia submetida a avaliação por banca
aprovada pelo Colegiado do Curso de
Geografia da Faculdade de Geografia da
Universidade Federal do Sul e Sudeste do
Pará.

BANCA EXAMINADORA

Professora Dr. Abraão Levi dos Santos Mascarenhas (Unifesspa)

Professora Dr. Maria Rita Vidal (Unifesspa)

Professor Dr. Leonardo Brasil Felipe (Unifesspa)

**A banca examinadora considera a monografia_____ , com o
conceito_____.**

Dedico esse trabalho a todos os meus familiares que não obtiveram privilégio de frequentar a universidade, contudo, graças a eles hoje concluo a etapa inicial da minha jornada acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Início agradecendo a Deus pela oportunidade de experienciar a vida, agradeço meus pais por todos os sacrifícios já feitos em prol de melhorar a minha vida, pelo apoio, puxões de orelhas e amor que foi me dado. As minhas irmãs que sempre me ofereceram um ombro amigo, meus avos que infelizmente não estão mais aqui comigo para presenciar esse momento e principalmente eu agradeço a mim que aceitou o desafio de produzir esse trabalho sem uma orientação eficiente.

RESUMO

A amazônica ostenta uma vasta diversidade natural, marcada por seu clima tropical e úmido, sua extensa floresta e seus voluptuosos rios, os quais atuam de forma integrada para manutenção e funcionamento da mesma, na região amazônica existe a predominância de cavernas encontradas em carste compostos por rochas pouco solúveis (pseudocarste) que é resultado do contexto geológico-geomorfológico característico da região, este trabalho tem como objetivo compreender e analisar o desenvolvimento, funcionamento e formação da PEAI a qual se encontra na floresta Amazônica, levando em consideração os objetivos específicos de compreender a formação do carste em rocha areníticas, identificar os sistemas que compõem a província espeleológica (geomorfológico, hidrológico, pedológico e geológico), conhecer as características ambientais da PEAI e descrever os principais problemas ambientais com foco no desmatamento, a pesquisa foi desenvolvida com base em revisão bibliográfica, utilizando-se autores como, Luiz Eduardo Panisset Travassos (2019) em Princípios de Carstologia e Geomorfologia Cárstica, Ford e William (1989) na obra Karst Geomorphology and Hydrology, Luís B. Piló (2000) em Geomorfologia cárstica, Pinheiro (2015) Cavernas em arenito da província espeleológica Altamira-Itaituba: dados espeleogenéticos com base no exemplo da Gruta das mãos (PA), Amazônia, Brasil e Freire (2018) com o Estudo Geomorfológico em cavernas de arenito da Amazônia Paraense, Hardt R (2008) com Sistema Cárstico e Impactos Antrópicos. A escolha da metodologia partiu da interpretação do carste como um sistema constituído por sistemas interdependentes, onde cada um desempenha um papel crucial no funcionamento do conjunto, nesse sentido fez-se necessário que a pesquisa tivesse uma abordagem multidisciplinar, levando em consideração fatores da dinâmica geomorfológica, geológica, hidrológica, pedológica e espeleológica da área, realizando assim uma abordagem sistêmica de pesquisa. A PEAI (Província espeleológica Altamira-Itaituba) que está localizada no Pará entre as cidades de Altamira e Itaituba e abriga 242 cavernas desenvolvidas em rochas areníticas, o arenito é caracterizado por uma coloração bege amarelo avermelhado e de granulação fina e grossa constituído por grão de areias compactados, que estão associados a Formação Maecurui do Grupo Urupadi, especificamente, a estrutura geológica das cavernas da Província são desenvolvidas em arenitos da Formação Maecuru, pertencente ao Grupo Urupadi, de ampla ocorrência na Bacia do Amazonas e que registra um novo ciclo sedimentar. Situada na região

hidrográfica amazônica, é cercada pelos rios Xingu, Tapajós e Amazonas, abrangendo a bacia dos rios Solimões e Amazonas juntamente com a sub bacia dos rios Iriri e Curuá-una. A província é cortada pela rodovia transamazônica ocasionando diversos impactos ambientais, sendo o principal o desmatamento advindo de ações antrópicas. Estes resultados indicam que as condições hídricas se destacam na formação e desenvolvimento do pseudocarste juntamente com os grandes níveis de chuvas. A relevância deste estudo reside em estudar o ecossistema de carste formado a partir de rochas areníticas no contexto da floresta amazônica.

Palavras – chave: Carste; Amazônia; Cavernas; Arenito; Desenvolvimento; Sistemas; Desmatamento.

ABSTRACT

The Amazon boasts a vast natural diversity, marked by its tropical and humid climate, its extensive forest and its voluptuous rivers, which act in an integrated way to maintain and function, in the Amazon region there is a predominance of caves found in karst composed of poorly soluble rocks (pseudokarst) which is the result of the geological-geomorphological context characteristic of the region, this work aims to understand and analyze the development, functioning and formation of the PEAI which is found in the Amazon rainforest, taking into account the specific objectives of understanding the formation of karst in sandstone rock, identifying the systems that make up the speleological province (geomorphological, hydrological, pedological and geological), understanding the environmental characteristics of the PEAI and describing the main environmental problems with a focus on deforestation, The research was based on a literature review, using authors such as Luiz Eduardo Panisset Travassos (2019) in Principles of Karstology and Karst Geomorphology, Ford and William (1989) in Karst Geomorphology and Hydrology, Luís B. Piló (2000) in Karst Geomorphology, Pinheiro (2015) Sandstone caves of the Altamira-Itaituba speleological province: speleogenetic data based on the example of Gruta das mãos (PA), Amazonia, Brazil and Freire (2018) with Geomorphological Study in Sandstone Caves of the Para Amazon, Hardt R (2008) with Karst System and Anthropic Impacts. The choice of methodology was based on the interpretation of karst as a system made up of interdependent systems, where each one plays a crucial role in the functioning of the whole, in this sense it was necessary for the research to have a multidisciplinary approach, taking into account factors of the geomorphological, geological, hydrological, pedological and speleological dynamics of the area, thus carrying out a systemic approach to research. The PEAI (Altamira-Itaituba Speleological Province) is located in the state of Pará between the cities of Altamira and Itaituba and is home to 242 caves developed in sandstone rocks. The sandstone is characterized by a reddish-yellow beige color and fine and coarse graining, made up of compacted sand grains, Specifically, the geological structure of the Province's caves is developed in sandstones of the Maecuru Formation, belonging to the Urupadi Group, which occurs widely in the Amazon Basin and is undergoing a new sedimentary cycle. Located in the Amazon hydrographic region, it is surrounded by the Xingu, Tapajós and Amazonas rivers, encompassing the Solimões and Amazonas river basins along with the Iriri and Curuá-una river sub-basins. The province is crossed by the trans-Amazonian

highway, causing various environmental impacts, the main one being deforestation resulting from anthropogenic actions. These results indicate that water conditions play a major role in the formation and development of the pseudokarst, along with high levels of rainfall. The relevance of this study lies in studying the karst ecosystem formed from sandstone rocks in the context of the Amazon rainforest.

Keywords: Karst; Amazon; Caves; Sandstone; Development; Systems; Deforestation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01- Carta imagem de localização da PEAI (Província espeleológica Altamira Itaituba).....	15
Figura 02- Fluxograma metodológico.....	20
Figura 03 - Modelo de formação de condutos por arenização e piping.	24
Figura 04 - Carta imagem da geologia da PEAI (Província espeleológica de Altamira-Itaituba).....	27
Figura 05 - Carta imagem da geomorfologia da PEAI (Província espeleológica de Altamira-Itaituba).	29
Figura 06 - Carta imagem da pedologia da PEAI (Província espeleológica de Altamira-Itaituba).....	30
Figura 07 - Carta imagem da hidrologia da PEAI (Província espeleológica de Altamira-Itaituba).....	31
Figura 08 - Esquema a respeito das atividades antrópicas, seus efeitos e impactos em terrenos cársticos.	34
Figura 09 - Carta imagem das áreas desmatadas.....	35

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	14
Objetivos.....	16
fundamentação teórica.....	16
2.MÉTODO	18
3.MATERIAIS E MÉTODOS DE MAPEAMENTO	20
4.TEORIA NA COMPREENSÃO DOS ASPECTOS GERAIS AOSESTUDOS CÁRSTICOS.	21
5.RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
A atuação do grupo de espeleologia de Marabá-PA e os avanços nos estudos espeleológicos na região sudeste do Pará.	25
Província espeleológica de Altamira-Itaituba PEAI.....	26
Cavernas em situação de vulnerabilidade.....	32
6.CONSIDERAÇÕES	36
7.REFERÊNCIAS	37

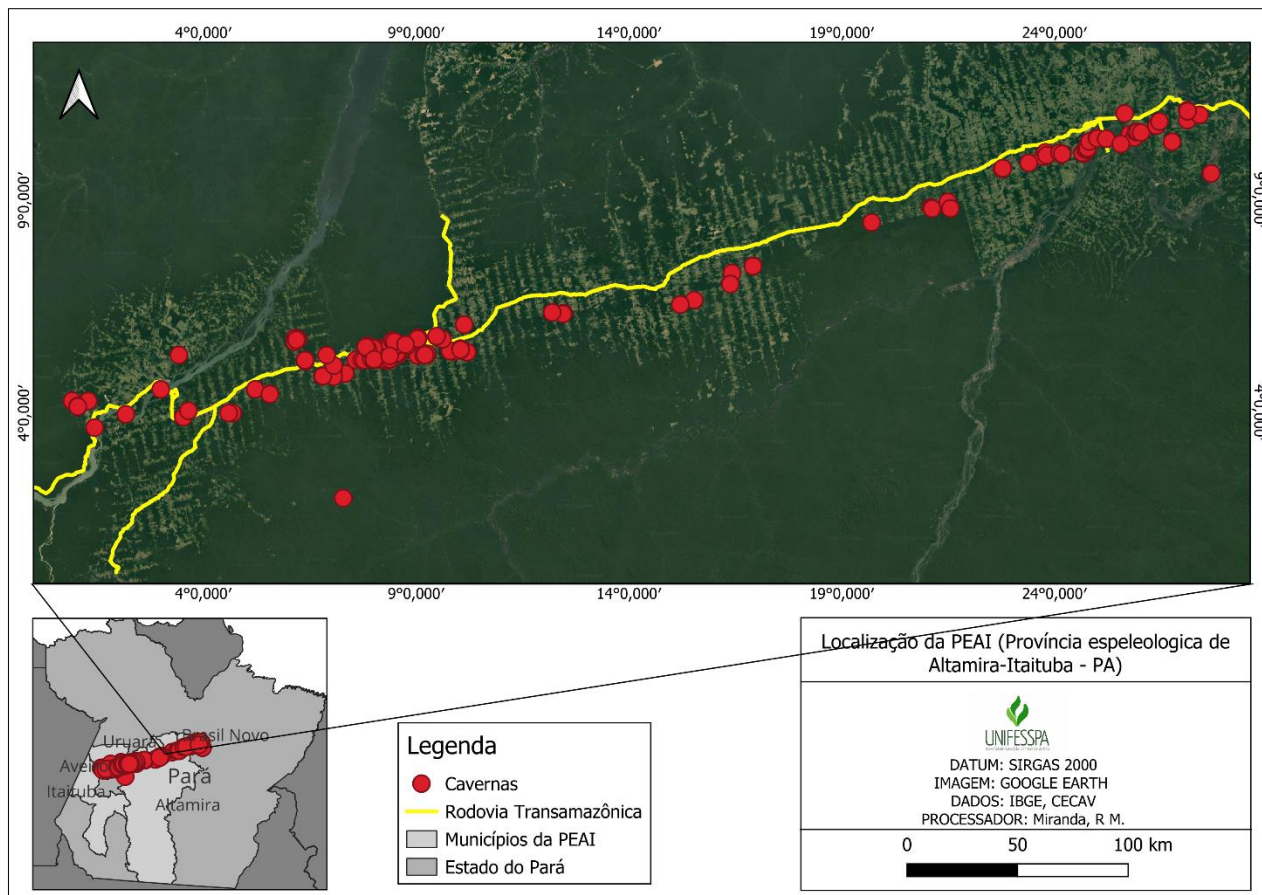
INTRODUÇÃO

A espeleologia é a ciência dedicada ao estudo de cavernas, e mais do que apenas estudar o desconhecido subterrâneo, a espeleologia é a ciência que busca compreender as dinâmicas naturais das cavernas, grutas e outros sistemas subterrâneos, de acordo com Bigarella (2007), a espeleologia é “a ciência que estuda as cavernas e outras cavidades subterrâneas naturais, abrangendo sua formação, geologia, morfologia, física, química, biologia, história e paleontologia, além de influenciar o meio ambiente e as populações humanas”.

As cavernas abrigam uma grande diversidade ambiental, e são responsáveis por formações de aquíferos que abastecem rios, nascentes e poços, a água que é armazenada contribui para regulação do fluxo dos rios e na manutenção dos níveis dos lagos, nelas existem uma variedade de espécies animais e vegetais que são adaptadas à vida no subterrâneo conhecidos como fauna e flora cavernícola, algumas contêm registro de ocupação humana pré-histórica, como pinturas rupestres, ferramentas e ossadas, fornecendo informações sobre a história do homem no planeta (IPAM, 2022).

No contexto amazônico a região se destaca pelas quantidades de cavernas encontradas, principalmente não carbonáticas, dando ênfase às de arenito e de rochas ferríferas, algumas delas encontram-se anexadas em circunstância geológica da bacia sedimentar do Amazonas, como é o caso das cavernas que estão inseridas na Província espeleológica Altamira Itaituba (Figura 01), localizada no estado do Pará, que apresenta um conjunto de cavidades naturais subterrâneas com feições diversas, a província não possui feições desenvolvidas em rochas carbonáticas, sua estrutura é predominantemente de rochas em arenito.

Figura 01- Carta imagem de localização da PEAI (Província espeleológica Altamira Itaituba).



Fonte: Autor, 2024.

Em rochas siliciclásticas o processo de formação é mecânico e a porosidade primária é o padrão, a água tem um papel essencial nesse processo, pois quando, o nível do lençol freático é elevado o arenito é exposto em condições freáticas, fazendo assim a esculturação das cavidades. A ocorrência de camadas de arenito friável, o fraturamento da estrutura geológica, de origem tectônica, associado às variações isostáticas, deram início ao processo que gerariam as cavernas na Província Espeleológica Altamira-Itaituba (Freire, 2018, p.16).

Sabe-se que a região amazônica vem sofrendo uma série de impactos negativos causados pelo desmatamento, a província apresenta situação de vulnerabilidade ocasionada por ação antrópica, a construção da transamazônica e a movimentação na área (expansão agrícola, garimpo ilegal, exploração madeireira e a pecuária) tem gerado um exacerbado desmatamento trazendo prejuízos para eco

sistema da província.

Objetivos

Este trabalho tem como objetivo compreender e analisar o desenvolvimento, funcionamento e formação da paisagem cárstica da Província espeleológica Altamira Itaituba, trazendo um abordagem multidisciplinar tendo em conta que a espeleologia é uma ciência que soma conhecimentos de diversas outras ciências, como, geomorfologia, geologia, hidrologia e pedologia etc., e por fim, entender a importância desse ecossistema natural que deve ser preservado.

Tendo como objetivos específicos compreender a formação do carste em rochas areníticas, identificar os sistemas que compoem a província espeleológica (geomorfológico, hidrológico, pedológico e geológico), Conhecer as características ambientais da PEAI e Descrever os principais problemas ambientais com foco no desmatamento.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A paisagem cárstica é comumente encontrada em rochas carbonáticas, porém existem carste em rochas siliciclásticas como arenito e quartzito, Ford e William (1989) definem carste como um terreno com formas de relevo e hidrologia distintas, decorrente de uma combinação entre rochas com alta solubilidade e porosidade secundária bem desenvolvida e em Karst Geomorphology and Hydrology apresentam os conceitos fundamentais da cárstologia, incluindo terminologia, tipos de rochas cársticas e distribuição global de áreas cársticas, neles são encontrados diversos aspectos de importância que contribuem para o equilíbrio do ecossistema, e são responsáveis pela regulação do ciclo hidrológico, manutenção biodiversidade e a provisão de recursos hídricos de qualidade (OLIVEIRA, 2019). Em sua obra Princípios de Carstologia e Geomorfologia Cárstica Travassos (2019), debate a respeito dos diversos aspectos do carste, desde o início dos estudos carsticos com o geógrafo Jovan Cvijic da região do planalto de Kras que foi o responsável pela criação do termo Karst (carste) e seus processos formadores até sua gestão e conservação, nessa sequência, Piló (2000) argumenta a respeito dos processos de dissolução que estão relacionados à interação da água com a rocha e as divisões dos domínios do carste (epicarste, endocarste e exocarste). No

contexto amazônico encontram-se áreas cársticas constituídas por rochas siliciclásticas, como a Província espeleológica de Altamira-Itaituba a região se destaca pelas quantidades de cavernas encontradas em rochas não carbonáticas, dando ênfase as de arenito, algumas delas encontram-se anexadas em circunstância geológica da bacia sedimentar do Amazonas, localizada no estado do Pará, ela apresenta um conjunto de cavidades naturais subterrâneas e outras feições geológicas, Pinheiro (2015) em seu artigo Cavernas em arenito da província espeleológica Altamira-Itaituba: dados espeleogenéticos com base no exemplo da Gruta das mãos (PA) o qual se refere ao local, explora questões relacionadas as características geológicas e geomorfológicas, formação e desenvolvimento das cavernas e o contexto espeleológico, "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 " (PINHEIRO, 2015), Freire (2018) é outro autor que deve-se mencionar sobre os aspectos cársticos encontrados na PEAI (Província espeleológica Altamira Itaituba), em Estudo Geomorfológico em cavernas de arenito da Amazônia Paraense, são levantados pontos a respeito contexto geológico das cavernas, condições climáticas e como influenciam na formação, relevância espeleológica e estágios de desenvolvimento das cavernas, "as cavernas da Província Espeleológica Altamira-Itaituba [...] são formadas pelo processo de arenitização, que representa o ataque geoquímico resultante da corrosão química das rochas por águas meteóricas ácidas, em que nesse estágio parte do cimento silicoso da rocha é dissolvido, deixando assim a rocha friável" (FREIRE, 2018). Seguindo o contexto amazônico faz-se necessário discutir acerca do desmatamento recorrente na região, causado por ação antrópica,

O desmatamento na Amazônia é um problema grave que ameaça a biodiversidade, o clima e os povos indígenas da região. As principais causas do desmatamento são a expansão da fronteira agrícola, a exploração madeireira e a construção de infraestrutura. O desmatamento tem uma série de impactos negativos, como a perda de habitat, a emissão de gases de efeito estufa e a degradação do solo. É urgente tomar medidas para reduzir o desmatamento na Amazônia e proteger essa importante região." (FEARNSIDE, P. M. 2005, p.10).

, a PEAI (Província espeleológica Altamira Itaituba) está localizada próximo a rodovia Transamazônica, lugar que existe grande quantidade de atividade humana, essa que acabam por gerar desmatamento que é responsável por impactos negativos no

ecossistema cárstico da área de estudo, esses impactos no sistema de carste é apresentado por em Sistema Cárstico e Impactos Antrópicos: Considerações sobre o Manejo escrito por HARDT, R (2008), de acordo com o auto as atividades humanas, como desmatamento, agricultura, mineração e urbanização, têm impactos significativos sobre os terrenos cársticos. Esses impactos incluem a poluição dos aquíferos, o afundamento de terrenos (dolina) e a erosão acelerada, além de efeitos indiretos, como o transporte de sedimentos e poluentes para cavernas por meio das drenagens subterrâneas. Com base no que foi mencionado, fica clara a complexidade e a relevância dos sistemas cársticos em diferentes tipos de rochas, tanto carbonáticas quanto siliciclásticas, como o arenito e o quartzito. A literatura evidencia salienta a importância fundamental do cuidado na regulação do ciclo da água, na preservação da diversidade de espécies e na oferta de recursos hídricos de boa qualidade. Na região amazônica, a Província Espeleológica Altamira-Itaituba, formada por cavernas de arenito, mostra como as condições geológicas e climáticas têm grande impacto nos processos espeleogenéticos. Entretanto, o progresso do desmatamento e das ações humanas, como a agricultura e a mineração, coloca em risco severo esses ecossistemas frágeis.

MÉTODO

Com o intuito de melhor compreender a paisagem cárstica foi realizado inicialmente neste trabalho uma revisão bibliográfica a respeito dos aspectos gerais do sistema cástico por meio de livros e artigos científicos dos autores Travassos (2019) Princípios de Carstologia e Geomorfologia Cárstica, para compreender os diversos aspectos do carste, desde seus processos formadores até sua gestão e conservação, Ford e William (1989) na obra Karst Geomorphology and Hydrology apresentando os conceitos fundamentais da carstologia, incluindo terminologia, tipos de rochas cársticas e distribuição global de áreas cársticas, e Piló (2000) em Geomorfologia cárstica a respeito dos processos de dissolução e as divisões do carste, em seguida foi necessário escolher um metodologia que interpretasse o carste como um sistema constituído por sistemas interdependentes, onde cada um desempenha um papel crucial no funcionamento do conjunto, nesse sentido fez-se necessário que a pesquisa tivesse uma abordagem multidisciplinar, levando em consideração fatores da dinâmica geomorfológica, geológica, hidrológica, pedológica e espeleológica da área, realizando assim uma abordagem sistêmica de pesquisa. “O método sistêmico é uma orientação para a investigação científica que se concentra nas inter-relações ena

organização dos elementos dentro de um sistema. Ao invés de analisar as partes individualmente, o foco recai sobre como elas se integram e funcionam como um todo coeso.”(BERTALANFFY, 2006, p.19).

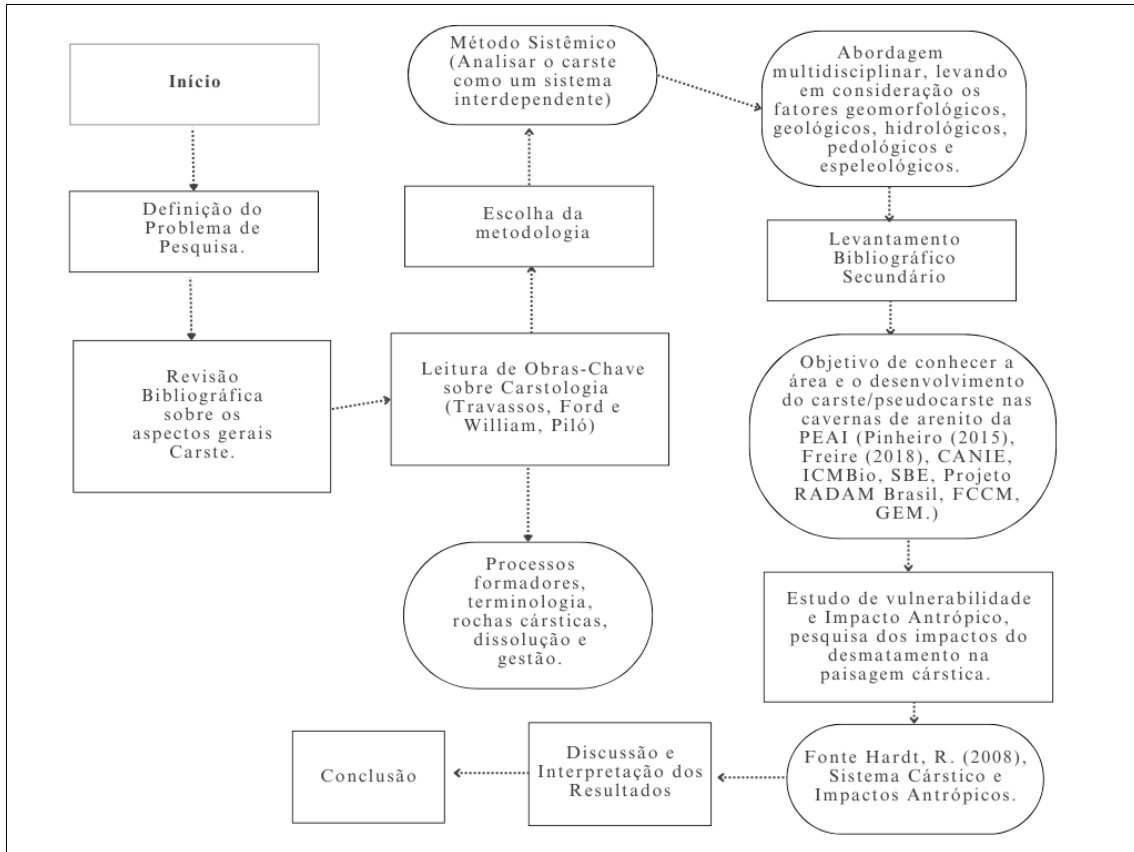
Com o propósito de conhecer a área e o desenvolvimento do carste (pseudocarste) e das cavernas em arenito da PEAI (Província espeleológica de Altamira – Itaituba) foi feito um segundo levantamento bibliográfico usando os autores Pinheiro (2015) e Freire (2018) com seus respectivos artigos Cavernas em arenito da província espeleológica Altamira-Itaituba: dados espeleogenéticos com base no exemplo da Gruta das mãos (PA), Amazônia, Brasil e Estudo Geomorfológico em cavernas de arenito da Amazônia Paraense, juntamente com matérias bibliográficos e cartográficos coletados de instituições oficiais, como Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE¹), Instituto Chico Mendes (CECAV/ICMBio), Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE), Projeto RADAM Brasil, produzido pelo DNPM; arquivos técnicos científicos da Fundação casa da cultura de Marabá (FCCM) e um texto produzido pelo grupo GEM para entender o contexto dos estudos espeleológico na região foi usado como embasamento um.

Visto que o desmatamento e uma adversidade duradora enfrentada pela região amazônica, o contexto de vulnerabilidade que a paisagem cárstica está inserida foi um outro ponto a ser levantado, a expansão agrícola, garimpo ilegal, exploração madeireira e a pecuária acabaram por suceder um significativo desmatamento na área, tendo isso em vista, como embasamento foi usado o autor HARDT, R. (2008) e seu artigo Sistema Cárstico e Impactos Antrópicos: Considerações sobre a Sustentabilidade e Gestão Ambiental o qual aborda a complexidade dos sistemas cársticos e os impactos das atividades humanas sobre esses ambientes.

¹ O CANIE é a única base de dados nacional disponível que consolida informações detalhadas sobre cavernas no Brasil. Entretanto, devido à falta de atualizações recentes, os dados utilizados podem não refletir integralmente o cenário atual, o que representa uma limitação para este estudo

Para atingir os objetivos propostos posteriormente, foi adotado um modelo representado pela figura 2, consiste em um fluxograma metodológico que serve de base para análise dos respectivos processos para produção do trabalho, formado por nove etapas principais.

Figura 02- Fluxograma metodológico.



Fonte: Autor, 2024.

MATERIAIS E MÉTODOS DE MAPEAMENTO

A cartografia produzida através do software Qgis 3.34.0, utilizando técnicas de geoprocessamento, como dados cadastrais, dados temáticos e modelo numérico de terreno, as imagens de satélite referentes aos mapas foram adicionadas através do Google Satélite encontrado no software Qgis 3.34.0 juntamente com Earth explore que possibilitou o uso de imagem SRTM 1 Arc-second Global para produção do mapa hipsométrico usando a ferramenta declividade e sombreamento, eles foram posicionados ao longo do trabalho para embasar as informações encontradas no texto, os arquivos de shapefile foram retirados do banco de dados do IBGE, CECAV, ANA etc.

TEORIA NA COMPREENSÃO DOS ASPECTOS GERAIS AOS ESTUDOS CÁRSTICOS.

O conceito de carste, vem evoluindo com o tempo, os primeiros estudos feitos pelo geógrafo sérvio Jovan Cvijic da região do planalto de Kras, localizado no território italiano e esloveno estavam diretamente ligadas as rochas calcárias, tornando a litologia referência nas pesquisas sobre o relevo. Ele foi o responsável pela popularização do termo que tem origem germânica e surgiu da palavra Karst que em português foi traduzido para Carste. (TRAVASSOS, 2019).

A partir de então, o termo alemão (karst) passou a ser utilizado como padrão mundial, designando os complexos processos de dissolução da rocha, bem como os igualmente intrincados sistemas subterrâneos derivados da interação entre os processos naturais que ocorrem na superfície e no subterrâneo (TRAVASSOS, 2019).

Ford e William (1989) definem carste como um terreno com formas de relevo e hidrologia distintas, decorrente de uma combinação entre rochas com alta solubilidade e porosidade secundária bem desenvolvida. Também ressalta que o carste deve ser compreendido como um sistema.

O ambiente cárstico é resultado de um processo de dissolução de uma formação rochosa composta por rochas solúveis, majoritariamente rochas carbonáticas e evaporitos, como calcário e dolomitas, de acordo com os autores Ford e Williams (2007) as regiões desenvolvidas em rochas carbonáticas, totalizam cerca de 10 a 15% da superfície terrestre, entretanto rochas siliciclásticas ou silicatadas, arenito e alguns tipos de quartzitos é possível ocorrer o desenvolvimento de carste, segundo Travassos (2019) De maneira reducionista, podemos, portanto, estabelecer que o carste ocorre, em teoria, em qualquer litologia. Assim, a cobertura cárstica aumentaria dos 15% para aproximadamente 20%, Andreychouk (2019) faz uso de dois termos, tradicional para carste em carbonatos e não tradicional para aqueles que são em outras litologias, fazendo assim uma diferenciação dos afloramentos, é importante ressaltar que todas as rochas têm algum grau de solubilidade.

É possível considerar que todas as rochas são solúveis em algum grau e, por isso, feições de dissolução de microescala podem ser encontradas em “rochas insolúveis”, como o quartzito e o basalto. Entretanto, embora tenham feições cársticas (pois são

formadas pela dissolução parcial da rocha), a paisagem da qual fazem parte pode não ser cárstica, pois é formada por rochas relativamente insolúveis e dominada por feições produzidas por outros processos naturais que não necessariamente a dissolução.

No entanto existe outro fator que propicia na evolução desse relevo, Piló (2000) afirma que na elaboração dessas paisagens, a rocha exerce uma influência marcante, pois propriedades petrográficas estão intimamente relacionadas a dissolução. Porém, somente a solubilidade da rocha não é suficiente para a configuração de um típico carste.

A porosidade da rocha também deve ser levada em consideração, no domínio cárstico ela é dividida em primária e secundária. A primária não é relevante neste domínio já que o calcário geralmente apresenta-se em forma maciça, não permitindo uma circulação de água eficiente através dos grãos, diferente da secundária que é representada por juntas, planos de acamamento, fraturas, falhas e outras estruturas formadas pós-diagênese, são importantes no carste, diante disso, destaca-se a princípio que o ambiente de deposição determina muito da pureza, textura e espessura dos bancos e outras prioridades da rocha carbonática final.

A principal característica da formação rochosa cárstica e o processo químico de dissolução da rocha, o qual está diretamente relacionado com a água e sua interação neste meio, Piló (2000) destaca que o processo de dissolução e transporte em solução é o principal fator para caracterizar uma paisagem como cárstica.

Para compreender essa interação é necessário saber que o conjunto espacial que constitui a geomorfologia cárstica pode ser compartimentado em três domínios o exocarste (superfície), epicarste (subsuperfície) e o endocarste (meio subterrâneo).

O exocarste pode ser definido por uma diversidade de formas superficiais geradas a partir da dissolução em rochas solúveis pela água da chuva, formando morfologias como lapiás ou, dolinas, uvalas, sumidouros entre muitos outros, o endocarste é caracterizado pelos processos carsticos que ocorrem no subterrâneo, com a gradual captura da água superficiais pela rede de drenagem formada através de juntas e planos de acamamento da rocha, que aos poucos vão se alargando até formarem cavernas e espeleotemas, estes são feições peculiares formados na maioria das vezes pela precipitação de CaCO_2 (Carbonato de cálcio) alguns exemplos de espeleotemas são, estalactites, estalagmites, cortinas entre outras, o último epicarste

é o domínio intermediário entre o exocarste e o endocarste, tem papel muito importante, pois é onde se encontra o manto de alteração influenciando na circulação hídrica e

também onde está disponível a maior parte de CO₂ (Dióxido de carbono) elemento primordial para formação do H₂CO que é responsável pelo processo de corrosão da rocha, grandes valores de CO₂ aumentam o poder de dissolução da água acidificada. Poderia inserir a quebra figura clássica dos endo/exo carste.

De acordo com Travasso (2019) Podemos dizer que todas as paisagens cársticas que vemos hoje dependeram da água para se formar. Essa dependência se deu em maior ou menor grau, mas todas em algum momento de sua formação precisaram das redes de drenagem que se desenvolveram sobre e sob a superfície. A química da dissolução no meio carstico depende de algumas variáveis, como os tipos de ácidos disponíveis e a litologia que será afetada por eles.

No carste clássico, que ocorre no calcário, a água da chuva absorve dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera e é levemente acidificada pela reação da água com CO₂.

Abertura de conduto por dissolução no meio carbonático pode ser atribuída principalmente às relações lentas de dissolução da calcita em função da cinética química do sistema H₂O – CO₂ – CaCO₃, onde a solução próxima do equilíbrio é capaz de percolar a rocha por grande distância sem atingir a saturação total em carbonato (PILÓ. 2000, p.96).

No caso de rochas não carbonáticas, como quartzito e arenito, o processo de dissolução apesar de ter também a participação da água demanda de outros fatores para que ocorram as formações das feições morfológicas. Nesta situação, as feições são derivadas a partir de descontinuidades como fraturas e diaclases, evidenciando assim a condicionante morfoestrutural.

A evolução cárstica em rochas siliciclásticas consiste basicamente em duas etapas, a primeira é dominada pelo intemperismo químico, onde a dissolução é ativa no domínio intergranular, dissolvendo a rocha e facilitando a separação de grãos de quartzo.

Figura 03 - Modelo de formação de condutos por arenização e piping.



Fonte: Silva (2004) adaptado de Wiegand et al. (2004).

Após esta fase de decomposição química conhecida como arenização, segue para a segunda fase marcada pelo processo de erosão, onde as partículas de quartzo podem ser evacuadas, principalmente por um processo de piping, este é o fenômeno no qual se formam dutos por meio do carreamento de materiais em solução, consiste em um processo geomorfológico erosivo superficial.

O processo de dissolução do quartzo é considerado prático, pois não se formam novos sólidos, ao contrário do ácido silícico. Este ácido, junto com a água de superfície, penetra nas falhas e fraturas do quartzito e, com a incorporação de matéria orgânica, aumenta a sua acidez, colaborando para o aumento da solubilidade dele e de outros minerais. Essas reações químicas acontecem apenas porque os minerais se formam sob diferentes condições químicas e físicas na superfície, termodinamicamente instáveis na presença de água e da atmosfera. Este processo de solubilidade também engloba rochas ígneas e metamórficas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A ATUAÇÃO DO GRUPO DE ESPELEOLOGIA DE MARABÁ-PA E OS AVANÇOS NOS ESTUDOS ESPELEOLÓGICOS NA REGIÃO SUDESTE DO PARÁ.

Em 1989 um grupo de técnicos voluntários do instituto Fundação casa da cultura, ao realizar estudos na Serra das Andorinhas ou Serra dos Martírios localizada no município de São Geraldo do Araguaia – PA, fez a descoberta de cavidades naturais, com isso surgiu a necessidade da criação de um grupo espeleológico, para executar um levantamentos de espéleo, e então em 08 de agosto do mesmo ano foi criado o grupo GEM, seu intuito era estudar, documentar, divulgar e preservar as cavernas, cachoeiras, relevo ruiforme e litologia quartzítica ali encontrada (CRESCENCIO, 2019).

Durante o primeiro ano de pesquisa o grupo fez a descoberta e documentação de 17 cavernas, 69 abrigos e 6 cachoeiras. Ao longo dos estudos entendeu-se a demanda da fundação de um parque, com objetivo de preservar as riquezas paisagísticas, arqueológicas, espeleológicas e biológicas da área, e em 22 de setembro de 1989 a Secretaria de Estado de Cultura tendo em vista os resultados dos levantamentos promoveu o tombamento, eles foram enviados para o IDESP que solicitou a criação do Parque Estadual da Serra das Andorinhas/Martírios. O projeto Martírios do Araguaia, foi dividido em XIV etapas, e finalizado em julho de 1994. Foi apenas em 1997 que outras áreas começaram a ser estudadas, tal como as cavidades descobertas no município de Palestina – PA, lá foram registradas e documentadas 27 cavidades subterrâneas e 5 cachoeiras (CRESCENCIO, 2019).

Hoje o Pará é o segundo estado brasileiro com maior número de cavidades registradas, ficando atrás somente de Minas Gerais, ao todo são 2743 divididas (Figura 02) em rochas ferríferas, siliciclásticas, carbonáticas e graníticas (CECAV, 2022).

Outra área de grande relevância para região de acordo com Icmbio (2020) onde é possível encontrar cerca de 377 cavernas formadas em litologia ferrífera, o Parque Nacional dos Campos Ferruginosos situado no município de Parauapebas e Canaã dos Carajás, considerado o maior parque de cavernas em rochas ferríferas do Brasil.

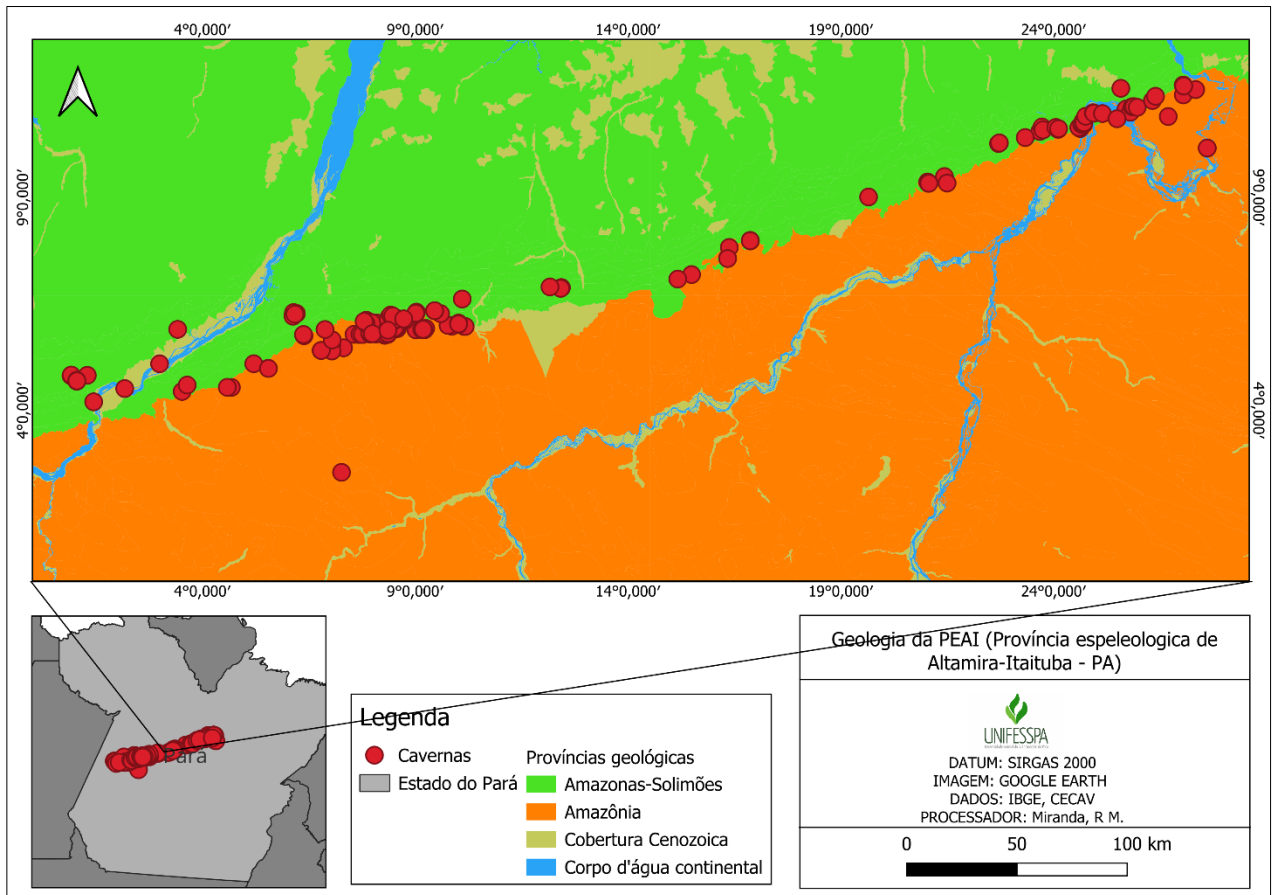
PROVÍNCIA ESPELEOLÓGICA DE ALTAMIRA- ITAITUBA PEAI.

A Província espeleológica de Altamira-Itaituba (PEAI), localizada no estado do Pará próximo à rodovia transamazônica, apresenta uma extensão de aproximadamente 500 km que abrangem as cidades entre Altamira e Itaituba (Anapú, Aveiro, Brasil Novo, Medicilândia, Placas, Rurópolis, Uruará e Vitória do Xingu), abrigando um amplosistema de cavernas, o qual é possível encontrar 242 cavernas catalogadas pelo Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE).

As cavernas são desenvolvidas em litologia carbonática e não carbonática (pseudocarticas), majoritariamente arenito, apresentado uma em calcário e uma em folhelho, nocontexto espeleológico esta região chama atenção pela presença de um número considerável decavernas em rochas não carbonáticas, destacando-se aquelas em arenito e rochas ferríferas e, principalmente, seus derivados de alteração intempérica. Poucas cavernas em rochas carbonáticas têm sido descobertas, dentre elas, sobressaindo-se, a Gruta do Paraíso, localizada no município de Rurópolis, estado do Pará (PINHEIRO, 1998).

A quantidade predominante de cavernas encontradas em rochas não carbonáticas na região amazônica, contrasta com a quantidade em rochas carbonáticas, e é resultado do contexto geológico-geomorfológico característico da área. Na Província espeleológica Altamira-Itaituba, estão presentes as rochas sedimentares paleozoicas damargem sul da província geológica Amazonas – Solimões (figura 04).

Figura 04 - Carta imagem da geologia da PEAI (Província espeleológica de Altamira-Itaituba).



Fonte: Autor, 2024.

Essas rochas pertencem aos grupos geológicos Trombetas, Urupadi, Curuá e Tapajós, que se sobrepõem ao embasamento cristalino do Cráton Amazônico. Nos domínios da bacia sedimentar paleozoica 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) (PINHEIRO, 2015, p.06).

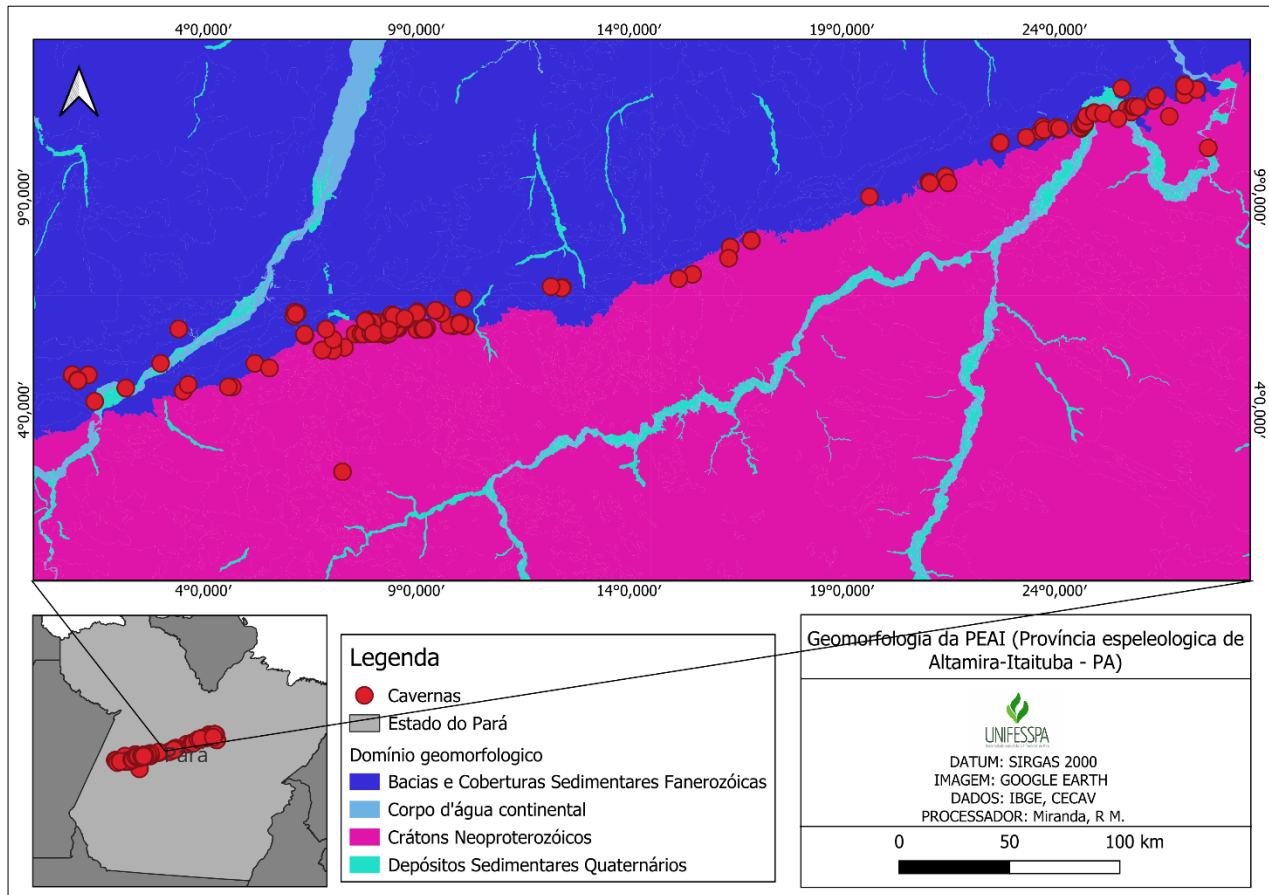
Na região é facilmente encontrada diversas feições pseudoscarsticas em arenito como caverna, dolinas e abrigos, o arenito é caracterizado por uma coloração bege amarelo avermelhado e de granulação fina e grossa formada por grão de areias compactados, associada Formação Maecurui do Grupo Urupadi bacia Amazonas, as cavernas desenvolvidas em arenito possuem um desenvolvimento amplo e linear condicionado pelo controle estrutural, e as estruturas mais comumente encontradas

são pilares e canalículos. Especificamente, a estrutura geológica das cavernas da Província apresenta-se notadamente em arenitos da Formação Maecuru, pertencente ao Grupo Urupadi, de ampla ocorrência na Bacia do Amazonas que registra um novo ciclo sedimentar.

O Grupo Urupadi, com posicionamento litoestratigráfico no Eo-Devoniano, entre 416 milhões e 397 milhões e 500 mil de anos atrás, está sobreposto ao Grupo Trombetas, do Siluriano (VASQUES; ROSA-COSTA, 2008). A província está localizada na porção sul do Planalto Rebaixado do Amazonas, próximo ao limite com domínios da Depressão Periférica do Sul do Pará, este relevo é moldado possui uma configuração de elevação suavemente arredondada, variando em altitudes de 100 a 475m, aumentando gradualmente de norte a sul.

Além disso, a presença das intrusões graníticas provenientes dos planaltos residuais sulamazônicos influencia a formação de um conjunto fragmentado de relevo residual, de acordo com Pinheiro (2015) 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, apresenta como domínios geomorfológico bacia e cobertura sedimentar fanerozóicas, crátons neoproterozóicos e depósito sedimentares quaternários (Figura 05):

Figura 05 - Carta imagem da geomorfologia da PEAI (Província espeleológica de Altamira-Itaituba).



Fonte: Autor, 2024.

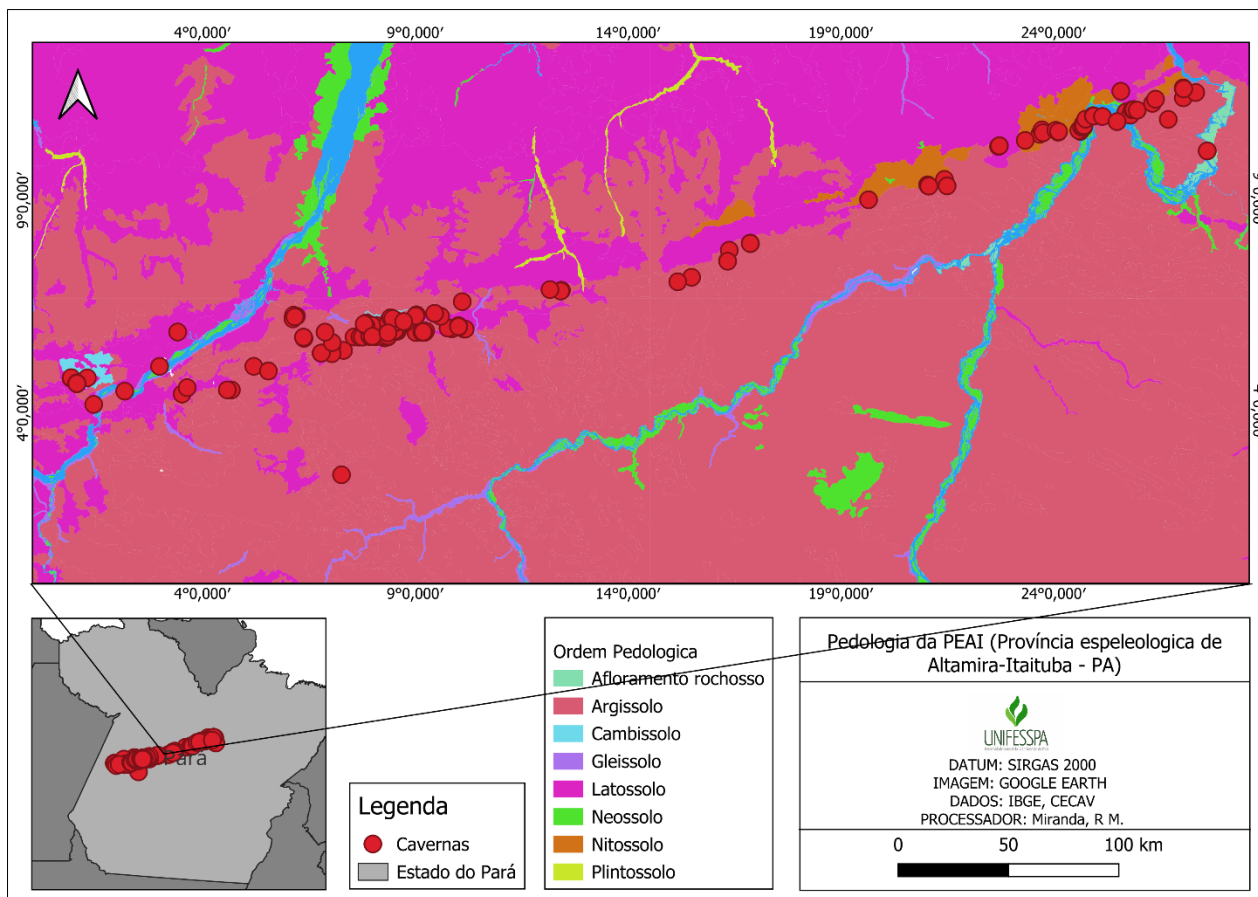
Na região compreendida por Altamira e Itaituba o relevo é majoritariamente ondulado, apresentando uma variedade de características, que vão desde áreas planas e levemente onduladas até fortemente onduladas ao longo da rodovia Transamazônica, segundo o RADAMBRASIL (1975) a Província Espeleológica Arenítica Altamira Itaituba, em maior detalhe, está relacionada à Superfície Montanhosa do Paleozóico.

A região norte é conhecida pelo seu clima equatorial, caracterizado pelas altas temperaturas, umidade elevada e chuvas abundantes. O grande índice de chuvas acaba por ocasionar maior nível de intemperismo nas rochas. Segundo Pinheiro (2015) 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.

Sabe-se que as condições climáticas das regiões tropicais e equatoriais apresentam precipitações anuais com médias pluviométricas de 1000 a 4000 mm, agindo mecanicamente de maneira mais intensa nos processos de desenvolvimento de cavernas. Contudo, as condições de altas temperaturas e umidade, bem como a presença de matéria orgânica abundante, fazem com que o ambiente produza mais CO₂, resultando na atividade química nas rochas, ao passo que a ação química da água tenha papel fundamental na dissolução intergranular. (Freire, 2018, p 16).

Essa mudança é a responsável pela existência de perfis de solo com espessuras de 30 –40m, sendo comum encontrar espessuras superiores a 100m, os principais solos encontrados (Figura 06) na região são nitossolo vermelho, argissolo vermelho amarelo distrófico, latossolo amarelo, condrônio laterítico e gleissolo háplico.

Figura 06 - Carta imagem da pedologia da PEAI (Província espeleológica de Altamira-Itaituba).

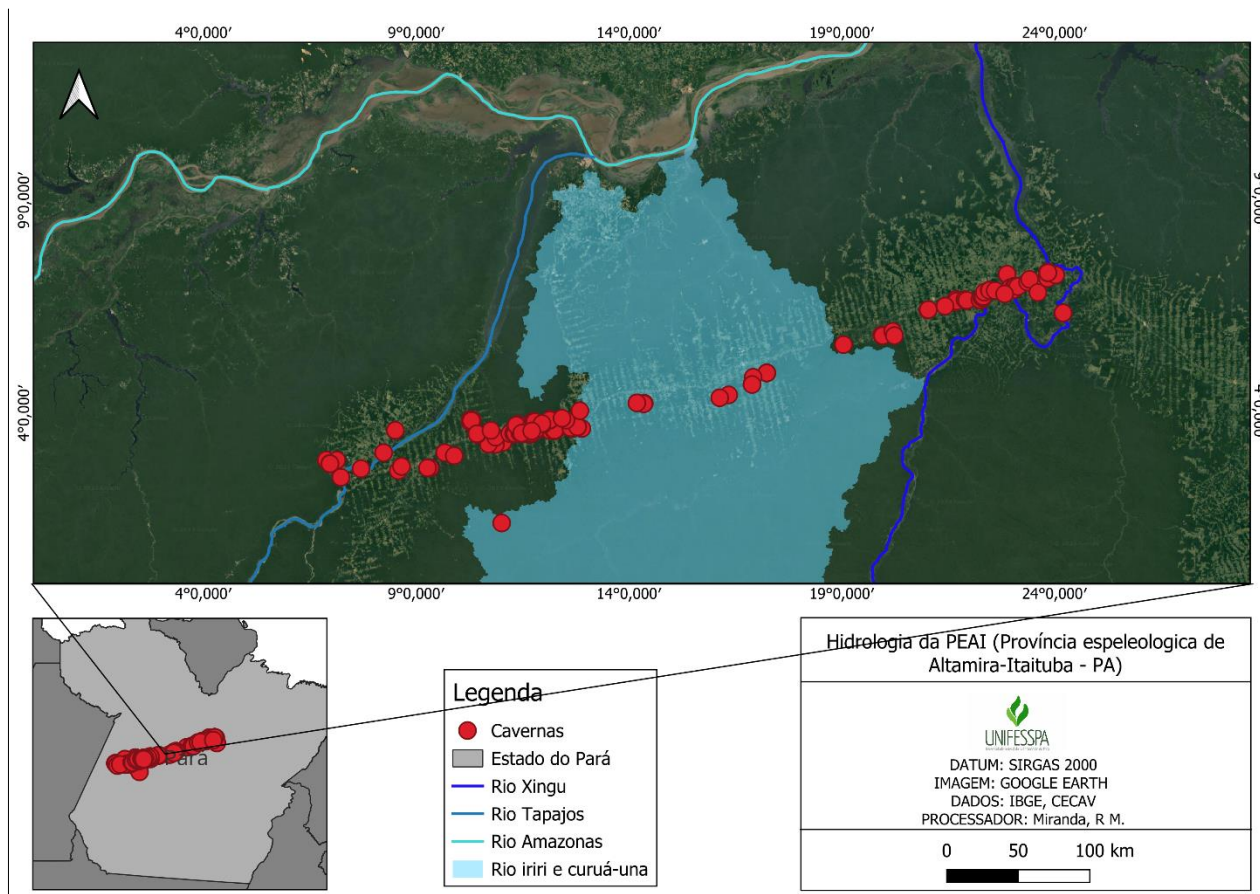


Fonte: Autor, 2024.

A província está situada na região hidrográfica amazônica, abrangendo a bacia dos rios Solimões e Amazonas juntamente com a sub bacia dos rios Iri e Curuá-una, ocupando mais 6000 quilômetros, desde a nascente até a foz, incluindo seus inúmeros

afluentes. Os rios Xingu, Tapajós e Amazonas percorrem os municípios da província (Figura 07), pode-se então destacar as suas relevâncias para a formação da zona carstica.

Figura 07 - Carta imagem da hidrologia da PEAI (Província espeleológica de Altamira-Itaituba).



Fonte: Autor, 2024.

Como citado anteriormente o piping é um dos processos predominantes na dissolução e erosão em rocha não carbonáticas, Pinheiro (2015) sugere que existem sete estágios que possivelmente desempenham um papel na formação desta caverna.

O primeiro envolve o rompimento da rocha devido à atividade tectônica, seguido pelo levantamento da área e o desenvolvimento da topografia. Em seguida, ocorrem alterações no nível do lençol freático e processos de corrosão geoquímica, nos quais as rochas são quimicamente erodidas por águas pluviais ácidas.

Neste ponto, parte do cimento silicoso da rocha se dissolve, tornando-a mais frágil (processo conhecido como arenitização). Em um quarto estágio, ocorre a erosão da rocha fragilizada devido ao fluxo de água através de fraturas (os grãos são

transportados sob pressão hidráulica através das fraturas). O quinto estágio envolve a formação de galerias e salões devido à erosão das partículas da rocha causada pela drenagem interna, em condições vadosas. O sexto estágio compreende a exposição das passagens e galerias em um ambiente vadoso, resultando na expansão dos espaços devido à ação da gravidade e à erosão causada pelo fluxo de água. Por fim, no sétimo estágio, ocorrem flutuações no nível freático, com uma combinação de influências fluviais e gravitacionais, acompanhadas pelo depósito seletivo de minerais nas cavidades internas da caverna.

CAVERNAS EM SITUAÇÃO DE VULNERABILIDADE.

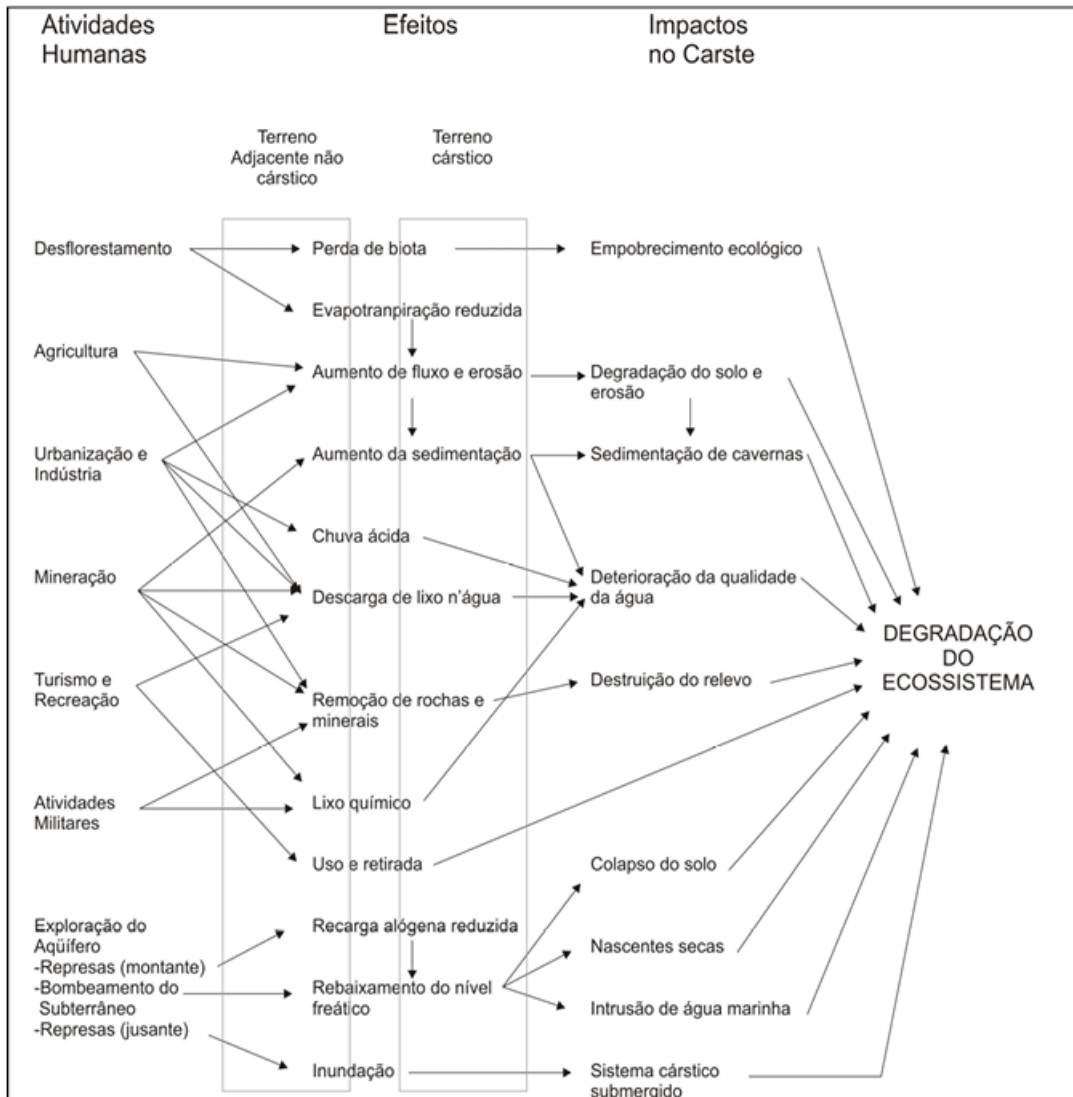
A Rodovia Transamazônica intensifica significativamente a atividade humana na região da província, contribuindo diretamente para o aumento do impacto ambiental, o ambiente cárstico é constituído por sistemas interdependentes, onde cada um desempenha um papel crucial no funcionamento do conjunto, sendo mutuamente necessários para a estabilidade do carste, quando um dos sistemas é afetado acaba por acarretar consequências negativas significativas para o carste, “aqui, aproveitamos para chamar atenção para os tipos de definições que levam em consideração o carste a partir de uma abordagem fisionômica, como um ambiente geológico, como a totalidade de um fenômeno (formas), como um processo, como uma unidade dos processos e formas e como um sistema” (KLIMCHOUK, 2015 apud TRAVASSOS, 2019, p. 53). Na contemporaneidade o desmatamento vem sendo uma grande adversidade ambiental enfrentada pela Amazônia brasileira, a região tem sofrido por anos com degradação da sua floresta e em 2020 cerca de 11,088 km de área foram desmatados segundo o INEP (2020), a expansão agrícola, garimpo ilegal, exploração madeireira e a pecuária estão cada vez mais presentes, e são os principais agentes causadores do desmatamento e outros impactos negativos tanto naturais como sociais, em seu trabalho sobre impactos antrópicos no carste Williams (1993 apud HARDT, R., 2008, p. 1302) relaciona alguns dos principais impactos da atividade antrópica neste terreno como sendo causados pela ocupação das cavernas, desflorestamento, uso agrícola, exploração de água, mineração, urbanização, atividades militares, turismo e recreação. Os impactos mais significativos advêm do desflorestamento e subsequente atividade agrícola, podendo resultar, no extremo, em uma 'desertificação rochosa (Williams, 1993 apud HARDT, R., 2008. P. 1302).

Estudos apontam que o desmatamento na Amazônia tem como uma das principais causas, as atividades de origem antrópica como a agricultura, pecuária, somada a agricultura do tipo de corte e queima. A expansão pecuária bovina, resulta na conversão parcial da floresta em áreas de pastagens que, agregada a extração da madeira é capaz de gerar emissões na faixa de 0,6 e 0,9 (+/- 0,5) PgC.ano-1. (SANTOS, T.; FILHO, V.; ROCHA, V.; MENEZES, J., 2017).

Com base em levantamentos recentes este cenário é responsável por 15% a 35% das emissões globais média de combustíveis fósseis durante o período da década de 1990 (DEFRIES et al., 2002; RIVERO et al., 2009). Gerando assim diversas consequências negativas como, a perda de biodiversidade (muitas espécies dependem diretamente da floresta para sua existência), erosão do solo (a cobertura natural ajuda a manter o solo e prevenir a erosão), mudanças climáticas (as florestas têm um papel crucial na regulação do clima global absorvendo dióxidos de carbono da atmosfera), alteração nos ciclos pluviais (o desmatamento pode afetar os padrões de chuva elevar as inundações e secas mais severas em determinadas áreas). Não só a existência do solo fica protegida na presença de vegetação, impedindo o impacto direto da chuva sobre o solo, seja pela presença das árvores, ou devido à presença de um manto de folhas e materiais biológicos em decomposição, decorrente da cobertura vegetal, como também devido ao fato de permitir um estabelecimento de uma fauna e flora de solo, responsável pela produção do dióxido de carbono, fundamental nos processos cársticos (Gillieson 1996).

Os impactos relacionados a atividade antrópica no carste podem ser imediatos ou mediatos. Williams (1993 apud HARDT, R., 2008, p. 1303) sugere um esquema (Figura 08), onde se expõe os diversos problemas decorrentes da ação imediata sobre os terrenos cársticos e os efeitos de atividades externas ao carste, mas que, devido aos fluxos de energia e matéria, resultam em impactos antropogênicos.

Figura 08 - Esquema a respeito das atividades antrópicas, seus efeitos e impactos em terrenos cársticos.

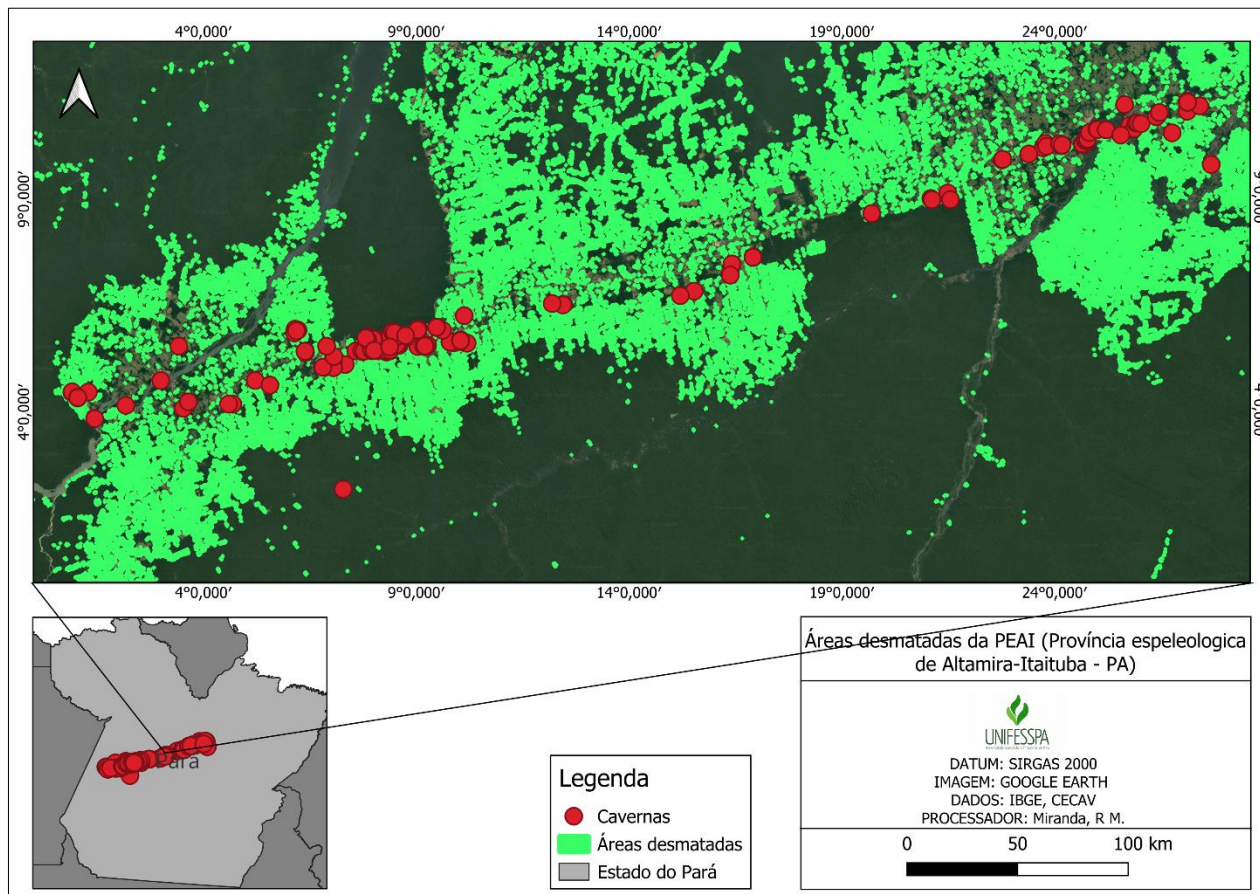


Fonte: WILLIAMS, 1993, apud HARDT, R., 2008.

O desmatamento da floresta amazônica leva ao empobrecimento da biodiversidade na região, o ciclo hidrológico também é afetado podendo modificar drasticamente o transporte de umidade fornecido pela floresta para importantes regiões agrícolas do Brasil localizadas no sul e sudeste. Causando a supressão de chuvas não apenas em regiões brasileiras, mas em outras partes da América do Sul (FEARNSIDE, 2006).

É possível observar na figura 09 os focos de desmatamento próximos as cavernas :

Figura 09 - Carta imagem das áreas desmatadas.



Fonte: Autor, 2024.

As interferências naturais não trazem impactos para existência da caverna, elas apenas fazem parte de processos advindo da própria natureza, entretanto, elas podem ocasionar no desaparecimento das pinturas e gravuras rupestres encontradas, o que seria uma grande perda histórica da humanidade, os impactos negativos que podem ameaçar a existência das cavernas e todo seu ecossistema vem das interferências antrópicas, impacto é qualquer alteração no meioambiente em um ou mais de seus componentes – provocada por uma ação humana (Moreira, 1992, p. 113.).

CONSIDERAÇÕES

Conclui-se a partir do presente estudo a respeito da Província espeleológica Altamira- Itaituba que se trata de um carste (pseudocarste) formado por rochas areníticas, o qual demanda uma maior participação do principal agente intempérico no processo de dissolução das rochas, a água, a área localiza-se na região amazônica onde existe uma grande frequência de chuvas e bacias hidrográficas de grande porte, a província é cercada pelos rios Tapajós, Xingu e Amazonas juntamente com a sub bacia dos rios Iriri e Curuá-uma que atravessa a área, configurando um ambiente capaz de gerar cavernas como outras estruturas geológicas vigentes.

Por fim, o desmatamento destaca-se como o principal causador de vulnerabilidade relatada na área, ocasionado por ações antrópicas como expansão agrícola, garimpo ilegal, exploração madeireira e pecuária, nesse contexto se faz necessário um combate a essas atividades na área da província, com o intuito de preservar o sistema natural de cavernas ali encontradas.

REFERÊNCIAS

FORD, D. C.; WILLIAMS, P. W. Karst geomorphology and hydrology. Unwin Hyman, London, 1989.

Piló, Luís B.. Geomorfologia Cárstica. Revista Brasileira de Geomorfologia, Rio de Janeiro, v.1, n.1, p. 88-102, 2000.

TRAVASSOS, L. E. P. Princípios de Carstologia e Geomorfologia Cárstica. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. 264 p.

FCCM. TCCE N 01 2018_Projeto Urupadi_Relatorio Final. Fortaleza: FCCM, 2018.

CRESCENCIO Genival. A história do GEM: 20 anos de descobertas, estudos e preservação de cavernas. Sociedade Brasileira de Espeleologia: SBG, v. 01, n. 01, p. 01-06, 2009.

CECAV. Anuário Estatístico Espeleológico Brasileiro 2022. Comissão de Espeleologia da Sociedade Brasileira de Geologia. Belo Horizonte: SBG, 2022.

FREIRE, L. M.; SILVA, E. V.; VERÍSSIMO, C. U. V.; LIMA, J. S. Carste não-carbonático da Amazônia: análise geoecológica da província espeleológica Altamira-Itaituba (PA). In: **Anais do 33º Congresso Brasileiro de Espeleologia.** Eldorado, SP, 2018.

PINHEIRO, V. L. B. Espeleologia da Província Altamira-Itaituba: caracterização e gênese das cavernas em arenitos e rochas ferríferas. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2015.

RADAMBRASIL. Levantamento de Recursos Naturais. Vol. 17: Geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso da terra. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1975.

INPE. Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. Prodes: Projeto de Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Legal. Brasília, DF: INPE, 2020.

MOREIRA, J. C. Impacto ambiental: a questão da avaliação. **Revista Brasileira de Geografia,** v. 54, n. 2, p. 111-129, 1992.

BERTALANFFY, L. von. Teoria geral dos sistemas: fundamentos, desenvolvimento, aplicações. Rio de Janeiro: Editora Vozes, 2006.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. Manaus: Editora INPA, 2006.

BIGARELLA, J. J. **Espeleologia: Introdução à Ciência das Cavernas.** 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007. p. 13.

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA, INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO, UNIVERSIDADE DE LISBOA. **Rochas Sedimentares: Apontamentos.** Aula 4 e 5 do Curso de Mineralogia e Geologia, 2006. Disponível em: <https://geomuseu.ist.utl.pt/MINGEO%20LEC2006LET/Aula%204%20e%205%20%28Rocha%20Sedimentares%29/Rochas%20sedimentares.pdf>.

GUEDES, C. C. F.; NASCIMENTO, A. L. A.; SILVA, A. C. G. da; LIMA, M. G. de; LIMA, J. R. de; OLIVEIRA, G. J. de; SILVA, J. A. da. Análise espacial da morfodinâmica cárstica na Serra do Ramalho, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 4, p. 1047- 1062, 2015. DOI: 10.26848/rbgf.v8i4.p1047-1062.

PILÓ, L. B.; CORRÊA, A. C.; ASSIS, J. F. de. O papel da dissolução química na evolução do relevo cárstico em rochas siliciclásticas: o exemplo da Serra do Espinhaço, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n. 1, p. 113-124, 2008. DOI: 10.20502/rbg.v10i1.243.

WILLIAMS, P. W. (Editor) **Karst Terrains:** Environmental changes and human impact. Cremlingen-Destedt: Catena-Verlag, 1993. p. 251-268. (Catena Supplement 25)

GILLIESON, D. S. **Caves:** Processes, development, management. Malden: Blackwell Publishers, 1996.

KLIMCHOUK, A.B. The karst paradigm: changes, trends and perspectives, *Acta Carsologica*, v.44, n.3, p. 289-313, 2015.

HARDT, R. Sistema Cárstico e Impactos Antrópicos: Considerações sobre a Sustentabilidade e Gestão Ambiental. SIMPGEO/SP, Rio Claro, 2008.

OLIVEIRA, Luciana. Serviços ecossistêmicos no Brasil: uma questão a ser estudada. *Revista Ambiente & Água*, v. 14, n. 3, 2019.