



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO GEOLOGIA

Júlia Eliana Klock

**Análise das imagens orbitais Sentinel-2A dos anos de 2017 e 2024 para a
identificação de áreas desmatadas por garimpo na Área de Proteção Ambiental
do Tapajós, norte do município de Jacareacanga, Pará.**

Florianópolis

2024

Júlia Eliana Klock

Análise das imagens orbitais Sentinel-2A dos anos de 2017 e 2024 para a identificação de áreas desmatadas por garimpo na Área de Proteção Ambiental do Tapajós, norte do município de Jacareacanga, Pará.

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Geologia do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientador(a): Prof. Dra. Lílíana Sayuri Osako

Florianópolis

2024

Ficha de identificação da obra

Klock, Júlia Eliana

Análise das imagens orbitais Sentinel-2A dos anos de 2017 e 2024 para a identificação de áreas desmatadas por garimpo na Área de Proteção Ambiental do Tapajós, norte do município de Jacareacanga, Pará. / Júlia Eliana Klock ; orientadora, Liliana Sayuri Osako, 2024.

80 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Graduação em Geologia, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Geologia. 2. Área de Proteção Ambiental do Tapajós. 3. Sentinel-2A. 4. Desmatamento por garimpo. I. Osako, Liliana Sayuri . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Geologia. III. Título.

Júlia Eliana Klock

Análise das imagens orbitais Sentinel-2A dos anos de 2017 e 2024 para a identificação de áreas desmatadas por garimpo na Área de Proteção Ambiental do Tapajós, norte do município de Jacareacanga, Pará.

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Geologia e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Geologia.

Florianópolis, 18 de dezembro de 2024.

Prof. Roberto Sacks de Campos, Dr.
Coordenador do Curso

Banca examinadora

Prof.(a) Liliana Sayuri Osako, Dra.
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Solange dos Santos Costa, Dra.
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Amintas Nazareth Rossete, Dr.
Universidade do Estado de Mato Grosso

Florianópolis, 2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Nicolau e Lisbeth, e às minhas irmãs Alice e Patrícia, por todo apoio ao longo de todas as etapas da minha vida e escolhas. Em especial, aos meus pais pelo incentivo, desde cedo, ao estudo. Também a todos os demais familiares que me apoiaram nessa caminhada. Ao meu namorado, agradeço pela ajuda constante, escuta e pela motivação indispensável.

Agradeço à minha orientadora, prof.^a Liliana Sayuri Osako, por sua dedicação, paciência e apoio durante este trabalho, assim como pelas trocas de conhecimento ao longo da graduação.

Sou grata aos professores e colegas da graduação por suas contribuições, ensinamentos e inspiração ao longo desta trajetória.

Por fim, agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina, que ao longo desses anos proporcionou a estrutura necessária para minha formação acadêmica. Além de abrir um universo de experiências e oportunidades que vão além do conhecimento geológico.

RESUMO

O Decreto de 13 de fevereiro de 2006 estabeleceu a Área de Proteção Ambiental (APA) do Tapajós, com 20.395,81 km², abrangendo os municípios de Itaituba, Jacareacanga, Novo Progresso e Trairão, no Estado do Pará, visando garantir a conservação ambiental e a exploração sustentável dos recursos naturais, de forma socialmente justa e ecologicamente viável. Os programas de monitoramento do INPE, como o PRODES e o DETER, utilizam técnicas de sensoriamento remoto para acompanhar o desmatamento em larga escala na Amazônia, e entre as Áreas de Proteção Ambiental monitoradas, a APA do Tapajós se destaca por apresentar uma das maiores taxas de desmatamento relacionadas à mineração. Com o objetivo de compreender esse cenário, este estudo analisou o avanço do desmatamento causado pelo garimpo na área de estudo a norte do município de Jacareacanga na APA do Tapajós, nos anos 2017 e 2024, utilizando imagens orbitais do Sentinel-2A correlacionadas a geologia local e os processos minerários ativos. A análise empregou o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) nas imagens Sentinel-2A de 2017 e 2024, estas integradas em uma composição colorida RGB, com valores de NDVI de 2017 no canal vermelho (R) e de 2024 nos canais verde (G) e azul (B). Áreas desmatadas em 2024 foram destacadas em vermelho, enquanto regiões com regeneração vegetal recente apareceram em ciano. Foram sobrepostas a composição colorida RGB os dados litológicos da Folha Tapajós (SB.21) do Serviço Geológico do Brasil (SGB), os dados de “Fases”, “Substâncias” e “Área” dos direitos minerários da ANM, além da rede hidrográfica elaborada pelo IBGE. Essa abordagem permitiu identificar desmatamento associado ao avanço do garimpo. Os processos minerários ativos localizados na área de estudo, que correspondem no total a 2.027,406 km², representando 98,86% da área total, seis fases administrativas dos processos minerários são observadas na área: Disponibilidade, Requerimento de Pesquisa, Autorização de Pesquisa, Requerimento de Lavra, Requerimento de Lavra Garimpeira e Lavra Garimpeira. E três substâncias: Ouro, Cassiterita e Diamante. O desmatamento na APA do Tapajós ocorre principalmente ao longo das drenagens, com vetores de avanço em direção a montante, o que está diretamente relacionado ao garimpo em depósitos aluvionares, com foco na exploração de ouro e cassiterita presentes na área. As áreas desmatadas concentram-se ao longo das drenagens das bacias do Rio Pacu e sub-bacia do Igarapé do Centrinho, além dos igarapés Cumarú e Cantagalo, onde a atividade garimpeira ocorre tanto em áreas de Lavra Garimpeira como em outras fases minerárias, sugerindo que o avanço do garimpo está sendo realizado de forma ilegal. A ausência de zoneamento e de um plano de manejo compromete os objetivos da APA do Tapajós, dificultando a preservação da biodiversidade e a sustentabilidade do uso dos recursos naturais. Este estudo reforça a importância de integrar técnicas de sensoriamento remoto e dados geológicos para compreender a dinâmica das atividades garimpeiras.

Palavras-chave: Área de Proteção Ambiental do Tapajós; Sentinel-2A; Desmatamento por garimpo.

ABSTRACT

The decree of February 13, 2006, established the Tapajós Environmental Protection Area (APA), with 20,395.81 km², encompassing the municipalities of Itaituba, Jacareacanga, Novo Progresso, and Trairão in the State of Pará. Its purpose is to ensure environmental conservation and sustainable resource use in a socially fair and ecologically viable manner. Monitoring programs by INPE, such as PRODES and DETER, utilize remote sensing techniques to track large-scale deforestation in the Amazon. Among the monitored Environmental Protection Areas, the Tapajós APA stands out for presenting one of the highest deforestation rates related to mining. With the aim of understanding this scenario, this study analyzed the progression of deforestation caused by mining in the study area north of the municipality of Jacareacanga, within the Tapajós APA, during the years 2017 and 2024, using Sentinel-2A satellite images correlated with local geology and active mining processes. The analysis employed the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) from Sentinel-2A images for 2017 and 2024, integrated into an RGB color composition, with 2017 NDVI values in the red channel (R) and 2024 values in the green (G) and blue (B) channels. Deforested areas in 2024 were highlighted in red, while regions with recent vegetation regeneration appeared in cyan. The RGB color composition was overlaid with lithological data from the Tapajós Sheet (SB.21) provided by the Geological Survey of Brazil (SGB), mining rights data from the National Mining Agency (ANM), and hydrographic information developed by IBGE. This approach enabled the identification of deforestation associated with artisanal mining expansion. The active mining processes in the study area cover a total of 2,027.406 km², representing 98.86% of the total area, distributed across six administrative phases: Availability, Research Request, Research Authorization, Mining Request, Mining Permit Request, and Mining. And three substances: gold, cassiterite and diamonds. Deforestation in the Tapajós APA primarily occurs along watercourses, with vectors advancing upstream, directly linked to alluvial artisanal mining of gold and cassiterite. The deforested areas are concentrated along the drainages of the Pacu River basin, the Centrinho sub-basin, and streams such as Cumarú and Cantagalo, where mining activity occurs both in legal artisanal mining areas and other administrative phases, suggesting that artisanal mining expansion is being conducted illegally. The lack of zoning and a management plan compromises the Tapajós APA's objectives, hindering biodiversity conservation and the sustainable use of natural resources. This study emphasizes the importance of integrating remote sensing techniques with geological data to understand the dynamics of mining activities.

Keywords: Tapajós Environmental Protection Area; Sentinel-2A; Deforestation by artisanal mining.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da Área de Proteção Ambiental do Tapajós.....	18
Figura 2 - Localização da área de estudo em relação ao Domínio Tapajós da Província Tapajós-Parima.	21
Figura 3 - Mapa Geológico da Área de Estudo.	23
Figura 4 - Representação dos regimes de aproveitamento e suas fases administrativas.....	33
Figura 5 - Garimpo de ouro na região do Alto Tapajós.....	35
Figura 6 - Curvas espectrais de alvos naturais	36
Figura 7 - Fluxograma com as principais etapas do desenvolvimento do trabalho.....	38
Figura 8 - Representação das cores primárias e secundárias do sistema RGB.	41
Figura 9 - Recorte das imagens NDVI de 2017 e 2024 e composição colorida RGB para destacar áreas sem vegetação.	42
Figura 10 - Distribuição dos direitos minerários por fase na área de estudo.	44
Figura 11 - Distribuição dos direitos minerários por substância na área de estudo.	45
Figura 12 - Direitos Minerários e Geologia da APA Tapajós.	49
Figura 13 - Recorte das imagens RGB 432 e Composição Colorida RGB com destaque para as áreas sem vegetação em vermelho e áreas com vegetação regenerada em ciano.....	51
Figura 14 - Composição Colorida RGB da área de estudo, com destaque para as áreas desmatadas pelo garimpo em vermelho.	53
Figura 15 - Composição Colorida RGB das imagens NDVI na região Norte da área de estudo.....	54
Figura 16 - Composição Colorida RGB das imagens NDVI na região Sul da área de estudo.....	55
Figura 17 - Direitos Minerários por fases e Composição Colorida RGB.	57
Figura 18 - Direitos Minerários por substâncias e Composição Colorida RGB.	59
Figura 19 - Geologia e áreas desmatadas pelo garimpo na área de estudo.	62
Figura 20 - Desmatamento na APA do Tapajós.	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação entre substâncias e fases presentes em cada unidade litoestratigráfica.....	50
Quadro 2 - Relação entre localização por setor da área de estudo, unidades litoestratigráficas e presença de desmatamento por garimpo de ouro e cassiterita por ano (destacado em cinza).....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixas espectrais utilizadas em sensoriamento remoto	36
Tabela 2 - Processos minerários por substâncias e fases na área de estudo.	46
Tabela 3 - Área em quilômetros quadrados (km ²) e porcentagem (%) por fases e substâncias.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANM - Agência Nacional de Mineração

APA - Área de Proteção Ambiental

B01 - Banda 01

B04 - Banda 04

B08 - Banda 08

B09 - Banda 09

B10 - Banda 10

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DETER - Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ESA - European Space Agency

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

IMAZON - Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

ISA - Instituto Socioambiental

MAXVER - Máxima Verossimilhança

MSI - MultiSpectral Instrument

NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

NIR - Infravermelho Próximo

PRODES - Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite

RED - Vermelho

RGB - *Red, Green, Blue*

SAD - Sistema de Alerta de Desmatamento

SGB - Serviço Geológico do Brasil

SHRIMP - *Sensitive High Resolution Ion Microprobe*

SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza

UC - Unidade de Conservação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 JUSTIFICATIVA.....	16
4 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	17
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
5.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO	19
5.1.1 Província Tapajós-Parima	20
5.1.2 Domínio Tapajós.....	22
5.1.3 Unidades Litoestratigráficas	22
5.1.3.1 Suíte Intrusiva Tropas	23
5.1.3.2 Suíte Intrusiva Parauari	24
5.1.3.3 Grupo Iriri	25
5.1.3.4 Granito Pepita	25
5.1.3.5 Suíte Intrusiva Maloquinha	26
5.1.3.6 Formação Buiucu	27
5.1.3.7 Diabásio Crepori.....	28
5.1.3.7 Depósitos Aluvionares.....	28
5.2 OURO NA PROVÍNCIA MINERAL DO TAPAJÓS	28
5.2.1 Mineralizações Primárias.....	29
5.2.2 Mineralizações Secundárias	29
5.3 CASSITERITA NA PROVÍNCIA MINERAL DO TAPAJÓS	30
5.4 PROCESSOS MINERÁRIOS.....	30
5.5 ATIVIDADE GARIMPEIRA NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO TAPAJÓS	33
5.6 SENSORIAMENTO REMOTO	35
5.6.1 Comportamento espectral de alvos naturais	36
5.6.2 Sentinel-2	37
6. MATERIAIS E MÉTODOS	38
6.1 AQUISIÇÃO DOS DADOS VETORIAIS.....	39
6.2 AQUISIÇÃO DAS IMAGENS SENTINEL-2.....	39
6.3 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS SENTINEL-2.....	40
6.3.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (<i>Normalized Difference Vegetation Index</i> - NDVI)	40
6.3.2 Composição Colorida RGB.....	40
6.4 PROCESSAMENTO DA CAMADA DE PROCESSOS MINERÁRIOS.....	43
6.5 INTEGRAÇÃO DOS DADOS.....	43
7. RESULTADOS.....	44
7.1 PROCESSOS MINERÁRIOS.....	44

7.2 PROCESSOS MINERÁRIOS E GEOLOGIA	47
7.3 COMPOSIÇÃO COLORIDA RGB PARA REALCE DE ÁREAS DESMATADAS PELO GARIMPO	51
7.4 PROCESSOS MINERÁRIOS E ÁREAS DESMATADAS PELO GARIMPO NA APA TAPAJÓS	55
7.5 GEOLOGIA E ÁREAS DESMATADAS PELO GARIMPO	60
8. DISCUSSÕES	63
8.1 PROCESSOS MINERÁRIOS E GEOLOGIA	63
8.2 AVANÇO DO DESMATAMENTO CAUSADO PELO GARIMPO EM DEPÓSITOS ALUVIONÁREES	64
8.3 SUBSTÂNCIAS CASSITERITA, OURO E DIAMANTE E O DESMATAMENTO POR GARIMPO	64
8.4 FASES DOS PROCESSOS MINERÁRIOS E O DESMATAMENTO POR GARIMPO	65
8.5 DESMATAMENTO NA APA TAPAJÓS	65
9. CONCLUSÃO	67
REFERÊNCIAS	68

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia Legal, instituída inicialmente pela Lei 1.806, 6 de janeiro de 1953, tem como objetivo a delimitação geopolítica para a aplicação de políticas de soberania territorial e econômica para a promoção de seu desenvolvimento (IBGE, 2020). Esta vasta região abrange uma área de 5.015.067,749 km², o que representa cerca de 58,9% do território total do Brasil, estimado em 8.510.295,914 km² (IBGE, 2020).

De forma a proteger e preservar áreas naturais, garantindo a conservação da biodiversidade, dos recursos naturais e dos serviços ecossistêmicos, as Unidades de Conservação (UC) são criadas, as quais são reguladas pela Lei Federal nº 9.985/2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), estabelecendo critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação. De acordo com a Lei nº 9.985/2000, uma unidade de conservação é caracterizada como um espaço territorial e seus recursos ambientais que possui relevância natural, estabelecido legalmente pelo Poder Público, com o propósito de conservação e limites definidos. Além disso, o conceito de uso sustentável, conforme a mesma lei, se refere à exploração do ambiente de forma que garanta a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, enquanto preserva a biodiversidade e outros atributos ecológicos, de maneira socialmente justa e economicamente viável.

Por meio do Decreto de 13 de fevereiro de 2006 estabeleceu-se a criação da Área de Proteção Ambiental (APA) do Tapajós localizada nos Municípios de Itaituba, Jacareacanga, Novo Progresso e Trairão, no Estado do Pará, com uma área de 20.395,81 km². Com o objetivo de assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais e ocupação, e proteger a diversidade biológica. Contudo, de acordo com dados gerados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por meio do Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real (DETER) a APA do Tapajós corresponde a uma das Áreas de Proteção Ambiental com maiores taxas de desmatamento relacionado à mineração.

Os programas DETER e o Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES), conduzidos pelo INPE, empregam técnicas de sensoriamento remoto para monitorar extensas áreas. A fotointerpretação de imagens de satélites periódicos permite a detecção de áreas degradadas, possibilitando uma avaliação abrangente da extensão e dinâmica do desmatamento.

A partir do conhecimento das taxas de desmatamento, é possível utilizá-las como indicadores para a proposição de políticas públicas (INPE, 2021). Além disso, esse monitoramento permite uma melhor fiscalização pelos órgãos ambientais, resultando em menor tempo de resposta para a tomada de medidas, o que é de extrema importância em casos como o garimpo, que gera grandes danos.

Conforme apontado por Fearnside (2006), o controle efetivo do desmatamento se revela crucial para evitar os prejuízos decorrentes da perda de floresta, entre os quais se incluem a redução da biodiversidade, a perda de oportunidades de uso sustentável dos recursos florestais, as alterações no ciclo hidrológico e a emissão de gases de efeito estufa. Dessa forma a importância da conservação da Amazônia adotando-se medidas eficazes de proteção e mitigação, é crucial não apenas para a sustentabilidade ambiental, mas também para a estabilidade climática global.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o avanço do desmatamento causado pelo garimpo na APA do Tapajós, a norte do município de Jacareacanga, PA, a partir das imagens orbitais do Sentinel-2A dos anos 2017 e 2024.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

I. Determinar se houve ou não o avanço de áreas desmatadas por garimpo de 2017 a 2024.

II. Analisar e correlacionar o avanço de áreas desmatadas por garimpo à geologia do local e aos processos minerários ativos.

3 JUSTIFICATIVA

De acordo com o Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon), por meio de dados do Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD), entre agosto de 2021 a julho de 2022 o Pará foi apontado como o estado que mais desmatou entre os nove estados da região amazônica. Além disso, foi destacado que parte das áreas detectadas foram em áreas protegidas como Terras Indígenas e Unidades de Conservação (Amorim *et al.*, 2022).

Uma das principais causas do aumento da taxa de desmatamento no estado do Pará se deve a atividade garimpeira. Ao longo do período de 1991 a 2000 a produção aurífera oficial dos garimpos da região do Rio Tapajós representou aproximadamente 70% da produção garimpeira do Pará e cerca de 52,5% da produção da Amazônia (Veiga *et al.*, 2002). A garimpagem de ouro na Amazônia envolve principalmente a extração de minérios em depósitos aluvionares, coluvionares ou eluvionares, utilizando-se do mercúrio, ignorando-se os danos ambientais e ocupacionais causados pelo mesmo (Veiga *et al.*, 2002). Além disso, de acordo com Veiga *et al.* (2002), os impactos físicos e biológicos da garimpagem são expressivos e, causam processos como: i) destruição da capa vegetal e de solos, ii) assoreamento de rios, e iii) erosão em margens de rios carreando sólidos em suspensão e mercúrio associado a matéria orgânica para o sistema de drenagem gerando contaminação.

A APA Tapajós está contida na denominada Província Mineral do Tapajós, tendo ocorrido o desenvolvimento de garimpo no local entre as décadas de 80 e 90. A província foi responsável por uma grande parcela de ouro lavrado no Brasil entre 70 e 80, dados registrados oficialmente revelam uma produção acumulada de ~225 t em garimpos até 1995 (Juliani *et al.*, 2014). Diante da constante garimpagem iniciada desde a década de 70, e sua continuidade, a utilização de sensoriamento remoto de forma a auxiliar na rápida identificação de áreas degradadas por garimpo, é de grande relevância para a preservação dos ecossistemas aquáticos e bacias hidrográficas da Amazônia (Simionato, 2019).

Dessa forma, o trabalho proposto busca analisar o avanço do desmatamento causado pelo garimpo na APA do Tapajós nos anos de 2017 a 2024 utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento em imagens multiespectrais do Sentinel-2A.

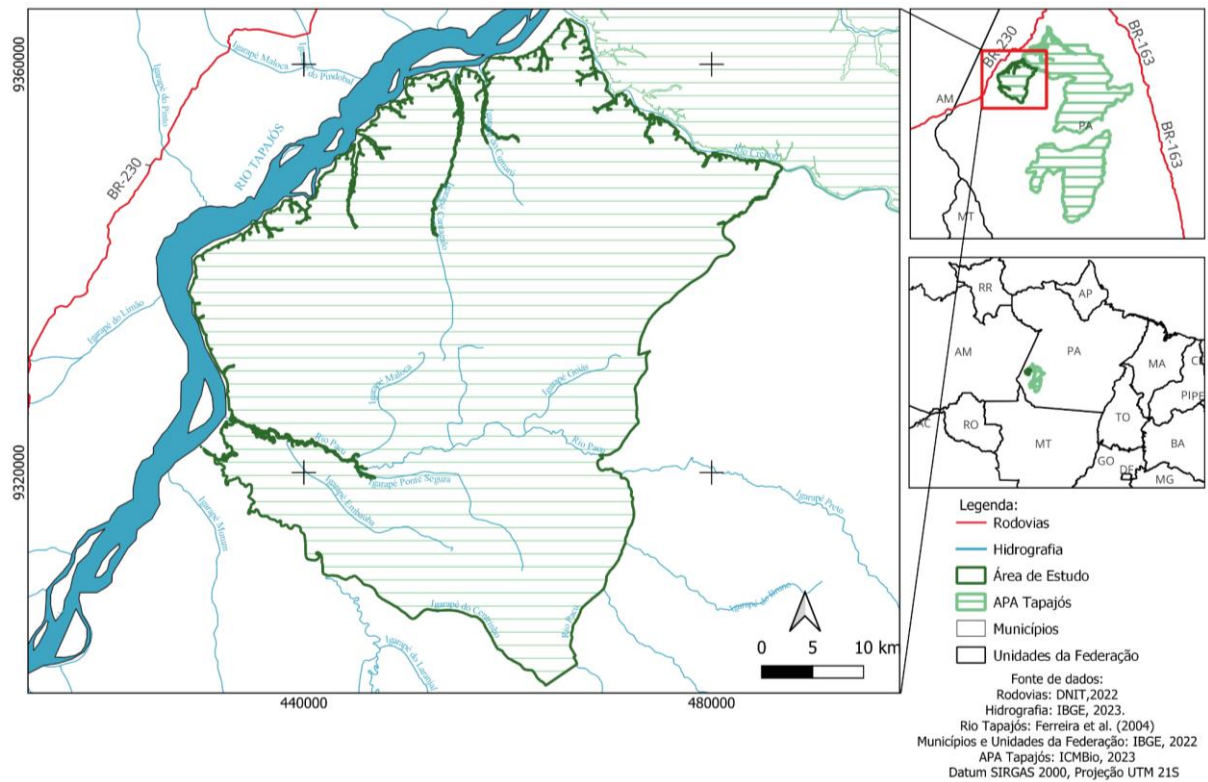
4 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A Área de Proteção Ambiental (APA) do Tapajós foi instituída pelo Decreto de 13 de fevereiro de 2006, e é definida como uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável. A APA Tapajós está localizada nos municípios de Itaituba, Jacareacanga, Novo Progresso e Trairão, no Estado do Pará e se encontra próxima a divisa entre os estados do Amazonas e Mato Grosso.

A área de estudo está contida a NW da APA do Tapajós no município de Jacareacanga (Figura 1) e corresponde a 2.050,757 km² (13,84%) em relação à área total da APA. Na região encontram-se duas rodovias federais, a oeste a BR-230 e a leste a BR-163. O melhor acesso a APA se dá pela Estrada Transgarimpeira a partir da BR-163, sendo o acesso terrestre mais próximo.

A APA do Tapajós tem seu território total contido na Bacia Hidrográfica do Tapajós e sub-bacias do Rio Jamanxim e do Rio Crepori. A área de estudo, em específico, está completamente inserida na sub-bacia do Rio Crepori. Seus principais cursos d'água são o Rio das Tropas, com seu afluente Igarapé do Centrinho, o Rio Pacu e seus afluentes, os igarapés Embaúba, Maloca, Ponte Segura, e Goiás. Além do Igarapé Cantagalo e Igarapé do Cumarú, que desembocam diretamente no Rio Tapajós.

Figura 1 - Mapa de localização da Área de Proteção Ambiental do Tapajós.



Fonte: elaboração própria.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO

O Cráton Amazônico inserido na Plataforma Sul-Americana (Almeida; Hasui, 1984) é uma das maiores áreas cratônicas do mundo. É dividido em dois escudos, o do Guaporé e das Guianas, e separado pela Bacia paleozóica do Amazonas. Os limites do Cráton Amazônico se dão por cinturões orogênicos neoproterozóicos Tucavaca, na Bolívia, Araguaia-Cuiabá e Tocantins, no Brasil (Tassinari; Macambira, 2004).

Tassinari e Macambira (2004) dividem em duas grandes linhas de concepção evolutiva as diversas propostas sobre a tectônica do cráton. A primeira linha baseada em autores como Amaral (1974), Issler (1977), Almeida (1978), Hasui *et al.* (1984) e Costa e Hasui (1997), propõem que a tectônica pré-cambriana do cráton é caracterizada por processos de reativação de plataforma e formação de blocos continentais ou paleoplacas por meio de retrabalhamento da crosta continental no Arqueano e Paleoproterozóico, e que durante o Mesoproterozóico teriam ocorrido apenas processos de reativação e/ou retrabalhamento de rochas preexistentes.

A segunda linha de concepção evolutiva do cráton foi inicialmente proposta por Cordani *et al.* (1979), seguida e modificada por Tassinari (1981), Cordani e Brito Neves (1982), Teixeira *et al.* (1989), Tassinari *et al.* (1996), Tassinari (1996) e Tassinari e Macambira (2004), propõem que durante o Arqueano, Paleo e Mesoproterozóico, teria ocorrido a formação de uma sucessão de arcos magmáticos envolvendo material juvenil, derivado do manto, como também processos subordinados de retrabalhamento crustal.

Segundo Tassinari e Macambira (2004) a segunda linha é mais fortemente suportada devido ao acervo geocronológico disponível e o avanço do conhecimento geológico em áreas chaves da Amazônia. Os trabalhos que apoiam essa hipótese são os de Tassinari e Macambira (1999), Tassinari *et al.* (2000) e Santos *et al.* (2000), este último se difere acerca dos limites das províncias geocronológicas e dos intervalos temporais das orogenias, interpretando como um cinturão orogênico paleoproterozóico.

Segundo Tassinari e Macambira (1999), o Cráton Amazônico divide-se em seis províncias geocronológicas, a Província Amazônia Central (2,5 Ga), Província

Maroni-Itacaiúnas (2,25-2,0 Ga); Província Ventuari-Tapajós (1,95-1,8 Ga); Província Rio Negro-Juruena (1,8-1,55 Ga), Província Rondoniana-San Ignacio (1,55-1,3 Ga) e Província Sunsás (1,3-1,0 Ga).

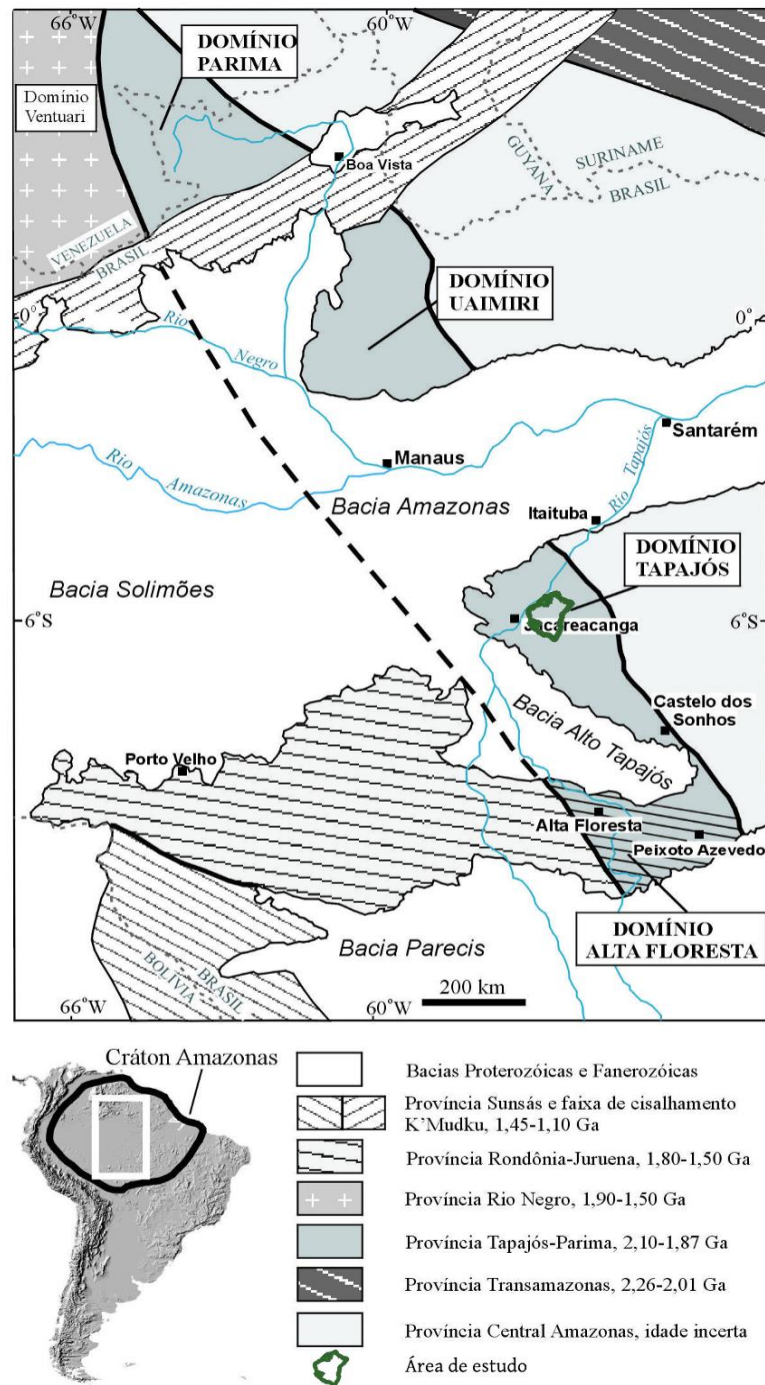
Santos *et al.* (2000) a partir de datações geocronológicas U-Pb em zircões (método convencional e SHRIMP) e dados isotópicos de Sm-Nd sugerem uma divisão em oito províncias geotectônicas para os terrenos pré-cambrianos do Cráton Amazônico, são elas, a Província Carajás-Imataca (3,10-2,53 Ga); Província Transamazônica (2,25-2,00 Ga); Província Tapajós-Parima (2,01-1,87 Ga); Província Amazônia Central (1,88-1,70 Ga); Província Rio Negro (1,86-1,52 Ga); Província Rondônia - Juruena (1,75-1,47 Ga); Província K'Mudku (1,25-1,10 Ga), Província Sunsás (1,20-0,99 Ga).

A área de estudo está inserida na Província Ventuari-Tapajós (1,95-1,80 Ga) de Tassinari e Macambira (1999) e na Província Tapajós-Parima (2,03-1,86 Ga) de Santos *et al.* (2000).

5.1.1 Província Tapajós-Parima

Santos *et al.* (2001) divide a Província Tapajós-Parima nos domínios Tapajós e Alta Floresta ao sul da Bacia do Amazonas, e nos domínios Parima e Uaimiri, localizados ao norte (Figura 2). Os quatro domínios apresentam as mesmas características principais: i) em relação a evolução durante o Período Orosiriano do Paleoproterozóico de 2.030 a 1.870 Ga (); ii) apresentam *trend* norte-noroeste; iii) ocorrem principalmente rochas magmáticas cálcio-alcálicas e com menor frequência sequências de rochas metassedimentares; e iv) metalogenia do ouro semelhante (Santos *et al.*, 2001).

Figura 2 - Localização da área de estudo em relação ao Domínio Tapajós da Província Tapajós-Parima.



Fonte: adaptado de Santos *et al.* (2001).

5.1.2 Domínio Tapajós

O Domínio Tapajós é um segmento meridional da Província Tapajós-Parima, recoberto a norte e a sul respectivamente pelas bacias fanerozóicas do Amazonas e Alto Tapajós (Vasquez *et al.*, 2008a).

São dois os principais modelos evolutivos para o Domínio Tapajós. Santos *et al.* (2000, 2001, 2004) propõem o modelo de evolução por acreção de sucessivos arcos magmáticos entre 2050 e 1877 Ma.

Vasquez *et al.* (2008a) não adota este modelo em seus estudos devido a carência de dados que comprovem a existência de diversos arcos magmáticos na província. O modelo proposto por Vasquez *et al.* (2002), considera um único arco magmático orosiriano ($< 2,0$ Ga) e a geração de pulsos magmáticos pós-colisionais sucessivos, estendendo-se ao estágio pós-orogênico, a aproximadamente 1,88 Ga, seguido da formação de riftes continentais paleoproterozóicos (orosirianos/estaterianos) em eventos francamente extensionais (tafrogênese).

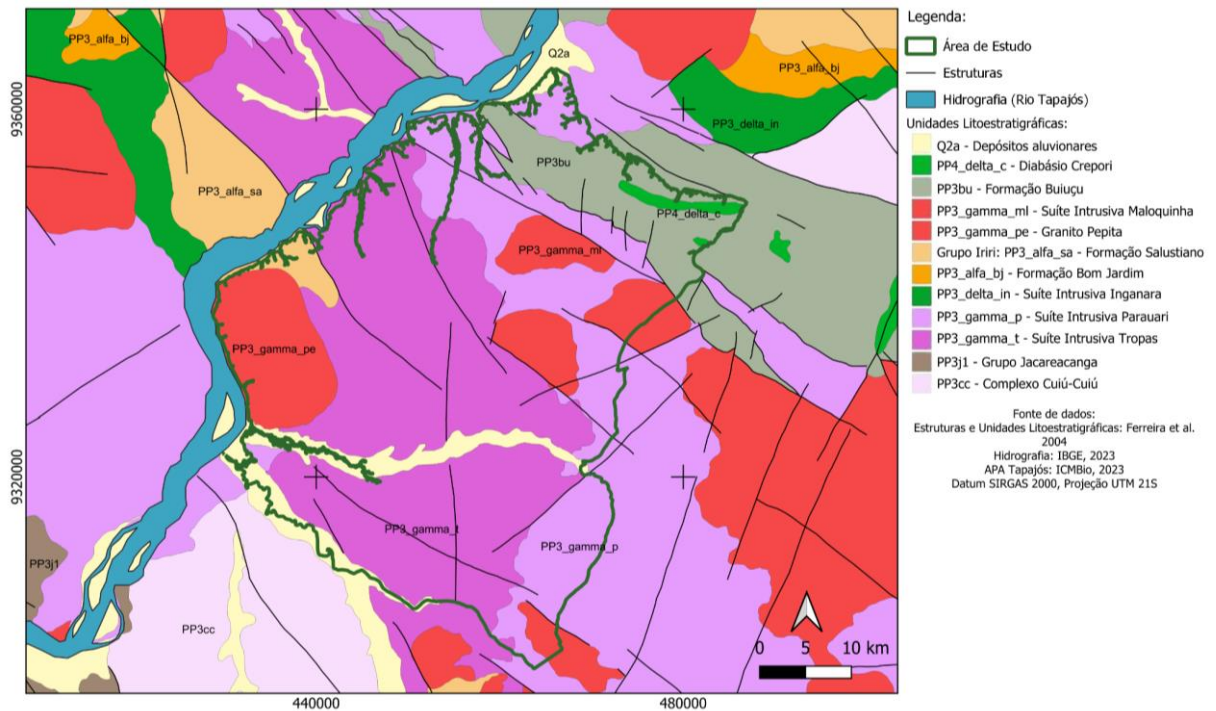
Segundo Vasquez *et al.* (2008a), no Domínio Tapajós ocorrem associações tectônicas de um orógeno orosiriano formado por meio da colisão de um arco de ilha (Arco Cuiú-Cuiú), ao continente durante a Orogênese Cuiú-Cuiú. Ainda de acordo com Vasquez *et al.* (2008a) os pulsos magmáticos pós-colisionais são reunidos em associações tardi a pós-orogênicas que se diferenciam em relação às da implantação dos tafrógenos do final do Orosiriano e início do Estateriano.

O Domínio Tapajós possui orientação na direção NW-SE, refletindo as falhas principais e zonas de cisalhamento transcorrentes, responsáveis por terem controlado o posicionamento da maioria das intrusões ígneas e depósitos vulcânicos mais evoluídos, tardi a pós-orogênicos (Juliani *et al.*, 2014).

5.1.3 Unidades Litoestratigráficas

Ao todo, 8 unidades litoestratigráficas da Província Tapajós-Parima compõem a APA do Tapajós na área de estudo (Figura 3).

Figura 3 - Mapa Geológico da Área de Estudo.



Fonte: Modificado de Ferreira *et al.* (2004).

5.1.3.1 Suíte Intrusiva Tropas

Segundo Almeida *et al.* (2000) e Ferreira *et al.* (2000) parte dos granitóides que afloram no Rio Tropas, na porção oeste do Domínio Tapajós pertencem ao Complexo Cuiú-Cuiú. Posteriormente, Santos *et al.* (2001) e Santos *et al.* (2004) designaram como Suíte Tropas, baseando-se na origem ígnea das biotitas e na idade mais jovem em relação à unidade anteriormente designada, idade esta que varia entre 1907 ± 9 e 1892 ± 6 Ma, pelo método U-Pb em zircão e titanita.

O termo Suíte Intrusiva Tropas foi definido por Ferreira *et al.* (2004) para os tonalitos, quartzo dioritos, granodioritos, monzogranitos, andesitos e basaltos identificados na região. Ademais, o mesmo estudo interpreta que a Suíte Intrusiva Tropas foi desenvolvida em ambiente de arco de ilha a aproximadamente 1,9 Ga, devido a identificação de assinatura cálcio-alcalina das rochas.

5.1.3.2 Suíte Intrusiva Parauari

Inicialmente corpos graníticos do embasamento metamórfico do Domínio Tapajós foram denominados de Granito Pajuari por Santos *et al.* (1975). Posteriormente, foi elevado a hierarquia de Suíte Intrusiva Parauari por Brito (2000a) devido ao mapeamento de outras ocorrências desta unidade como nos estudos de Pessoa *et al.* (1977) e Melo *et al.* (1980).

De acordo com Vasquez *et al.* (2008b) os plútons e batólitos da Suíte Intrusiva Parauari apresentam formas irregulares e orientação NW-SE, segundo trend regional.

Segundo os trabalhos de Brito (2000a), Vasquez *et al.* (2000b), Bahia e Quadros (2000) são identificadas duas fácies petrográficas na Suíte Intrusiva Parauari: uma granodiorítica e outra granítica.

Na fácies granodiorítica predominam granodioritos equi e inequigranulares, de granulação média, leucocráticos, de cor cinza e com presença de biotita e hornblenda; e de forma subordinada há ocorrência de monzogranitos, tonalitos e quartzo monzonitos. Além disso, os granitóides são isótopos, mas nas zonas afetadas por cisalhamento NW-SE apresentam foliação protomilonítica (Vasquez *et al.*, 2008b).

Na fácies granítica predominam monzogranitos e sienogranitos com biotita e hornblenda, ocorrendo tipos inequigranulares, de granulação média a grossa, e porfíricos, de granulação média e localmente com textura rapakivi. No geral são isótopos, localmente os fenocristais de feldspatos e biotita apresentam orientação tênue evidenciando o fluxo magmático, e de forma rara há ocorrência de foliação protomilonítica (Vasquez *et al.*, 2008b).

Pelo método de evaporação de Pb e U-Pb em zircão foram obtidas idades de cristalização entre 1891 ± 3 e 1879 ± 11 Ma (Brito *et al.*, 1999, Santos *et al.*, 2000, 2001, 2004, Vasquez *et al.*, 2000b).

As rochas da Suíte Intrusiva Parauari ocorrem como corpos intrusivos no Complexo Cuiú-Cuiú e na Suíte Intrusiva Creporizão, e cortados ou seccionados por granitos da Suíte Intrusiva Maloquinha e gabros da Suíte Intrusiva Ingarana (Vasquez *et al.*, 2008b).

5.1.3.3 Grupo Iriri

A Formação Iriri inicialmente cunhada por Forman *et al.* (1972), refere-se às rochas vulcânicas e vulcanoclásticas de ocorrência predominante no Domínio Iriri-Xingu, mas também se estendem para o Domínio Tapajós.

Posteriormente, a formação foi elevada a grupo por Pessoa *et al.* (1977), subdividindo-o em Formação Aruri e Formação Salustiano, esta última presente na área de estudo, na qual predominam derrames de rochas vulcânicas félsicas.

No Domínio Tapajós estas rochas foram intrudidas pelos granitos da Suíte Intrusiva Maloquinha e Granito Porquinho. Essas interações intrusivas são caracterizadas por apófises graníticas, *stockwork* e zonas de alterações hidrotermais (Almeida *et al.*, 2000, Bahia; Quadros 2000, Vasquez *et al.*, 2000a, b, Lamarão *et al.*, 2002).

A Formação Salustiano de acordo com Bahia e Quadros (2000) é composta por riolitos, riodacitos e dacitos, pórfiros e porfiríticos, geralmente isótipos, com fenocristais e microfenocristais de feldspato alcalino, plagioclásio, quartzo, biotita e hornblenda, em matriz afanítica ou microcristalina.

Os riolitos e ignimbritos do Grupo Iriri presentes no Domínio Tapajós forneceram idades de cristalização por evaporação de Pb e U-Pb em zircão entre 1890 ± 6 e 1870 ± 8 Ma (Dall'Agnol *et al.*, 1999, Moura *et al.*, 1999, Vasquez *et al.*, 1999, Santos *et al.*, 2001, Lamarão *et al.*, 2002).

5.1.3.4 Granito Pepita

O Granito Pepita ocorre como um batólito granítico de forma elipsoidal com orientação NNW-SSE. Anteriormente estava incluído na Suíte Intrusiva Maloquinha (Melo *et al.*, 1980), mas recebeu uma nova denominação por Brito (2000a) baseado na ocorrência de anfibólios e piroxênios sódicos.

Esta unidade é composta por granitos feldspato alcalinos, hololeucocráticos, de coloração rosa avermelhada e creme, equigranulares de granulação média (Vasquez *et al.*, 2008b).

A assinatura geoquímica do Granito Pepita é subalcalina a alcalina (tipo A), de ambiente intraplaca continental (Brito, 2000b). A idade do Granito Pepita é de $1872 \pm$

4 Ma, apresentada por Santos *et al.* (2004) e obtida pelo método U-Pb SHRIMP em zircão.

5.1.3.5 Suíte Intrusiva Maloquinha

Santos *et al.* (1975) propuseram a denominação Granito Maloquinha para os corpos graníticos circulares distribuídos de forma ampla no Domínio Tapajós. Corpos similares foram mapeados em diversos trabalhos posteriores, e Andrade *et al.* (1978) propuseram a denominação de Suíte Intrusiva Maloquinha.

Estes granitos ocorrem como batólitos e *stocks* com formas circulares, elipsoidais a irregulares, em geral com orientações que variam de N-S a NW-SE. As rochas graníticas da Suíte Intrusiva Maloquinha cortam as rochas do complexo Cuiú-Cuiú e da Suíte Intrusiva Creporizão, e são observadas ainda relações de intrusão com o Grupo Iriri e a Suíte Intrusiva Parauari. A Suíte Intrusiva Maloquinha é cortada por diques de lamprófiros e andesitos da Formação Bom Jardim (Vasquez *et al.*, 2008b).

Segundo Vasquez *et al.* (2008b) nesta unidade ocorrem principalmente sienogranitos, granitos leucocráticos, vermelho e rosa, isótropo, equigranular de granulação média, mas com ocorrência de tipos com granulação fina a grossa, porfíricos e inequigranulares. De forma subordinada há ocorrência de monzogranitos e de forma rara quartzo sienitos e quartzo monzonitos.

Conforme os estudos de Brito (2000a), Vasquez *et al.* (2000a, b) Bahia e Quadros (2000) é possível distinguir os corpos em duas fácies distintas por meio dos minerais varietais biotita e anfibólio. Vasquez *et al.* (2008b) descreve a fácies com biotita como composta por leucosienogranitos rosados e subordinados feldspato-alcalino granitos e leucomonzogranitos. Na fácies com anfibólio predominam anfibólio-biotita sienogranitos e monzogranitos e de forma subordinada quartzo sienitos e quartzo monzonitos com anfibólio e biotita, coloração acinzentada a avermelhada e com teor de máficos de 5 a 10%.

Os granitos desta suíte possuem afinidade alcalina (tipo A), a qual é típica de ambientes extensionais intracontinentais (Brito *et al.*, 1997, Vasquez *et al.*, 2002, Lamarão *et al.*, 2002).

Pessoa *et al.* (1977) apontaram diversas ocorrências de cassiterita, eventualmente associada a columbita-tantalita, topázio e turmalina. Essas ocorrências

estão relacionadas aos pláceres de igarapés que drenam regiões onde afloram os granitóides Maloquinha e Porquinho.

Vasquez *et al.* (1999) e Lamarão *et al.* (2002) a partir do método de evaporação de Pb em zircão obtiveram idades de cristalização de 1882 ± 4 e 1880 ± 9 Ma. Santos *et al.* (2001) obteve idades pelo método U-Pb em zircão entre 1877 ± 12 e 1864 ± 18 Ma, identificando populações de cristais de zircão herdados de idades neoarqueanas a orosirianas.

5.1.3.6 Formação Buiucu

De acordo com Almeida *et al.* (2000), Ferreira *et al.* (2000), Bahia e Quadros (2000) e Vasquez *et al.* (2000b) as rochas sedimentares siliciclásticas proterozóicas do Domínio Tapajós receberam diferentes denominações em trabalhos anteriores, sendo correlacionadas a diversas unidades litoestratigráficas, até por fim serem reunidas na Formação Buiucu.

O segmento aflorante mais expressivo da Formação Buiucu está localizado na bacia do Rio Crepori, estendendo-se a noroeste e aflorando ao longo dos igarapés Coatá Grande e Coatá Pequeno (Vasquez *et al.*, 2008b). Este segmento constitui uma bacia sigmoidal, controlada por falhas extensionais e transcorrentes, com orientação WNW-ESE e NWSE, onde o acamamento mergulha entre 5° e 35° para N e NE (Vasquez *et al.*, 2008b).

De acordo com Vasquez *et al.* (2008b), nesta bacia predominam arcóseos, arcóseos líticos e arenitos ortoquartzíticos, com conglomerados polimíticos, siltitos e argilitos subordinados. Esta unidade foi intrudida por diques e soleiras do Diabásio Crepori, datado em 1780 ± 7 Ma por Santos *et al.* (2002), o que sugere que os sedimentos da formação foram depositados antes do Estateriano.

Bahia *et al.* (2001) sugerem ambiente continental de deposição para as rochas da formação, baseados na baixa maturidade mineralógica e textural e nas estruturas primárias identificadas.

5.1.3.7 Diabásio Crepori

As intrusões de diabásio inicialmente foram designadas como *Sill* Crepori por Pessoa *et al.* (1977). Posteriormente essas intrusões foram denominadas como Diabásio Crepori por Santos e Loguércio (1984).

Segundo Vasquez *et al.* (2008b) o Diabásio Crepori ocorre como soleiras de orientação E-W e diques N10°E, com espessuras entre 10 e 50 m.

São diabásios, olivina diabásios e micrograbos, melanocráticos, de cor preta e cinza esverdeado, em geral microgranulares e isotrópicas, textura ofítica e subofítica, compostos por pigeonita, augita, plagioclásio andesítico, olivina, minerais opacos (óxidos de Fe-Ti), hornblenda, tremolita, actinolita, antigorita e clorita. Quartzos e feldspatos alcalinos ocorrem em intercrescimentos micrográficos, como substituição pseudomórfica das olivinas e piroxênios. Uma assinatura alcalina foi identificada para as rochas do Diabásio Crepori por Monteiro (2000), porém a ocorrência de quartzo indica uma afinidade de quartzo toleítica, típica de basaltos toleíticos continentais. Foi obtida por Santos *et al.* (2002) idade de cristalização de 1780 ± 7 Ma por U-Pb SHRIMP em baddeleyita.

5.1.3.7 Depósitos Aluvionares

A idade dos depósitos aluvionares variam do Pleistoceno ao recente (Pessoa *et al.*, 1977; Bizinella *et al.*, 1980). Ao longo dos rios principais como Tapajós, Crepori, Tropas, entre outros, é expressiva a ocorrência de depósitos aluvionares. A unidade é composta por sedimentos aluvionares arenosos e argilosos, com níveis de cascalho (Coutinho, 2008).

Esta unidade é significativa na produção de ouro na região do Tapajós, atingindo 159 toneladas de ouro aluvionar entre 1959 a 1996 (Coutinho, 2008).

5.2 OURO NA PROVÍNCIA MINERAL DO TAPAJÓS

A região do Tapajós é uma das principais regiões auríferas do Brasil, se destacando nos depósitos primários de ouro associados com a prata e com metais base, principalmente o cobre (Juliani *et al.*, 2014). De acordo com Klein e Carvalho (2008) o garimpo de ouro assumiu grande importância e produtividade nos depósitos

aluvionares da região do Tapajós a partir de 1958, tendo produzido após 50 anos até cerca de 700 toneladas de Au.

Há atividade garimpeira de forma mecanizada em depósitos filonianos de alto teor, porém, historicamente a produção majoritária da província se dá por garimpo em depósitos secundários (Juliani *et al.*, 2014).

5.2.1 Mineralizações Primárias

Klein *et al.* (2001) define como principais mineralizações primárias auríferas os veios de quartzo (mineralização filoniana) e *stockworks* (com disseminações). De forma mais detalhada, o estudo especifica cinco subtipos de mineralizações filonianas:

- i) veios de quartzo simples, que consistem em apenas um sistema, com associação a falhas/fraturas de cisalhamento ou extensionais, ocorre de forma predominante em relação aos demais subtipos;
- ii) veios de quartzo conjugado, com dois ou mais sistemas de veios conjugados ou extensionais;
- iii) veios de quartzo e disseminações associadas à regime rúptil-dúctil a dúctil;
- iv) disseminações em zonas de alteração hidrotermal, formadas a partir de substituição metassomática da rocha hospedeira; e
- v) brechas hidrotermais.

Os *stockworks* (e disseminações) consistem em um conjunto de finos veios de quartzo que cortam a rocha hospedeira em várias direções. O hidrotermalismo associado à formação de *stockworks* pode se restringir a estreitos halos em torno das vênulas ou também atingir grandes volumes da rocha encaixante (Klein *et al.*, 2001).

5.2.2 Mineralizações Secundárias

Klein *et al.* (2001) apresenta três formas de mineralizações auríferas secundárias: i) aluviões auríferos; ii) plácer aluvionar ou coluvionar; e iii) residual e/ou lateríticos. A mineralização aurífera secundária do tipo aluviões auríferos e plácer aluvionar, se distribuem em todas as unidades litoestratigráficas que contêm mineralizações primárias, como o Complexo Cuiú-Cuiú e as Suítes Intrusivas

Creporizão, Parauari e Maloquinha. Esses depósitos apresentam portes variados, desde pequenos aluviões a depósitos com até 30 m de espessura. Durante décadas, foram responsáveis pela maior parte da produção aurífera da Província Mineral do Tapajós. Atualmente tal produção se encontra em declínio, porém foi de grande importância para o conhecimento dos jazimentos primários.

O ouro em mineralizações secundárias do tipo residual e/ou laterítico é encontrado em perfis lateríticos que se desenvolveram sobre todos os litotipos que hospedam mineralizações primárias, estes perfis são extensos horizontalmente e têm espessura variável de poucos metros a 50 m (Klein *et al.*, 2001).

5.3 CASSITERITA NA PROVÍNCIA MINERAL DO TAPAJÓS

Os principais indícios de cassiterita, identificados por meio de concentrados de bateia e análises químicas de rocha total, estão localizados em áreas dominadas pelos granitóides Maloquinha, Porquinho, Pepita, e Igarapé Escondido. Além disso, esses indícios também ocorrem em rochas vulcânicas riolíticas e dacíticas pertencentes ao Grupo Iriri (Pessoa *et al.*, 1977; Prazeres *et al.*, 1979; Almeida, 2000a, b).

Santos *et al.* (1975) descreveram a presença de garimpos ativos de cassiterita aluvionar nos rios Surubim, Jamanxim e Tropas. Posteriormente foram descritos por Ferreira *et al.* (2000) garimpos aluvionares inativos onde a cassiterita foi lavrada como subproduto do ouro na bacia do igarapé Santo Antônio, afluente do rio Tropas, em área de afloramento do Granito Caroçal. Ao longo do Domínio Tapajós, indícios de mineralização sempre associados a aluviões recentes, foram apresentados por Pessoa *et al.* (1977) e Almeida *et al.* (2000).

5.4 PROCESSOS MINERÁRIOS

No Brasil a disponibilidade de áreas para mineração é regulada pelo Código de Mineração (Decreto-Lei n.º 227/1967, que deu nova redação ao Código de Minas, Decreto-lei nº 1.985/1940). Pela Lei n.º 13.575, de 26 de dezembro de 2017, é atribuída à Agência Nacional de Mineração (ANM) a competência para estabelecer os requisitos e critérios de julgamento para a disponibilidade de áreas, conforme

diretrizes fixadas pela própria ANM. Hoje é o Decreto n.º 9.406, de 12 de junho de 2018, que regulamenta o Código de Mineração.

De forma simplificada, processos minerários são polígonos que delimitam a área onde uma pessoa ou empresa possui a prioridade e o direito exclusivo de explorar e comercializar substâncias minerais de valor econômico dentro de seus limites. Essa área, ao ser registrada na Agência Nacional de Mineração (ANM), recebe um número identificador único, transformando-se em um processo administrativo regulado por essa entidade (Noronha, 2019).

Cada processo minerário segue uma sequência obrigatória de procedimentos administrativos, regulamentados por leis e resoluções, que permitem aos órgãos responsáveis gerenciar e fiscalizar as atividades de mineração em todo o território nacional. Dessa forma, torna-se possível controlar o aproveitamento dos recursos minerais, promovendo uma exploração de forma controlada e sustentável (Noronha, 2019).

De acordo com o Decreto n.º 9.406, de 12 de junho de 2018, são cinco os regimes de aproveitamento dos recursos minerais:

i) de autorização, destinado às atividades de pesquisa mineral, outorgada por meio da ANM; neste regime a primeira etapa é o requerimento de autorização de pesquisa da área de interesse, sendo aprovada, ao final da pesquisa o titular deverá apresentar à ANM o relatório final dos trabalhos de pesquisa realizados, resultando na aprovação ou não do mesmo.

ii) de concessão, destinado às atividades de lavra mineral precedidas de pesquisa, outorgado por ato do Ministro de Estado de Minas e Energia ou da ANM; ou seja, após o processo do regime de autorização, se aprovado o relatório final o titular tem um ano para requerimento de concessão de lavra, sendo necessário a apresentação do licenciamento ambiental, para em seguida obter a concessão de lavra.

iii) de licenciamento, outorgado por licença expedida conforme regulamentos administrativos locais e por registro da licença na ANM; segue o disposto na Lei nº 6.567, de 1978, é destinado às atividades de lavra de substâncias minerais de emprego imediato na construção civil como areias, cascalhos, saibros, argilas e rochas britadas, e com área máxima de 50 hectares.

iv) de permissão de lavra garimpeira, destinado à atividade de lavra mineral prevista na Lei nº 7.805, de 1989, outorgada por título expedido pela ANM; refere-se

ao aproveitamento imediato de um jazimento mineral que, devido à sua natureza, dimensão, localização e viabilidade econômica, possa ser extraído sem a necessidade de prévias atividades de pesquisa. Necessita de prévio licenciamento ambiental e a permissão vigorará até cinco anos, sendo possível a renovação. Em relação a área permissionada é de até no máximo 50 hectares, salvo quando outorgada a cooperativa de garimpeiros, que são no máximo 10.000 hectares. Se encaixam neste regime os minerais garimpáveis, como o ouro, diamante, cassiterita, columbita, tantalita, wolframita, entre outros, nas formas aluvionar, eluvionar e coluvial.

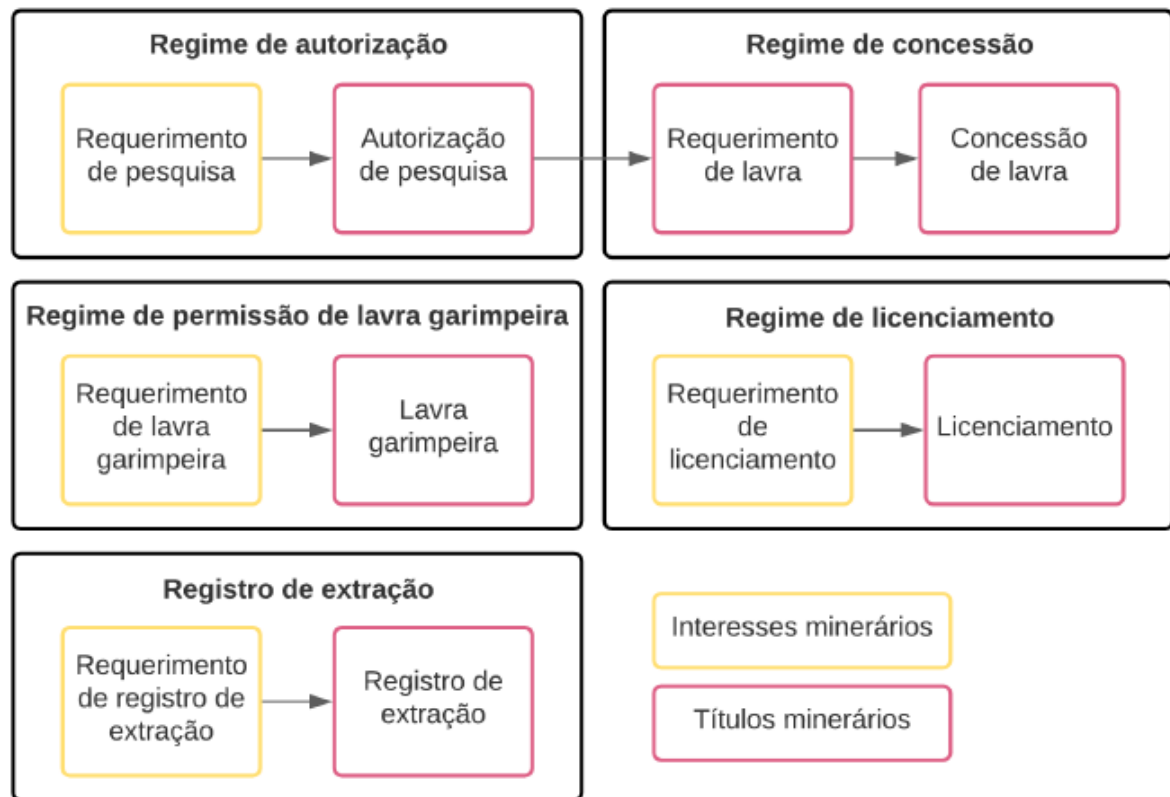
v) de monopolização, quando por lei especial, depender de necessidade de execução direta ou indireta pelo Poder Executivo federal.

Além destes regimes, o Decreto nº 9.406/2018 também prevê a possibilidade de os órgãos da administração direta e autárquica da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios poderem realizar a extração de substâncias minerais de uso imediato na construção civil, conforme definidas em Portaria do Ministro de Estado de Minas e Energia, por meio de registro de extração, que será regulamentado por Resolução da ANM. Essa extração é permitida exclusivamente para uso em obras públicas executadas diretamente por esses órgãos, desde que respeitados os direitos minerários vigentes nas áreas de execução das obras, sendo vedada a comercialização dessas substâncias.

Os processos minerários possuem fases administrativas que são características de cada regime de aproveitamento. ISA (2005) compartimenta as fases nas categorias: interesses minerários e títulos minerários. Os interesses minerários incluem os processos que ainda não possuem titulação, que estão na fase “Requerimento de Pesquisa”, “Requerimento de Lavra Garimpeira”, “Requerimento de Licenciamento”, “Requerimento de Extração” e “Disponibilidade”. Já os títulos minerários possuem titulação, são os que estão na fase “Autorização de Pesquisa”, “Concessão de Lavra”, “Requerimento de Lavra”, “Lavra garimpeira” e “Licenciamento”.

Na Figura 4, é apresentada uma representação esquemática dos regimes de aproveitamento, ilustrando as fases administrativas associadas a cada regime de aproveitamento (Oliveira, 2022).

Figura 4 - Representação dos regimes de aproveitamento e suas fases administrativas.



Fonte: Oliveira (2022).

5.5 ATIVIDADE GARIMPEIRA NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO TAPAJÓS

Em áreas de proteção ambiental, como a APA do Tapajós a qual é definida como uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável, a atividade de mineração só pode ser exercida legalmente conforme o seu zoneamento e/ou plano de manejo, além de necessitar da autorização do órgão administrativo gestor. O zoneamento é essencial para fornecer parâmetros objetivos ao órgão licenciador; sem esses parâmetros, o processo de licenciamento ambiental pode se tornar vulnerável a pressões sociais e econômicas locais (Ricardo; Rolla, 2006).

Até o presente momento, a APA do Tapajós não possui um plano de manejo. De acordo com Martins (2022), a Justiça Federal em Itaituba, no sudoeste do Pará, determinou que o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), órgão gestor da APA, elabore um plano de manejo para a área.

Desde 2015, quando os levantamentos do DETER tiveram início, a APA do Tapajós junto a Floresta Nacional do Jamanxim, tem sido uma das duas áreas mais críticas do sistema. A maioria dos alertas na APA do Tapajós é classificada como desmatamento com solo exposto, sem conexão direta com atividades específicas. No entanto, segundo dados do INPE, 28% do desmatamento ocorrido desde janeiro de 2022 a março de 2023 na APA do Tapajós está relacionado à atividade de mineração (Figueiredo, 2023).

De acordo com o Manzolli *et al.* (2021) a APA do Tapajós foi a mais afetada pela atividade garimpeira irregular entre as unidades de conservação na Amazônia nos anos de 2019 e 2020, totalizando uma produção de 14,9 t de ouro, das quais 8,9 t foram identificadas como irregulares.

Em relação a garimpagem de ouro na Amazônia, de acordo com Geiser (2020), há três tipos de garimpo: i) por dragas, onde acontece o revolvimento do leito dos rios; ii) garimpos de “poço”, em geral com escavação manual que busca seguir o veio de maior concentração de ouro; e iii) o garimpo de “baixão”, exploração aluvionar, realizada junto ao leito dos rios e igarapés, geralmente explorando a camada subsuperficial do solo.

Nos garimpos de “baixão”, a cobertura vegetal e a camada superficial do solo são removidas para acessar a camada com potencial aurífero. Essa camada é então desmontada com jatos de água, e a polpa resultante é bombeada para mesas gravimétricas, onde as partículas de ouro se depositam. A água com lama restante é descartada no local. Após, os carpetes que retêm as partículas de ouro são lavados, e o ouro é separado das impurezas com mercúrio, formando um amálgama que é facilmente destacado das demais partículas. Esse amálgama é queimado com um maçarico para evaporar o mercúrio, deixando apenas o ouro bruto (Geiser, 2020).

A Figura 5 ilustra o garimpo de ouro na região do Alto Tapajós, onde o ouro é extraído em áreas de várzea conhecidas como 'baixões', próximas a igarapés. Esta prática resulta em desmatamento, contaminação e assoreamento dos igarapés, destacando os impactos ambientais negativos da exploração aurífera na região (Basso, 2021).

Figura 5 - Garimpo de ouro na região do Alto Tapajós.



Fonte: Basso (2021).

5.6 SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto, conforme definido por Meneses e Almeida (2012), é uma ciência que busca adquirir imagens da superfície terrestre através da detecção e quantificação das respostas resultantes das interações entre a radiação eletromagnética e os elementos terrestres.

É possível distinguir os diferentes objetos da superfície terrestre como água, solo e vegetação, devido a maneira como eles refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em proporções que variam com o comprimento de onda e com as suas características bio-físico-químicas (Florenzano, 2007).

De acordo com Meneses e Almeida (2012), as faixas de comprimento de onda foram divididas em intervalos espectrais em: visível (0,38 a 0,76 μm), infravermelho próximo (0,76 a 1,2 μm), infravermelho de ondas curtas (1,2 a 3,0 μm), Infravermelho médio (3,0 a 5,0 μm), infravermelho termal (5,0 μm a 1 mm) e micro-ondas (1 mm a 100 cm).

A Tabela 1 apresenta as faixas espectrais usadas em sensoriamento remoto e seus limites de comprimento de onda.

Tabela 1 - Faixas espectrais utilizadas em sensoriamento remoto

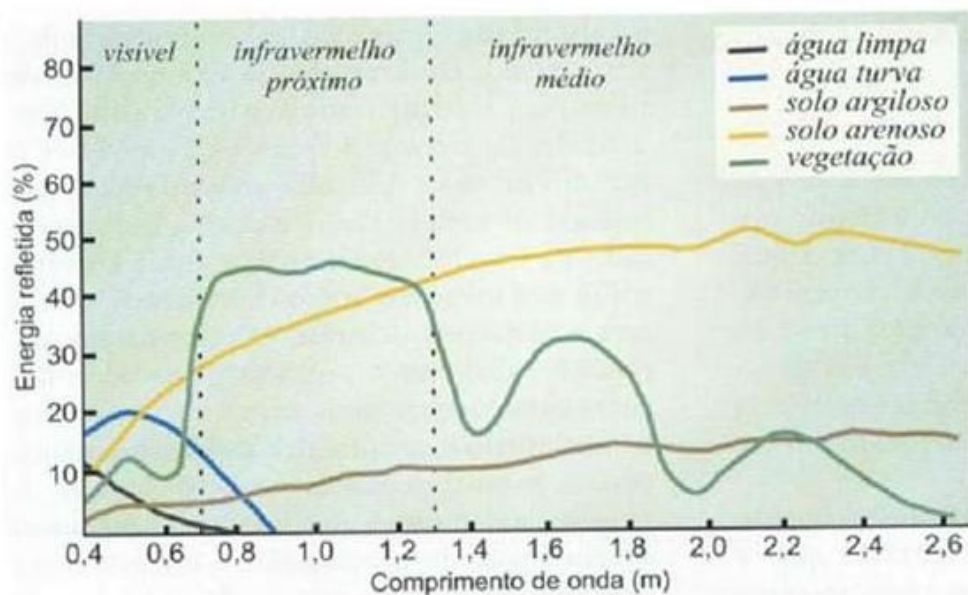
Intervalo espectral	Visível	Infravermelho próximo	Infravermelho de ondas curtas	Infravermelho médio	Infravermelho termal	Micro-ondas
Comprimento de onda	0,38 – 0,76 μm	0,76 – 1,2 μm	1,2 – 3,0 μm	3,0 – 5,0 μm	5,0 μm – 1 mm	1 mm – 100 cm

Fonte: Meneses e Almeida (2012).

5.6.1 Comportamento espectral de alvos naturais

As variações da energia ou radiação eletromagnética refletida e absorvida pelos objetos são representadas como curvas espectrais. Por meio dessas variações é possível distinguir os objetos da superfície terrestre nas imagens obtidas por meio de sensores remotos (Figura 6).

Figura 6 - Curvas espectrais de alvos naturais



Fonte: Florenzano (2007).

Na Figura 6 é possível observar que a vegetação, na região da luz visível, reflete energia na faixa correspondente ao verde (0,498 – 0,530 μm). Porém, é na faixa do infravermelho próximo (0,76 – 1,2 μm) que a vegetação apresenta máxima energia refletida, diferenciando dos demais alvos (Florenzano, 2007).

No que se refere às curvas espectrais do alvo água nota-se que a água limpa reflete pouca energia na região do visível e quase nenhuma no infravermelho próximo, já a água turva reflete mais na região do visível (Florenzano, 2007).

O solo em geral apresenta uma variação na reflectância da energia, manifestando uma curva mais uniforme em relação aos demais alvos naturais (Florenzano, 2007). Além disso as curvas espectrais dos solos variam de acordo com sua composição química, física, biológica e mineralógica, como os teores de areia grossa, argila e matéria orgânica, teor de minerais carbonatados, presença ou não de quartzo e dos óxidos de Fe, umidade e cor (Moreira, 2001).

5.6.2 Sentinel-2

A série de satélites Sentinel desenvolvida pela Agência Espacial Europeia (ESA) começou a ser lançada em 2014, e é composta por pares de satélites com sensores específicos relacionados a temas de interesse distintos. O par de satélite Sentinel-2, munido de sensor óptico de alta resolução espacial, tem como objetivo o monitoramento da vegetação, solos e áreas costeiras (Embrapa, 2018; ESA, 2024).

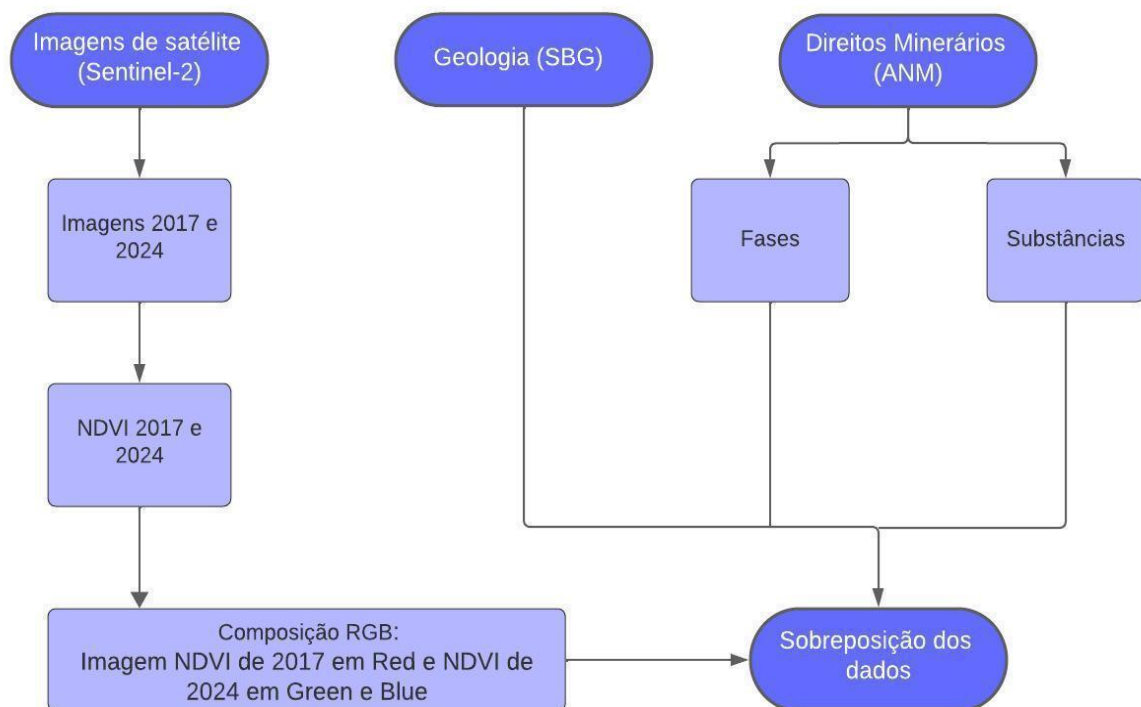
O Sentinel-2A e Sentinel-2B foram lançados em 2015 e 2017, respectivamente, com o sensor multiespectral MSI (*MultiSpectral Instrument*) para a obtenção de dados em 13 bandas espectrais, com comprimento de ondas variando de 443 a 2190 nm. As imagens apresentam resolução espacial de 10 m para as bandas do visível, 20 m para as bandas do infravermelho e 60 m para bandas com intervalos específicos na região do visível (B01 - aerossol) e infravermelho (B09 - vapor d'água e B10 - nuvens) (Embrapa, 2018; ESA, 2024).

O satélite Sentinel-2, com sua alta resolução espacial e temporal, permite a detecção e análise detalhada das mudanças na cobertura da terra, sendo amplamente utilizado para monitorar o desmatamento. Diversos estudos demonstraram a eficiência do Sentinel-2 no rastreamento da perda de vegetação e no mapeamento de áreas desmatadas em diferentes biomas e regiões. O estudo de Aguiar (2023) destaca a aplicação de dados do Sentinel-2 em uma análise multitemporal de 2018 a 2022, para identificar e quantificar mudanças significativas na conversão de áreas florestadas para áreas desmatadas nos municípios de Senador José Porfírio e Anapu, Pará. Outro exemplo é o estudo de Torres *et. al* (2021) que explora o uso de imagens do Sentinel-2 e Landsat-8 para mapear áreas de desmatamento na floresta Amazônica.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do estudo de áreas desmatadas por garimpo na APA do Tapajós foi realizada uma revisão bibliográfica sobre a geologia da área, os processos minerários e sensoriamento remoto. Na sequência, foi feita a aquisição das imagens de satélite Sentinel-2 e dos dados geoespaciais que compreendem a base cartográfica, a geologia e os direitos minerários necessários para as análises. Posteriormente, aplicaram-se os métodos para análise, interpretação e integração dos dados. A Figura 7 apresenta o fluxograma geral das etapas do desenvolvimento do estudo, ilustrando o processo desde a coleta de informações até a integração dos dados.

Figura 7 - Fluxograma com as principais etapas do desenvolvimento do trabalho.



Fonte: elaboração própria.

6.1 AQUISIÇÃO DOS DADOS VETORIAIS

Foram adquiridos dados disponíveis da área de estudo para posterior integração e interpretação dos mesmos. Os dados litológicos foram obtidos no *site* GeoSGB, do Serviço Geológico do Brasil (SGB), e correspondem à Folha Tapajós (SB.21) elaborada em escala 1:1.000.000 por Ferreira *et al.* (2004).

No *site* Sistema de Informação Geográfica da Mineração – SIGMINE desenvolvido pela Agência Nacional de Mineração (ANM), foram obtidos os direitos minerários em formato shapefile do estado do Pará, data de 29 de outubro de 2024.

Os limites da APA Tapajós em shapefile disponibilizados no *site* do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) foram obtidos no *site* Gov.br. A área de estudo selecionada corresponde a 2.050,75704 km² localizados ao Norte do município de Jacareacanga, Pará.

A rede hidrográfica elaborada pelo IBGE foi obtida no *site* Portal de mapas do IBGE, em formato shapefile, na versão mais recente disponível (2023), com escala de 1:250.000.

6.2 AQUISIÇÃO DAS IMAGENS SENTINEL-2

As imagens de satélite Sentinel-2 Level-2A foram obtidas na plataforma *Copernicus Browser*, da ESA. Foram selecionadas imagens que cobrem toda a área de estudo com a órbita ponto 21 MVP e com menor cobertura de nuvens, datadas de 19 de julho de 2017 e 22 de julho de 2024, respectivamente nomeadas como “S2A_MSIL2A_20170719T141051_N0500_R110_T21MVP_20231007T065931” e “S2A_MSIL2A_20240722T140711_N0510_R110_T21MVP_20240722T210957”.

Cada produto Sentinel-2 é constituído por 13 bandas multiespectrais. Neste estudo, foram utilizadas apenas a Banda 04 (vermelho) e a Banda 08 (infravermelho próximo - NIR), ambas com resolução espacial de 10m.

As imagens foram recortadas a partir do limite da APA Tapajós, focando especificamente na porção Norte do município de Jacareacanga.

6.3 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS SENTINEL-2

As imagens adquiridas foram processadas no *software* QGIS 3.18.3, para a geração dos produtos NDVI e imagem composição colorida RGB visando destacar as áreas desmatadas.

6.3.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI)

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), é um dos índices mais conhecidos para o realce das variações de densidade da cobertura vegetal. No NDVI são utilizadas a banda situada no infravermelho próximo (NIR), que é a região em que a vegetação mostra a mais intensa reflectância, e a banda situada no vermelho (RED), onde a vegetação apresenta absorção da luz solar visível (Meneses; Almeida, 2012).

O índice envolve a diferença e a soma entre estas duas bandas do infravermelho próximo e do vermelho, conforme a equação a seguir:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

Os resultados da equação variam de -1 a 1, onde valores próximos a 1 correspondem a áreas de vegetação densa, próximos a 0 a solos expostos e valores negativos correspondem a áreas sem vegetação ou com presença de água (Meneses; Almeida, 2012).

As imagens NDVI da área de estudo foram geradas no QGIS 3.18.3 a partir da ferramenta *Raster Calculator*, utilizando a fórmula mencionada acima com as bandas B08 e B04, que, respectivamente, correspondem às faixas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho visível (RED) (Figura 9).

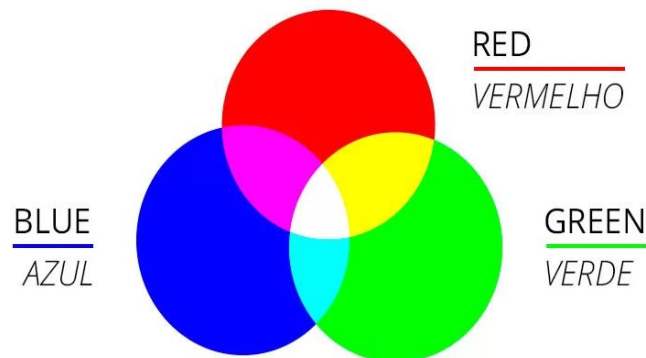
6.3.2 Composição Colorida RGB

Em relação ao sistema de cores RGB (*red, green, blue*), no sensoriamento remoto, as intensidades de cada cor são determinadas pelos valores digitais de brilho das bandas. Seguindo a teoria triestímulo da percepção humana da cor, o modelo

utiliza um conjunto de três bandas, associadas livremente aos canais de cor azul, verde e vermelho do monitor (Meneses; Almeida, 2012).

A Figura 8 apresenta as cores primárias (vermelho, verde e azul) e as cores secundárias (amarelo, magenta e ciano), do sistema RGB.

Figura 8 - Representação das cores primárias e secundárias do sistema RGB.



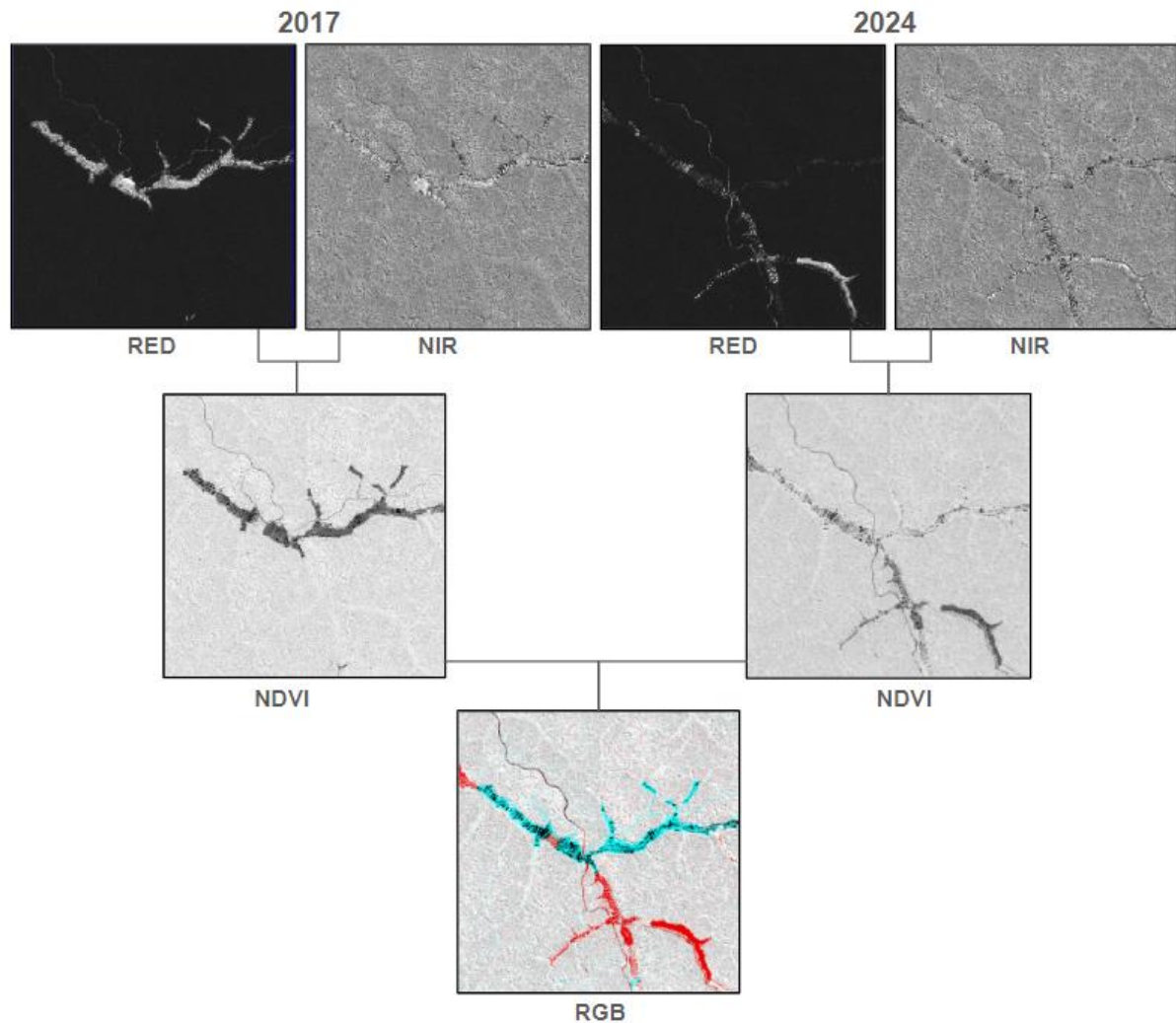
Fonte: Marques (2018).

As imagens composição colorida RGB foram geradas no *software* QGIS 3.18.3 pela ferramenta mesclar, onde a imagem NDVI de 2017 corresponde ao canal vermelho (*Red*) e a imagem NDVI de 2024, em verde (*Green*) e azul (*Blue*) (Figura 9).

Essa metodologia foi adaptada a partir da técnica aplicada a imagens de radar, que utiliza registros de diferentes datas para gerar uma composição multitemporal, com cada imagem atribuída a uma das três cores. Esse procedimento permite evidenciar mudanças ao longo do tempo (ESA, 2025).

Na composição colorida das imagens NDVI de 2017 em Red (R) e 2024 em Green (G) e Blue (B), as áreas com vegetação em 2017 e que não estão mais presentes em 2024 apresentam cor vermelha, pois o valor do NDVI para essas áreas em 2017 é alto indicando vegetação densa, e baixo em 2024 indicando ausência da vegetação densa. O valor do NDVI elevado no canal vermelho, combinado com baixos valores nos canais verde e azul, realça a cor vermelha, indicando perda de vegetação em 2024.

Figura 9 - Recorte das imagens NDVI de 2017 e 2024 e composição colorida RGB para destacar áreas sem vegetação.



Fonte: elaboração própria.

Nas áreas sem cobertura vegetal em 2017, os valores de NDVI são baixos, indicando pouca ou nenhuma presença de vegetação. Já em 2024, com a regeneração da vegetação nessas áreas, os valores de NDVI aumentam, resultando em maiores intensidades nos canais verde (G) e azul (B). Combinando valores de NDVI baixos em vermelho e altos em verde e azul na composição colorida RGB, o resultado é a cor ciano, que evidencia a presença de vegetação recente ou regenerada.

Dessa forma foi possível verificar as áreas com alterações vegetativas, onde a cor vermelha na composição colorida RGB evidencia as áreas sem vegetação e na cor ciano as áreas com a vegetação regenerada da imagem do Sentinel-2A mais recente. E de forma a comparar e validar as alterações na vegetação observadas na

composição RGB gerada a partir das imagens NDVI, foram criadas composições RGB com as bandas 4, 3 e 2, dos anos 2017 e 2024, permitindo a visualização em cores reais das áreas de garimpo.

Além disso, por meio da composição colorida foi possível observar o sentido do avanço do desmatamento, de forma comparativa entre as áreas já desmatadas em 2017 e seu avanço em 2024 em relação às drenagens.

6.4 PROCESSAMENTO DA CAMADA DE PROCESSOS MINERÁRIOS

No *software* QGIS 3.18.3, na camada vetorial de “Direitos minerários” foi utilizado o algoritmo *Corrigir Geometrias* para a conferência da soma das áreas antes e após o processamento. Posteriormente a camada de “Direitos minerários” foi recortada a partir da camada “Área de estudo” sobreposta.

Nesta nova camada de “Direitos minerários na área de estudo” foi aplicado o Verificador de Topologia com a regra “não devem ter duplicados” e “não devem sobrepor”. Com base nas regras topológicas não foram encontradas geometrias duplicadas. Por outro lado, observou-se a ocorrência de áreas sobrepostas. Tais áreas sobrepostas foram avaliadas em relação ao atributo “Ano” e “Fase”. Onde constatou-se que as geometrias com anos mais recentes possuem fases mais avançadas em termos de seus respectivos regimes de aproveitamento, sendo, portanto, mantidas na análise. Para o cálculo das áreas em km² foi utilizada a ferramenta *Calculadora de campo*.

Os atributos “Fases”, “Substâncias” e “Área” da camada de direitos minerários foram utilizados para geração de mapas temáticos e tabelas.

6.5 INTEGRAÇÃO DOS DADOS

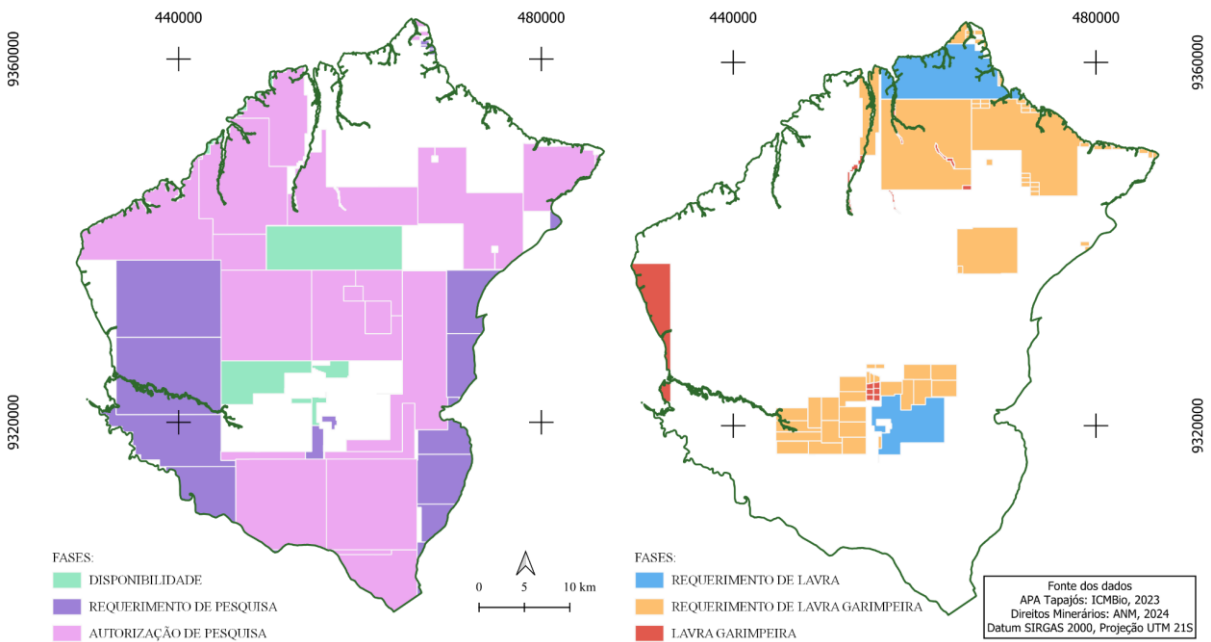
Os dados coletados e processados foram integrados e analisados de forma a compreender o avanço do garimpo na APA Tapajós. A análise foi realizada por meio de sobreposição de camadas, correlacionando a geologia descrita na revisão bibliográfica, os direitos minerários ativos e a expansão das atividades de garimpo ao longo dos principais rios e igarapés.

7. RESULTADOS

7.1 PROCESSOS MINERÁRIOS

Segundo os dados de direitos minerários da ANM de outubro de 2024, existem no total 149 processos minerários ativos localizados na área de estudo, que correspondem no total a 2.027,406 km², representando 98,86% da área total. Seis fases administrativas dos processos minerários são observadas na área de estudo (Figura 10): Disponibilidade, Requerimento de Pesquisa, Autorização de Pesquisa, Requerimento de Lavra, Requerimento de Lavra Garimpeira e Lavra Garimpeira.

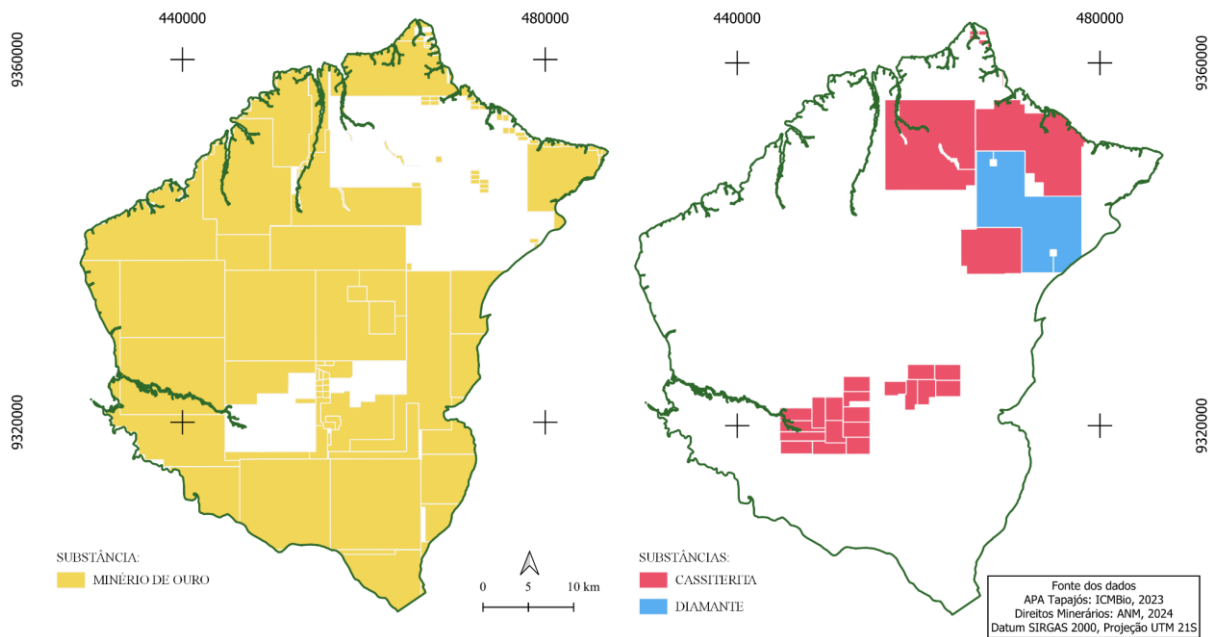
Figura 10 - Distribuição dos direitos minerários por fase na área de estudo.



Fonte: elaboração própria.

As principais substâncias dos processos minerários ativos da APA Tapajós são: Cassiterita, Diamante e Minério de Ouro (Figura 11).

Figura 11 - Distribuição dos direitos minerários por substância na área de estudo.



Fonte: elaboração própria.

Conforme apresentado na Tabela 2, em relação às Fases, a fase administrativa Disponibilidade possui 4 processos, a fase Requerimento de Pesquisa 21, Autorização de Pesquisa 24, Requerimento de Lavra somente 2, Requerimento de Lavra Garimpeira com a maior frequência, com 81 processos e Lavra Garimpeira 17.

No que se refere às substâncias, a substância com maior frequência de processos minerários é o Minério de Ouro com 114, em seguida a Cassiterita com 34 e Diamante apenas 1.

O Minério de Ouro, substância com ocorrência mais expressiva, abrange todas as fases presentes na área, 4 processos na fase Disponibilidade, 21 Requerimentos de Pesquisa, 23 Autorizações de Pesquisa, 2 Requerimentos de Lavra, 47 Requerimentos de Lavra Garimpeira e 17 processos de Lavra Garimpeira.

Já quanto a Cassiterita, possui 34 processos somente na fase Requerimento de Lavra Garimpeira. O Diamante é pontual, com somente uma Autorização de Pesquisa.

Tabela 2 - Processos minerários por substâncias e fases na área de estudo.

Fase	Substância			Total por Fases
	Cassiterita	Diamante	Minério de Ouro	
Disponibilidade			4	4
Requerimento de Pesquisa			21	21
Autorização de Pesquisa		1	23	24
Requerimento de Lavra			2	2
Requerimento de Lavra Garimpeira	34		47	81
Lavra Garimpeira			17	17
Total por Substância	34	1	114	149

Fonte: ANM (2024). Elaboração própria.

Observa-se que não há uma correlação direta entre quantidade de processos minerários de cada fase e valor em área (Tabelas 2 e 3). Um exemplo é a fase Requerimento de Lavra Garimpeira, que, apesar de apresentar a maior frequência de processos, seu valor em área não é tão expressivo se comparado às fases Requerimento de Pesquisa e Autorização de Pesquisa.

A fase administrativa Disponibilidade com 119,531 km² corresponde a 5,90% da área total, Requerimento de Pesquisa com área de 404,931 km² (19,97%), Autorização de Pesquisa com 1.024,848 km² é a fase que abrange uma área mais expressiva, que corresponde a 50,55% da área total, Requerimento de Lavra com 100,963 km² (4,98%), Requerimento de Lavra Garimpeira com 341,726 km² (16,85%), e Lavra Garimpeira 35,407 km² (1,75%) (Tabela 3).

Em termos de área por substância o Minério de Ouro, com maior frequência de processos minerários, corresponde a maior área, 1.625,911 km² (80,20%), em seguida a Cassiterita com 304,208 km² (15%).

Tabela 3 - Área em quilômetros quadrados (km²) e porcentagem (%) por fases e substâncias.

Fase	Substância						Total por Fases	
	Cassiterita		Diamante		Minério de Ouro		km ²	%
	km ²	%	km ²	%	km ²	%		
Disponibilidade					119,531	5,90	119,531	5,90
Requerimento de Pesquisa					404,931	19,97	404,931	19,97
Autorização de Pesquisa			97,287	4,80	927,561	45,75	1.024,848	50,55
Requerimento de Lavra					100,963	4,98	100,963	4,98
Requerimento de Lavra Garimpeira	304,208	15			37,518	1,85	341,726	16,85
Lavra Garimpeira					35,407	1,75	35,407	1,75
Total por Substância	304,208	15	97,287	4,80	1.625,911	80,20	2.027,406	100,00

Fonte: ANM (2024). Elaboração própria.

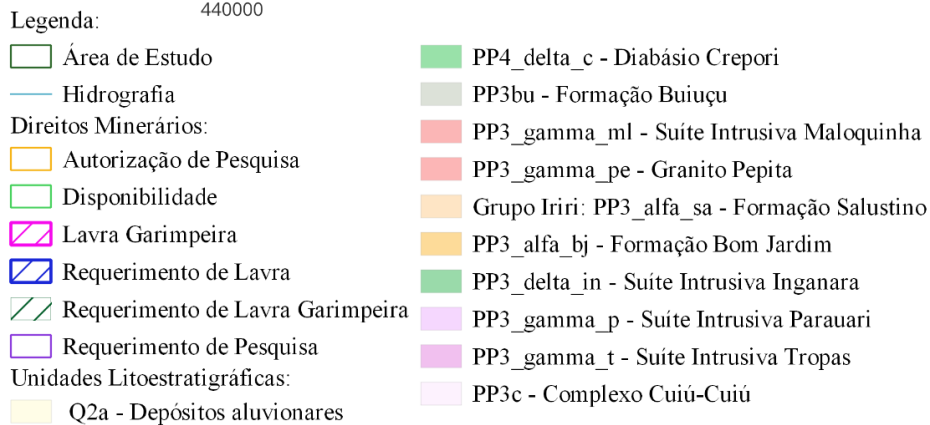
7.2 PROCESSOS MINERÁRIOS E GEOLOGIA

Os processos minerários estão amplamente distribuídos por todas as unidades litoestratigráficas da área de estudo (Figura 12). Como demonstrado no Quadro 1, é possível identificar a relação entre cada substância, as fases, e as unidades litoestratigráficas nas quais ocorrem. Os processos minerários relacionados ao ouro predominam na área, abrangendo as fases de Disponibilidade, Requerimento de Pesquisa e Autorização de Pesquisa, presentes nas unidades litoestratigráficas Suíte Intrusiva Tropas, Suíte Intrusiva Parauari, Suíte Intrusiva Maloquinha, Granito Pepita, Formação Buiçu e Depósitos Aluvionares.

Os processos minerários das fases Requerimento de Lavra e Requerimento de Lavra Garimpeira, fases já mais avançadas em relação aos procedimentos administrativos legais, ocorrem nas unidades Depósitos Aluvionares, Suíte Intrusiva Tropas, Parauari, Maloquinha e Formação Buiçu. Em relação aos processos de Lavra Garimpeira, estão presentes nas unidades Depósitos Aluvionares, Suíte Intrusiva Tropas, Suíte Intrusiva Parauari, Suíte Intrusiva Maloquinha e Granito Pepita.

De acordo com Klein *et al.* (2001), as unidades litoestratigráficas como Suíte Intrusiva Parauari e Maloquinha, contém mineralizações primárias e mineralizações

auríferas secundárias do tipo aluviões auríferos e plácer aluvionar, além do ouro do tipo residual e/ou laterítico.



Fonte: elaboração própria.

Quadro 1 - Relação entre substâncias e fases presentes em cada unidade litoestratigráfica.

Disponibilidade, Requerimento de Pesquisa, Autorização de pesquisa	Requerimento de lavra, Requerimento de lavra garimpeira	Lavra garimpeira	Referências bibliográficas
Ouro			
- Depósitos aluvionares; - Suíte Intrusiva Parauari; - Suíte Intrusiva Maloquinha; - Suíte Intrusiva Tropas; - Granito Pepita; - Formação Buiçu.	- Depósitos aluvionares; - Suíte Intrusiva Parauari; - Suíte Intrusiva Maloquinha; - Suíte Intrusiva Tropas; - Formação Buiçu.	- Depósitos aluvionares; - Suíte Intrusiva Parauari; - Suíte Intrusiva Maloquinha; - Suíte Intrusiva Tropas; - Granito Pepita.	Klein <i>et al.</i> (2001) -Depósitos aluvionares; - Suíte Intrusiva Parauari; - Suíte Intrusiva Maloquinha
Cassiterita			
	- Depósitos aluvionares; -Suíte Intrusiva Parauari; - Suíte Intrusiva Maloquinha; - Suíte Intrusiva Tropas; - Formação Buiçu.		Santos <i>et al.</i> (1975) e Ferreira <i>et al.</i> (2000) - Depósito aluvionar Pessoa <i>et al.</i> (1977), Prazeres <i>et al.</i> (1979) e Almeida (2000a, b) - Suíte Intrusiva Maloquinha; - Granito Pepita; - Formação Salustiano
Diamante			
-Suíte Intrusiva Parauari; -Suíte Intrusiva Maloquinha; - Formação Buiçu.			Santos <i>et al.</i> (1975), Branco (1984), Collyer <i>et al.</i> (1994) - Depósito aluvionar

Fonte: elaboração própria.

A respeito da cassiterita, há somente processos minerários da fase Requerimento de Lavra Garimpeira, ocorrendo nas Suítes Intrusivas Tropas, Parauari, Maloquinha, além da Formação Buiçu e Depósitos aluvionares.

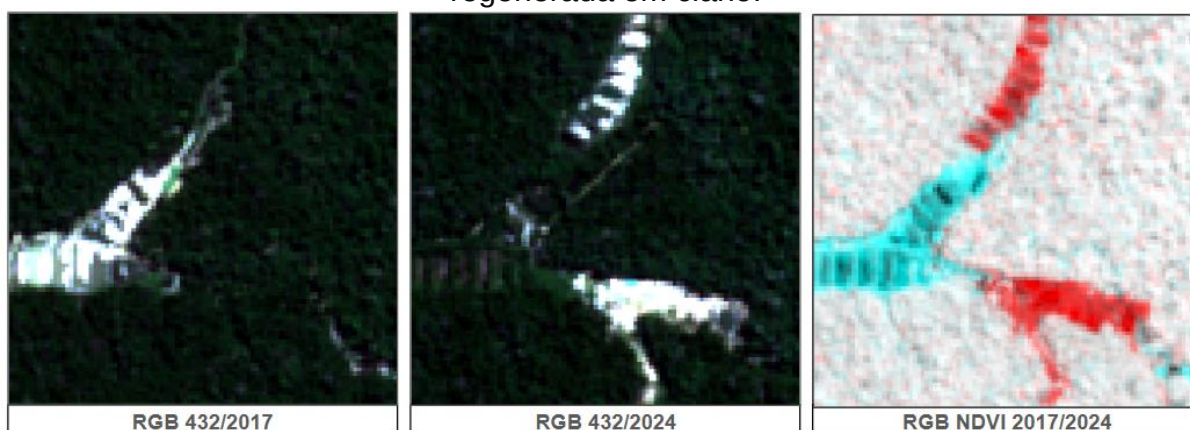
Conforme os estudos de Pessoa *et al.* (1977), Prazeres *et al.* (1979) e Almeida (2000a, b), indícios de cassiterita estão localizados em áreas dominadas por granitóides Maloquinha e Pepita e na Formação Salustiano. Além disso, Santos *et al.* (1975) e Ferreira *et al.* (2000) relatam a presença de garimpos de cassiterita aluvionar nos afluentes do Rio Tropas.

Quanto ao diamante, o processo minerário de Autorização de Pesquisa ocorre nas Suítes Intrusivas Parauari e Maloquinha, bem como na Formação Buiúçu. Na literatura são descritas a presença de diamante em concentrados de bateia, ocorrendo em depósitos aluvionares em locais isolados (Santos *et al.*, 1975; Branco, 1984; Collyer *et al.*, 1994).

7.3 COMPOSIÇÃO COLORIDA RGB PARA REALCE DE ÁREAS DESMATADAS PELO GARIMPO

Conforme ilustrado na Figura 13, a composição RGB gerada a partir das imagens NDVI de 2017 e 2024 permite identificar mudanças na cobertura vegetal. As áreas em ciano, quando comparadas com a composição RGB 432 de 2017, correspondem a locais desmatados associados ao garimpo. Já as áreas em vermelho, comparadas a composição RGB 432 de 2024, indicam novos desmatamentos associados ao garimpo. Dessa forma, foi possível identificar alterações na vegetação ao longo do período analisado.

Figura 13 - Recorte das imagens RGB 432 e Composição Colorida RGB com destaque para as áreas sem vegetação em vermelho e áreas com vegetação regenerada em ciano.



Fonte: elaboração própria.

Avançando para uma visão abrangente da área de estudo, que é delimitada a Oeste pelo rio principal Tapajós, a Norte Rio Crepori e a Sul Rio Tropas, com o Rio Pacu na região central, observa-se por meio da composição colorida RGB (Figura 14) um avanço expressivo do garimpo em determinadas regiões.

Na porção Norte da área, houve um avanço significativo de áreas desmatadas por garimpo ao longo dos igarapés do Cumarú e do Cantagalo e seus afluentes (Figura 15 A e B). Na Figura 15 A, no Igarapé Cumarú é possível observar um avanço expressivo do desmatamento após 2017.

No Igarapé Cantagalo, observa-se a presença de áreas desmatadas por garimpo já em 2017, com novos focos ao longo de seu curso em 2024 (Figura 15 A e B). Além disso, em alguns de seus afluentes, o garimpo aparece somente após 2017, como evidenciado na Figura 15 A. Também ocorreu avanço do desmatamento após 2017, mas menos expressivo, ao longo dos afluentes do Rio Crepori.

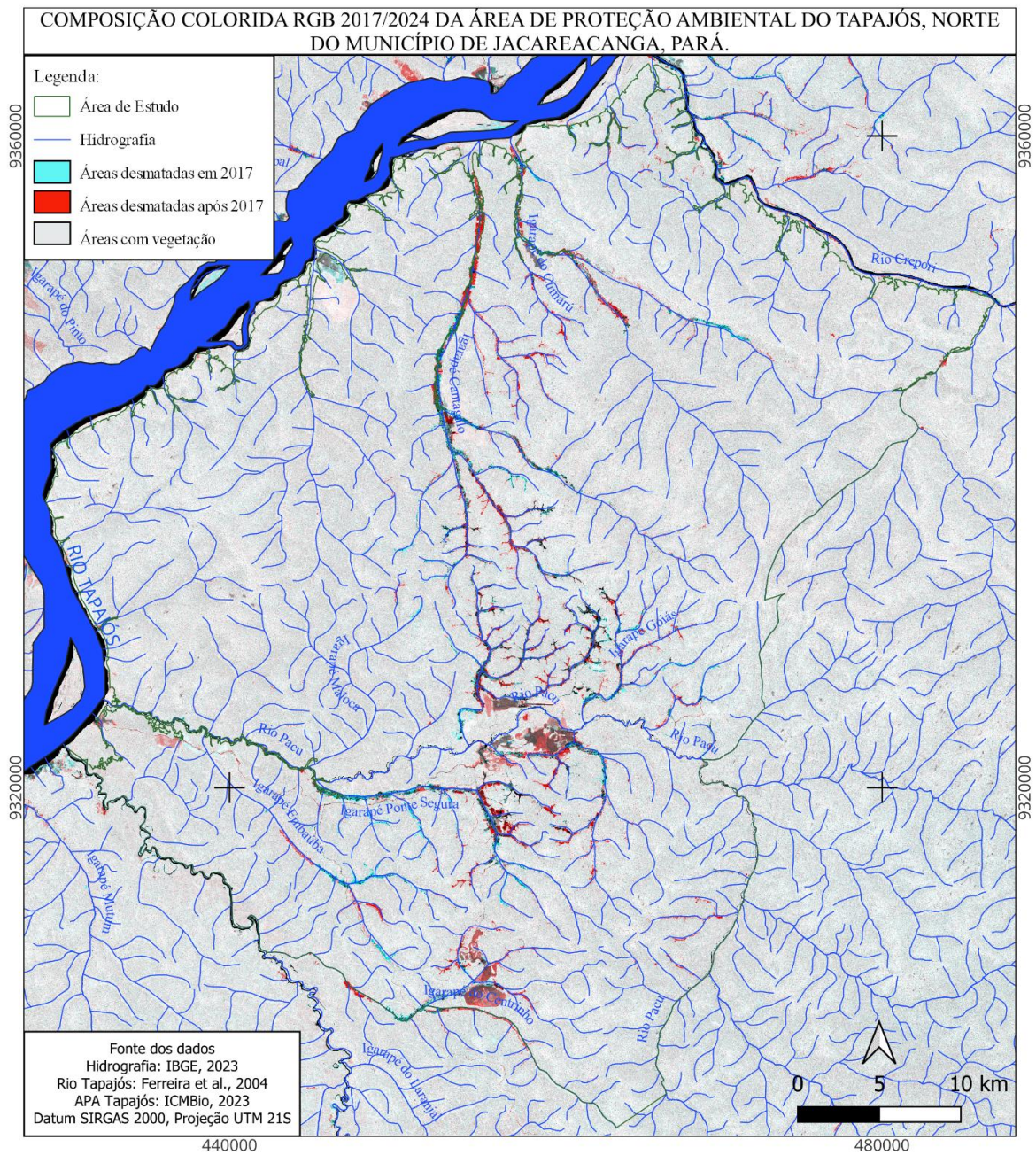
Na parte Sul da APA Tapajós, houve um avanço significativo de áreas desmatadas pelo garimpo nos afluentes do Rio Pacu, como os igarapés Goiás, Carneirinho, Ponte Segura, Embaúba e seus afluentes (Figura 16).

Observa-se o registro do desmatamento ao longo do Igarapé Carneirinho e Goiás em 2017, e a continuidade e avanço do desmatamento em 2024 ao longo dos seus afluentes em direção a montante (Figura 16 A). Na Figura 16 B, no Igarapé Embaúba, observa-se o mesmo padrão, uma significativa área desmatada pelo garimpo tanto em 2017 como em 2024, e com vetores de desmatamento tanto para a montante quanto jusante.

Ainda na região Sul, no limite da área de estudo, nota-se o avanço do desmatamento nos afluentes do Igarapé do Centrinho, que desemboca no Rio das Tropas, área limítrofe (Figura 16).

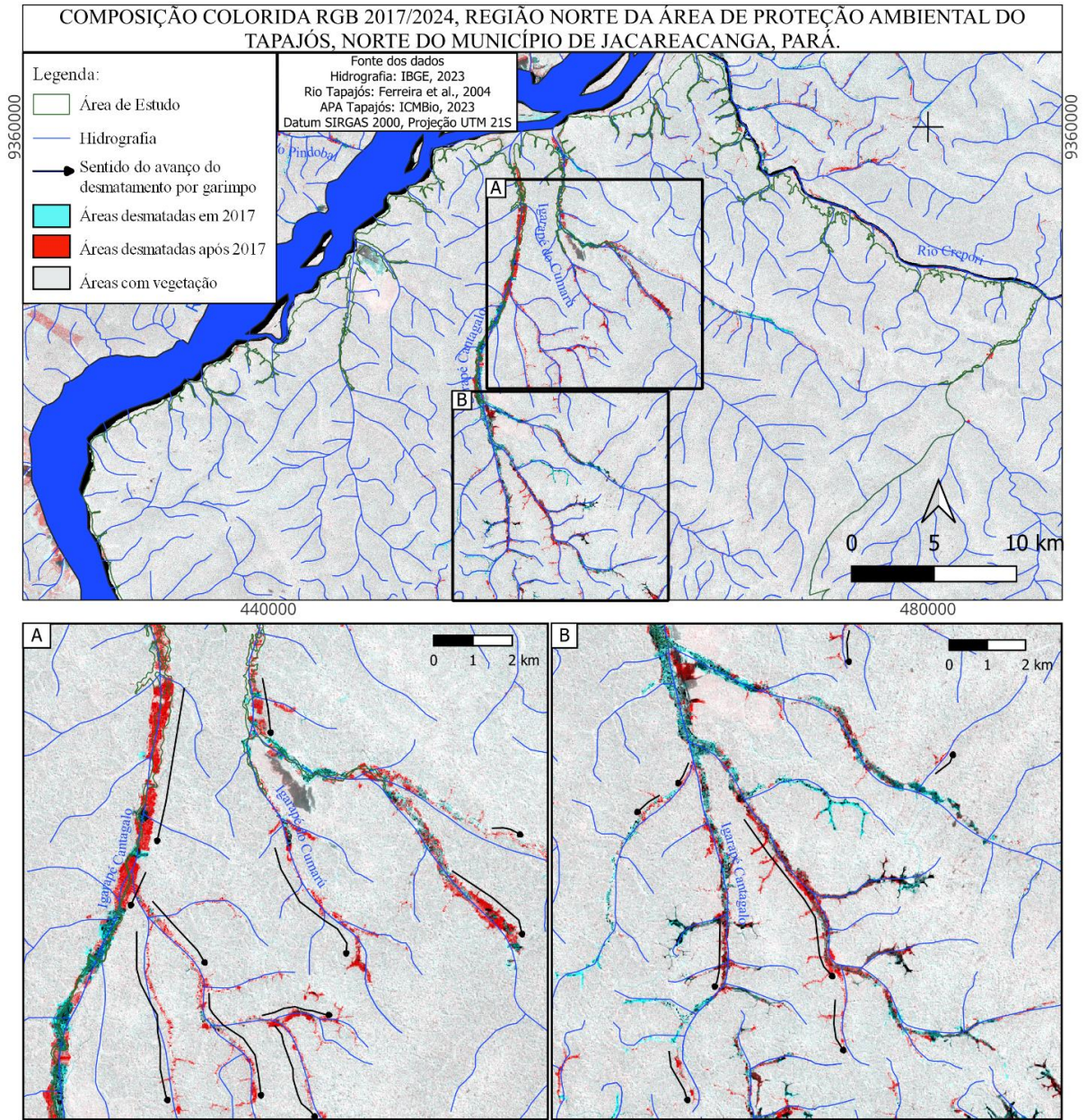
Na região Leste, próximo ao limite da área de estudo, verifica-se avanço de garimpo após 2017 em alguns afluentes do Rio Pacu, onde anteriormente era quase inexistente o garimpo (Figura 16).

Figura 14 - Composição Colorida RGB da área de estudo, com destaque para as áreas desmatadas pelo garimpo em vermelho.



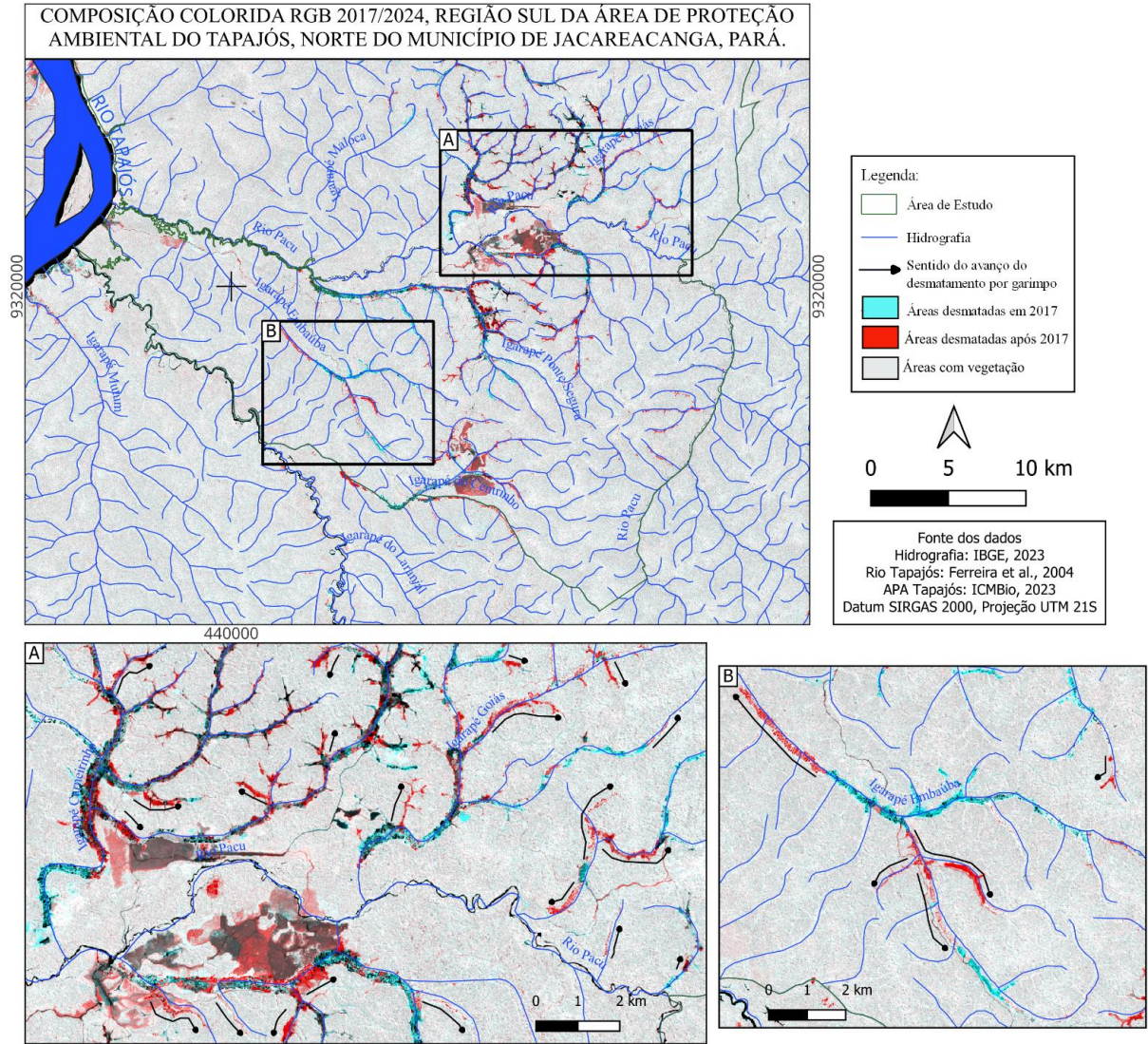
Fonte: elaboração própria.

Figura 15 - Composição Colorida RGB das imagens NDVI na região Norte da área de estudo.



Fonte: elaboração própria.

Figura 16 - Composição Colorida RGB das imagens NDVI na região Sul da área de estudo.



Fonte: elaboração própria.

7.4 PROCESSOS MINERÁRIOS E ÁREAS DESMATADAS PELO GARIMPO NA APA TAPAJÓS

A Figura 17 ilustra a distribuição espacial dos processos minerários na área de estudo, destacando as diferentes fases, permitindo observar a distribuição dos processos minerários e a concentração e expansão das atividades de garimpo ao longo dos rios principais e seus afluentes.

Na fase de Lavra Garimpeira, todos os processos são voltados para o minério de ouro. Na porção norte da área de estudo, os processos minerários se estendem ao

longo do Igarapé do Cumarú, ocupando uma área de 0,718 km², e em seu afluente sem nome definido, que abrange uma área de 1,479 km². Nessas áreas, a coloração ciano na composição RGB indica vegetação secundária, sugerindo que o garimpo já estava presente em 2017. A presença da cor vermelha indica a expansão do garimpo após 2017. Ainda na porção norte, no Igarapé Cantagalo, foram registrados 1,785 km² de área na fase de Lavra Garimpeira e 0,499 km² em um de seus afluentes, se segue o mesmo padrão de vegetação secundária, mas também novos garimpos.

Nota-se um avanço expressivo do garimpo em diversos afluentes do Igarapé do Cumarú e Igarapé Cantagalo, mesmo em locais onde os processos minerários não autorizam legalmente a atividade.

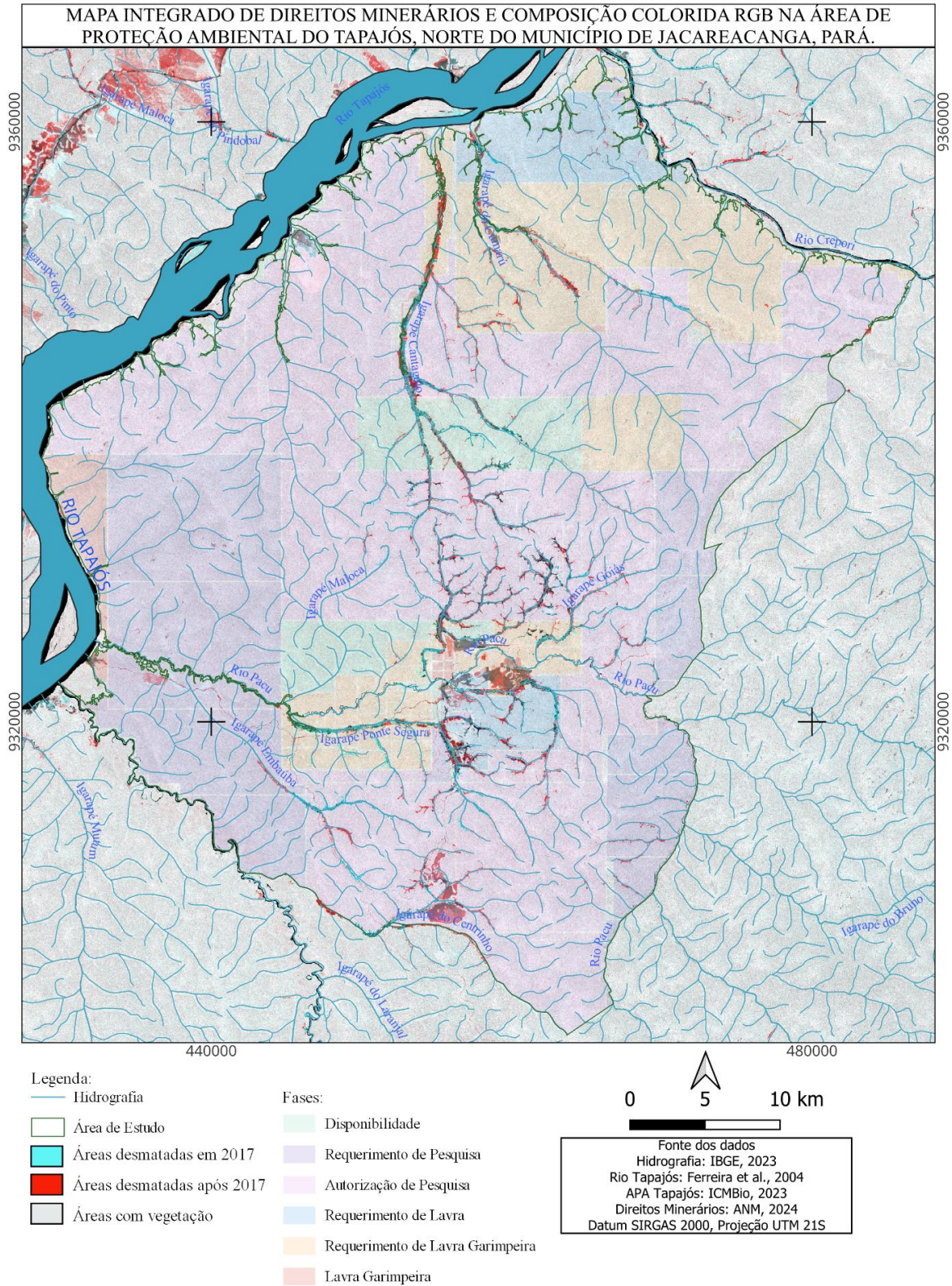
Na porção sul, ao longo do Rio Tapajós, está a área mais extensa de Lavra Garimpeira, com 27,944 km². No entanto, na composição RGB nota-se que a vegetação estava presente em 2017 e permaneceu até 2024, indicando que não houve garimpo nessa área. Na região central, no Rio Pacu, até próximo ao Igarapé Carneirinho, existem 2,982 km² de processos na fase de Lavra Garimpeira, sem evidências de garimpo. No entanto, muitos dos afluentes do Rio Pacu apresentam áreas expressivas tanto de vegetação secundária indicando garimpo anterior a 2017 quanto novas áreas de garimpo após.

A fase de Requerimento de Lavra Garimpeira concentra-se ao norte nos afluentes do Rio Crepori, no Igarapé do Cumarú e na jusante do Igarapé Cantagalo, próximo à sua desembocadura no Rio Tapajós, com área de 241,594 km². Na porção sul, são 93,781 km² que abrangem o Rio Pacu, Igarapé Carneirinho, Igarapé Goiás e Igarapé Ponte Segura. Observa-se que, no Rio Pacu e nos afluentes do Rio Crepori, a área de garimpo é quase inexistente, enquanto nos igarapés mencionados o garimpo está presente desde 2017 e avança.

A fase de Requerimento de Lavra, concentra-se ao norte (63,965 km²) nos afluentes do Rio Crepori, onde o garimpo ocorre principalmente após 2017, e na desembocadura do Igarapé do Cumarú. Na porção sul (36,998 km²), está presente nos afluentes do Rio Pacu e no Igarapé Ponte Segura, nota-se garimpo desde 2017 e segue avançando.

As demais fases — Autorização de Pesquisa, Disponibilidade e Requerimento de Pesquisa — cobrem áreas mais extensas e estão presentes tanto em locais sem garimpo quanto em áreas onde o garimpo já ocorria em 2017 e avançou em 2024.

Figura 17 - Direitos Minerários por fases e Composição Colorida RGB.



Fonte: elaboração própria.

A Figura 18 ilustra a distribuição espacial dos processos minerários destacando as diferentes substâncias, permitindo identificar a distribuição dos processos e

substâncias e a concentração e expansão das atividades de garimpo ao longo dos rios principais e seus afluentes.

A substância diamante, está localizada nos afluentes do Igarapé do Cumarú, onde há desmatamento por garimpo tanto em 2017, quanto em 2024.

Os processos com a substância cassiterita, a Norte, estão localizados nos afluentes do Rio Crepori, onde não há evidência de garimpo em 2017, já em 2024 a evidência de garimpo é pouco expressiva. Ainda ao Norte, no Igarapé Cumarú e seus afluentes há desmatamento por garimpo em 2017 e um grande avanço em 2024. Na região Sul, nos afluentes do Rio Pacu, igarapés Carneirinho, Goiás e Ponte Segura é significativo o desmatamento por garimpo já em 2017, e com novos avanços em 2024.

O ouro, substância que predomina amplamente por toda a área, possui processos minerários ao longo de todas as drenagens que apresentam desmatamento por garimpo tanto em 2017 como após, como por exemplo os igarapés do Centrinho, Embaúba, Ponte Segura, Carneirinho, Goiás e Cantagalo.

7.5 GEOLOGIA E ÁREAS DESMATADAS PELO GARIMPO

Por meio da Figura 19 observa-se que o garimpo ocorre em quase todas as unidades litológicas da área de estudo ao longo das drenagens, áreas de depósitos aluvionares, com predominância na Suíte Intrusiva Tropas, Suíte Intrusiva Parauari. As concentrações de garimpo, encontram-se ao longo dos rios e igarapés, especialmente nas áreas associadas a essas suítes intrusivas.

Para compreender a interação entre os processos de desmatamento relacionados ao garimpo e as características geológicas da região, apresenta-se no Quadro 2 a relação entre localização, unidades litoestratigráficas e desmatamento causado pelo garimpo de ouro e cassiterita nos anos 2017 e 2024.

Quadro 2 - Relação entre localização por setor da área de estudo, unidades litoestratigráficas e presença de desmatamento por garimpo de ouro e cassiterita por ano (destacado em cinza).

Localização	Unidades litoestratigráficas	Desmatamento por garimpo de Ouro e Cassiterita	
		2017	2024
Norte da APA Igarapé Cantagalo e Cumaru	Depósito aluvionar		
	Suíte Intrusiva Tropas		
	Suíte Intrusiva Parauari		
	Suíte Intrusiva Maloquinha	-----	
Central	Granito Pepita	-----	
Sul da APA Igarapé Centrinho, Ponte Segura, Carneirinho, Goiás	Depósito aluvionar		
	Suíte Intrusiva Tropas		
	Suíte Intrusiva Parauari		

Fonte: elaboração própria.

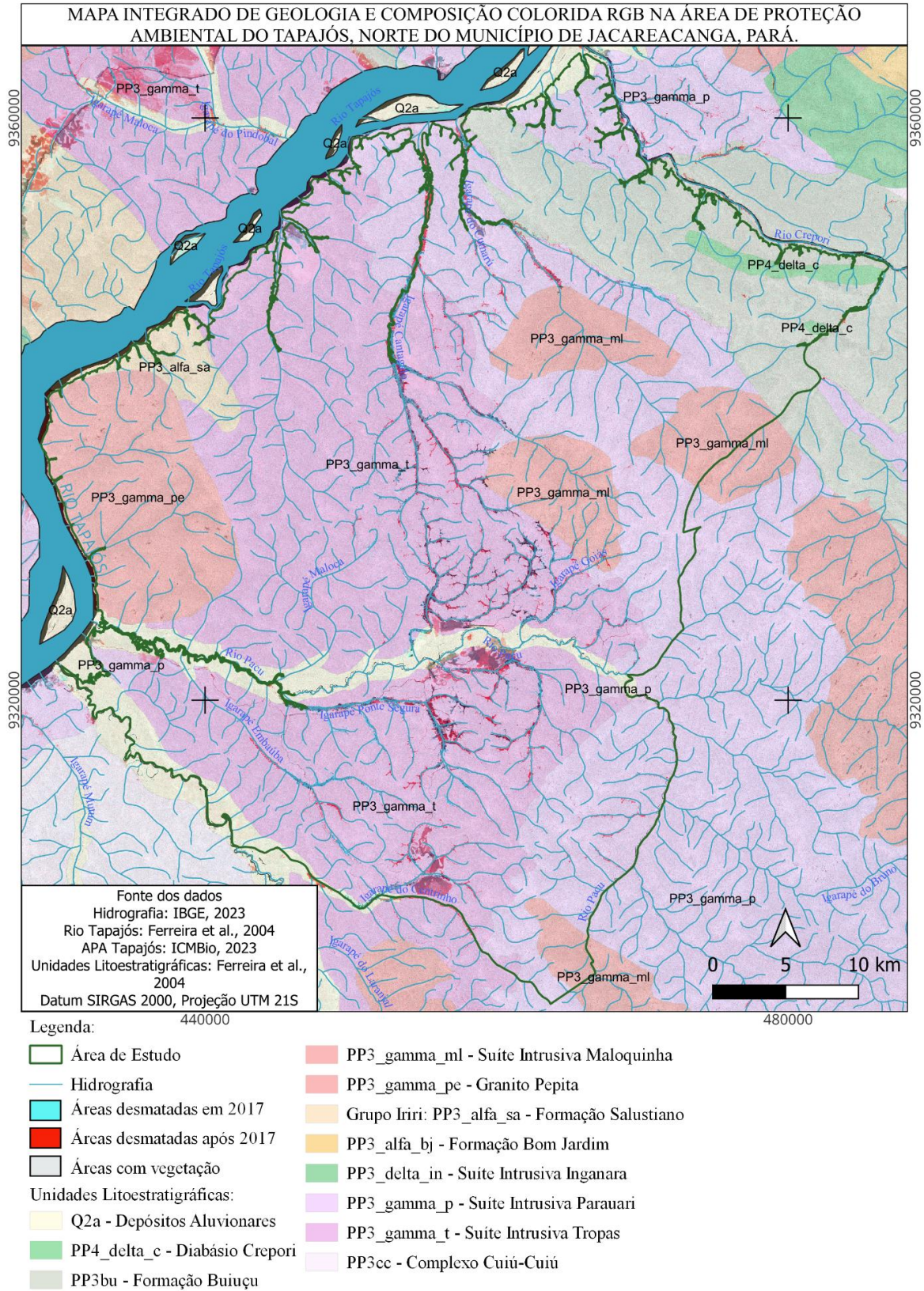
Ao Norte há grande concentração de garimpo de ouro e cassiterita nos igarapés Cantagalo e Cumarú e seus afluentes, que estão localizados nas unidades Suíte Intrusiva Tropas, Suíte Intrusiva Parauari e Suíte Intrusiva Maloquinha. Na Suíte Intrusiva Maloquinha o garimpo é expressivo somente após 2017. Já nas duas primeiras unidades o garimpo é intenso tanto em 2017 como após, no entanto no extremo Norte, na Suíte Intrusiva Parauari, onde há processos minerários de ouro nos afluentes do Rio Crepori, houve apenas garimpo recente.

Ao Sul, na unidade Suíte Intrusiva Tropas, nota-se uma grande concentração de garimpo recente, como também a presença de vegetação secundária evidenciando o garimpo anterior a 2017, como nas drenagens Igarapé do Centrinho, no limite da área de estudo. O mesmo padrão ocorre nos afluentes da bacia hidrográfica do Rio Pacu, nos igarapés Ponte Segura, Carneirinho, Goiás, onde ocorre ouro e cassiterita.

Ainda ao Sul, na Suíte Intrusiva Parauari nota-se o avanço recente de garimpo em alguns afluentes, sem nomes definidos, do Rio Pacu. Nesta área há presença de ouro.

Na região central, na unidade Granito Pepita há garimpos pontuais, possivelmente de ouro, de pequena extensão em 2024.

Figura 19 - Geologia e áreas desmatadas pelo garimpo na área de estudo.



Fonte: elaboração própria.

8. DISCUSSÕES

8.1 PROCESSOS MINERÁRIOS E GEOLOGIA

A área de abrangência dos processos minerários ativos no norte da APA Tapajós é muito significativa com 2.027,406 km², representando 98,86% da área total. Ouro e cassiterita são as substâncias com maiores quantidades de processos, com destaque ao ouro que abrange 80,20% da área total dos processos.

Em relação às fases dos processos minerários, no que diz respeito à área, a mais abrangente é a Autorização de Pesquisa com 1.024,848 km² (50,55%).

As fases Requerimento de Lavra e Requerimento de Lavra Garimpeira, correspondem respectivamente a 100,963 km² (4,98%) e 341,726 km² (16,85%). A fase Lavra Garimpeira, na qual de fato pode ser exercida a atividade garimpeira, corresponde a 1,75% da área total de processos minerários.

De acordo com Klein *et al.* (2001) o ouro ocorre em depósitos aluvionares e nas Suítes Intrusivas Parauari e Maloquinha. Analisando-se os processos de ouro nas fases Requerimento de Lavra, Requerimento de Lavra Garimpeira e Lavra Garimpeira, constata-se que esses três tipos de processos minerários para ouro estão localizados nas 03 unidades litológicas já apontadas por Klein *et al.* (2001) e também na Suíte intrusiva Tropas, Granito Pepita e Formação Buiucu.

A cassiterita, conforme Santos *et al.* (1975) e Ferreira *et al.* (2000), está presente nos depósitos aluvionares, e de acordo com Pessoa *et al.* (1977), Prazeres *et al.* (1979) e Almeida (2000a, b) também há ocorrências na Suíte Intrusiva Maloquinha, Granito Pepita e Formação Salustiano. Observou-se que os processos minerários na fase Requerimento de Lavra Garimpeira para cassiterita, estão localizados na Suíte Intrusiva Maloquinha, Tropas, Parauari e Formação Buiucu. Não há registro de processos minerários para a substância cassiterita no Granito Pepita e na Formação Salustiano.

O diamante, conforme Santos *et al.* (1975), Branco (1984) e Collyer *et al.* (1994), é descrito nos depósitos aluvionares, há apenas um processo na fase Autorização de Pesquisa de 97,287 km² e abrange as Suítes Intrusivas Parauari, Maloquinha e Formação Buiucu.

Historicamente, a produção da Província Mineral do Tapajós é predominantemente realizada por meio de garimpos em depósitos secundários

(Juliani *et al.*, 2014). De acordo com Klein *et al.* (2001), as mineralizações secundárias do tipo aluviões e placers estão distribuídas em todas as unidades litoestratigráficas com ocorrências de mineralizações primárias, como a Suíte Intrusiva Maloquinha, Suíte Intrusiva Parauari, e Granito Pepita no caso da cassiterita.

Dessa forma, é possível associar os processos minerários e as ocorrências de garimpo de ouro, cassiterita e diamante às áreas a jusante das principais drenagens da região. Essa relação ocorre devido ao transporte dessas substâncias ao longo dos rios, a partir das rochas fontes, como as unidades Suíte Intrusiva Maloquinha e Suíte Intrusiva Parauari, localizadas geralmente a montante das principais drenagens.

8.2 AVANÇO DO DESMATAMENTO CAUSADO PELO GARIMPO EM DEPÓSITOS ALUVIONARES

Por meio da composição colorida RGB é possível afirmar que o avanço do desmatamento por garimpo ocorre amplamente por diversas drenagens, devido a ocorrência de ouro e cassiterita em depósitos aluvionares.

Ao Norte da APA é possível observar o desmatamento tanto em 2017 quanto em 2024, ocorrendo predominantemente nos igarapés do Cumarú e Cantagalo que desembocam diretamente no Rio Tapajós.

Ao Sul, na bacia do Rio Pacu e na sub-bacia do Igarapé do Centrinho, também é possível observar que o desmatamento por garimpo ocorreu no ano de 2017 e avançou em 2024.

8.3 SUBSTÂNCIAS CASSITERITA, OURO E DIAMANTE E O DESMATAMENTO POR GARIMPO

De forma geral, os processos minerários de cassiterita estão localizados nos igarapés Cumarú e seus afluentes, Carneirinho, Goiás e Ponte Segura, onde se tem evidências do desmatamento por garimpo principalmente em depósitos aluvionares em 2017 como em 2024.

Em relação ao ouro, os processos minerários estão amplamente distribuídos pela área, mas o desmatamento por garimpo em depósitos aluvionares em 2017 como em 2024 ocorre principalmente nos igarapés do Centrinho, Embaúba, Ponte Segura, Carneirinho, Goiás e Cantagalo.

Já o diamante, localizado nos afluentes do Igarapé Cumarú, também possui evidências de desmatamento por garimpo no ano de 2017 e em 2024.

8.4 FASES DOS PROCESSOS MINERÁRIOS E O DESMATAMENTO POR GARIMPO

Os processos minerários, nas fases de Requerimento de Lavra e Requerimento de Lavra Garimpeira em geral o desmatamento por garimpo é evidente tanto em 2017 quanto em 2024, nos igarapés do Cumarú e Cantagalo, e na bacia do Rio Pacu.

Na fase Lavra Garimpeira nos igarapés do Cumarú, Cantagalo e Carneirinho, o desmatamento por garimpo também é evidente tanto em 2017 quanto 2024.

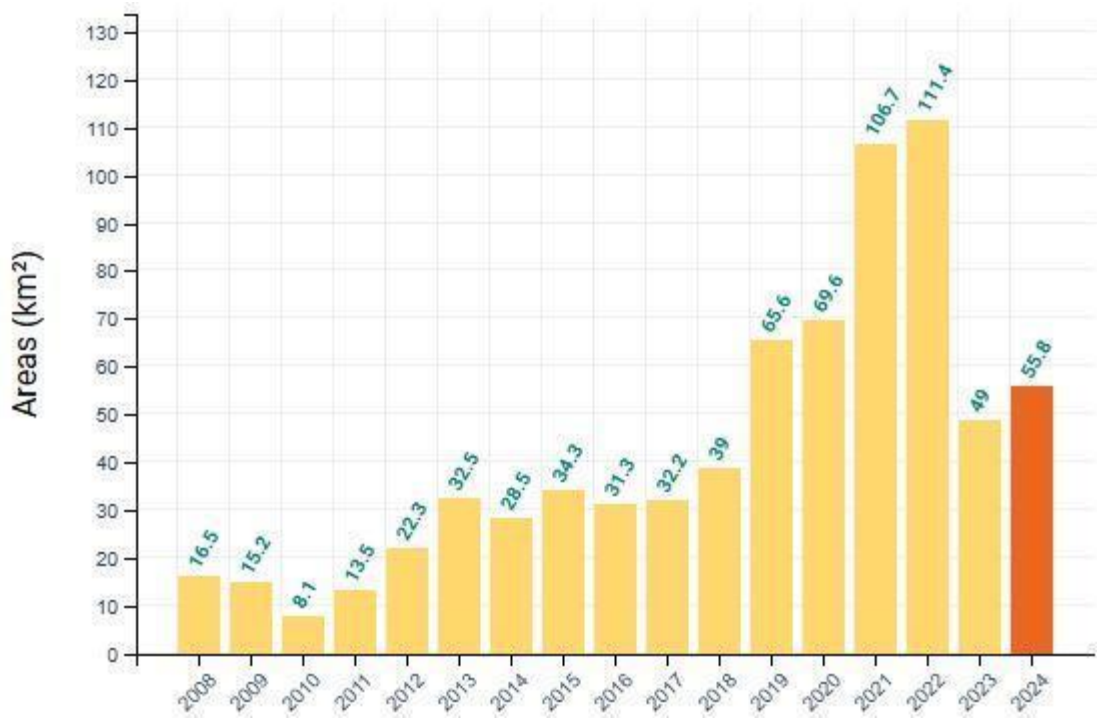
As demais fases, Autorização de Pesquisa, Disponibilidade e Requerimento de Pesquisa, as quais cobrem extensas áreas, estão presentes tanto em locais sem garimpo quanto em áreas onde o garimpo já ocorria em 2017 e avançou em 2024.

Mesmo, apesar de a fase Lavra Garimpeira corresponder a 1,75% da área total de processos minerários, onde de fato pode ser exercida a atividade garimpeira, ao se correlacionar com os resultados observados a partir da composição colorida RGB, se vê evidências de garimpo em todas as fases presentes na área, sendo assim, o garimpo é realizado em áreas não permitidas.

8.5 DESMATAMENTO NA APA TAPAJÓS

Essa expansão de desmatamento por garimpo observada na APA se relaciona aos dados do PRODES, que apontam ao todo 529,3 km² desmatados de 2017 a 2024 (Figura 20). Além disso dados do PRODES também apontam a APA do Tapajós como a quarta Unidade de Conservação na Amazônia Legal mais desmatada considerando os dados de 2008 a 2024.

Figura 20 - Desmatamento na APA do Tapajós.



Fonte: PRODES (2024).

De acordo com relatórios do Imazon gerados pelos dados do Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD), em junho de 2017 a APA do Tapajós foi a segunda Unidade de Conservação mais afetada por desmatamento com um total de 25,9 km² (Amorim *et al.*, 2024), neste mesmo mês em 2024, a APA também foi a segunda mais desmatada, sendo 6 km² desmatados (Fonseca *et al.*, 2017).

De acordo com os dados do DETER, entre 2017 a 2024 foram 3.251 avisos de desmatamento totalizando 439,82 km², destes 218,33 km² associados à classe mineração, 218,24 km² da classe desmatamento com solo exposto e 3,25 km² de desmatamento com vegetação. Ficando assim como a segunda área de proteção com maior área de desmatamento (INPE, 2024).

Dessa forma, correspondendo ao observado neste trabalho, a APA do Tapajós apresenta um histórico constante de desmatamento relacionado principalmente ao garimpo em depósitos aluvionares para a exploração de ouro, e cassiterita, estando presente ao longo das principais drenagens da bacia hidrográficas do Rio Pacu e sub-bacia do Igarapé do Centrinho, assim como nos Igarapés do Cumarú e Cantagalo.

9. CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou analisar o avanço do desmatamento causado pelo garimpo na Área de Proteção Ambiental do Tapajós no norte do município de Jacareacanga e sua relação com a geologia do local e os processos minerários ativos.

Nota-se que o desmatamento ocorre em geral com vetores de avanço em direção a montante ao longo das drenagens, indicando uma relação direta com o garimpo em depósitos aluvionares. Essa associação é evidenciada pelos processos minerários ativos, nos quais as substâncias exploradas são o ouro, a cassiterita e o diamante.

É notável o avanço do desmatamento pelo garimpo ao longo das drenagens tanto em áreas com processos minerários de Lavra Garimpeira como nas demais fases, o que permite concluir que a extração tanto de ouro como de cassiterita está sendo realizada de forma ilegal.

Embora existam legislações, que visam coibir práticas ilegais de desmatamento e garimpo, é evidente que estas não são inteiramente cumpridas. A criação da APA Tapajós, uma área de uso sustentável, representa um esforço significativo para a proteção ambiental. Contudo, a ausência de zoneamento e de um plano de manejo para a área ainda representa um desafio.

Essa lacuna permite indefinições quanto aos usos permitidos no território, comprometendo os objetivos centrais de uma área de proteção ambiental. Assim, não se garante plenamente a preservação da biodiversidade, nem a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.

Este estudo destaca a importância de integrar dados de geologia, direitos minerários, desmatamento e bacia hidrográfica para um entendimento mais abrangente das atividades de garimpo na APA Tapajós.

A metodologia empregada demonstrou-se eficaz para identificar padrões espaciais de desmatamento e sua relação com a geologia e os processos minerários. No futuro pode-se aplicar a toda a APA do Tapajós, além de incluir a quantificação das áreas desmatadas por garimpo pelo método de classificação. A aplicação dessa abordagem em outras áreas como Unidades de Conservação e Terras Indígenas, pode contribuir para a identificação da dinâmica das atividades garimpeiras, assim fornecendo informações detalhadas e fundamentais para a gestão ambiental.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA IBGE NOTÍCIAS. 2020. **IBGE atualiza Mapa da Amazônia Legal**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/28089-ibge-atualiza-mapa-da-amazonia-legal>. Acesso em: 22 out. 2023.

AGUIAR, P. F. Análise da conversão de áreas florestadas para desmatadas por imagens do Sentinel-1A e Sentinel-2A, e dados secundários, em trechos de Senador José Porfírio e Anapu, Região Amazônica, Pará, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 20. Florianópolis, 2023. Anais... Florianópolis, SBO. v. 20.

AMARAL G. 1974. **Geologia Pré-Cambriana da Região Amazônica**. Tese de Livre Docência, IG/USP, 212 p.

ALMEIDA, F.F.M. 1978. **A evolução dos crátons Amazônico e do São Francisco comparada com seus homólogos do hemisfério norte**. In: CONOR. BRAS. GEOL., 30. Recife, 1978. Anais... Recife, SBO. v. 6, p 2393-2407.

ALMEIDA, F.F.M; HASUI, Y. **O Pré-cambriano do Brasil**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 378 p. 1984.

ALMEIDA, M.E. et al (Org.). **Geologia e recursos minerais da Folha Vila Mamãe Anã - SB.21-V-D**: Estados do Amazonas e Pará: Escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 2000. 1 CD-ROM. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB). Projeto Especial Província Mineral do Tapajós (Promin Tapajós).

ALMEIDA, M.E. Recursos Minerais. In: ALMEIDA, M.E.; BRITO, M.F.L. de; FERREIRA, A.L.; MONTEIRO, M.A.S. (orgs.) **Projeto Especial Província Mineral do Tapajós**. Geologia e recursos minerais da Folha Vila Mamãe Anã (SB.21-V-D). Estados do Pará e Amazonas. Escala 1:250.000. Nota explicativa. Manaus, CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 2000a.

ALMEIDA, M.E. Recursos Minerais. In: FERREIRA, A.L.; ALMEIDA, M.E.; BRITO, M.F.L. de; MONTEIRO, M.A.S. (orgs) Projeto Especial Província Mineral do Tapajós. Geologia e recursos minerais da Folha Jacareacanga (SB.21-Y-B). Estados do Pará

e Amazonas. Escala 1:250.000. Nota explicativa. Manaus, CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 2000b.

ANDRADE, A.F.D. et al. **Projeto Tapajós-Sucunduri**: relatório de integração geológica. Manaus: DNPM/CPRM, 1978. 175 p.

AMORIM, L. et al. **Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD) – Julho de 2022**. Belém: Imazon, 2022. Disponível em: <https://imazon.org.br/publicacoes/sistema-de-alerta-de-desmatamento-sad-julho-de-2022/>. Acesso em: 22 out. 2023.

Amorim, L. et al. **Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD) – Junho de 2024**. Belém: Imazon, 2024. Disponível em: <https://imazon.org.br/publicacoes/sistema-de-alerta-de-desmatamento-sad-junho-de-2024/>. Acesso em: 15 nov. 2024.

BAHIA, R.B.C.; QUADROS, M.L.E.S. (Org.). **Geologia e recursos minerais da Folha Caracol SB.21-X-C**. Estados do Pará e Amazonas. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 2000. 1 CD-ROM. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB). Projeto Especial Província Mineral do Tapajós (Promin Tapajós).

BAHIA, R.B.C. et al. **Formação Buiúçu - Descrição das unidades litoestratigráficas e litodêmicas**. In: KLEIN, E.L. et al. (Org.). Geologia e Recursos Minerais da Província Mineral do Tapajós: Folhas Vila Mamãe Anã (SB.21-V-D), Jacareacanga (SB.21-Y-B), Caracol (SB.21-X-C), Vila Riozinho (SB.21-Z-A) e Rio Novo (SB.21-Z-C), Estados do Pará e Amazonas, Escala 1:500.000. Brasília: CPRM, 2001. 1 CD-ROM. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB).

BASSO, G. **Garimpo de ouro na região do Alto Tapajós, na Amazônia paraense. O ouro é extraído nos “baixões” – áreas de várzea próximas a igarapés, onde o minério lavado pelas chuvas se acumula. O desmatamento e a contaminação e assoreamento dos igarapés são alguns dos impactos da exploração**. National Geographic, 10 mar. 2021. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2021/03/por-dentro-da-capital-do-garimpo-ouro-ilegal-da-amazonia>. Acesso em: 10 jul. 2024.

BIZINELLA, G.A. et al. **Projeto Tapajós-Sucunduri**: relatório final. Texto. Manaus: DNPM/CPRM, 1980. Parte I, v. I-B, p. 357-700, il.

BRANCO, P.C.de A. Principais Depósitos Minerais: conceitos, metodologia e listagem. In: SCHOBENHAUS Fº, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, R.G.; ASMUS, H.E. (coord) **Mapa geológico do Brasil e das áreas oceânicas adjacentes, incluindo depósitos minerais**. Escala 1:2.500.000. Brasília: DNPM, 1984.

BRASIL. **Decreto de 13 de fevereiro de 2006**. Cria a Área de Proteção Ambiental - APA do Tapajós, localizada nos Municípios de Itaituba, Jacareacanga, Novo Progresso e Trairão, no Estado do Pará, e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2006.

BRASIL. **Decreto-Lei nº 1.985, de 29 de janeiro de 1940**. Código de Minas. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1 fev. 1940. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1937-1946/del1985.htm. Acesso em: 11 set. 2024.

BRASIL. **Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967**. Dá nova redação ao Decreto-lei nº 1.985, de 29 de janeiro de 1940. (Código de Minas). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 fev. 1967. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del0227.htm. Acesso em: 11 set. 2024.

BRASIL. **Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018**. Regulamenta o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, a Lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978, a Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989, e a Lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 12 jun. 2018. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9406.htm#:~:text=9406&text=Regulamenta%20o%20Decreto%20Lei%20n%C2%BA,que%20lhe%20confere%20o%20art. Acesso em: 11 set. 2024.

BRASIL. **Lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978**. Dispõe sobre regime especial para exploração e o aproveitamento das substâncias minerais que especifica e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 set. 1978. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6567.htm. Acesso em: 11 set. 2024.

BRASIL. **Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989**. Altera o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, cria o regime de permissão de lavra garimpeira, extingue o regime

de matrícula, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 jul. 1989. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L7805.htm. Acesso em: 11 set. 2024.

BRASIL. **Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2000.

BRASIL. **Lei nº 12678, de 25 de junho de 2012.** Dispõe sobre alterações nos limites dos Parques Nacionais da Amazônia, dos Campos Amazônicos e Mapinguari, das Florestas Nacionais de Itaituba 1, Itaituba II e do Crepori e da Área de Proteção Ambiental do Tapajós; altera a Lei nº 12.249, de 11 de junho de 2010; e dá outras providências. Brasília, 25 jun. 2012.

BRITO, M.F.L. et al. **Petrografia e litogeoquímica da Suíte Intrusiva Maloquinha, registro de magmatismo tipo-A na Província do Tapajós.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 6., 1997, Salvador. Anais... Salvador: SBG, 1997. p. 847-857.

BRITO, M.F.L.; ALMEIDA, M.E.; MACAMBIRA, M.J.B. **$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age of calc-alkaline rapakivi granite in Tapajós Gold Province, Amazon Craton - Brazil.** In: SOUTH-AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 2., Córdoba-Argentina. 1999. Extend Abstracts...Córdoba–Argentina, 1999. p. 40-43.

BRITO, M.F.L. Suíte Intrusiva Parauari. In: ALMEIDA, M.E. et al. (Org.). **Geologia e recursos minerais da Folha Vila Mamãe Anã (SB.21-V-D); Estados do Pará e Amazonas.** Escala 1:250.000. Nota explicativa. Brasília: CPRM, 2000a. 1 CD-ROM. Projeto Especial Província Mineral do Tapajós (Promin Tapajós).

BRITO, M.F.L. Granito Pepita. In: ALMEIDA M.E. et al. (Org.). **Geologia e recursos minerais da Folha Vila Mamãe Anã (SB.21-V-D); Estados do Pará e Amazonas. Escala 1:250.000.** Nota explicativa. Brasília: CPRM, 2000b. 1 CD-ROM. Projeto Especial Província Mineral do Tapajós (Promin Tapajós).

COSTA J.B.S.; HASUI Y. 1997. **Evolução geológica da Amazônia.** In: Costa, M.L., Angélica, R.S. (eds.). Contribuições à Geologia da Amazônia, FINEP/SBG-NO, Belém, Pará, 15-90.

CORDANI U.G.; BRITO NEVES B.B. de. 1982. **The geological evolution of South America during the Archean and Early Proterozoic.** Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 12, p. 78-88.

CORDANI U.G., TASSINARI C.C.G.; TEIXEIRA W.; BASEI M.A.S.; KAWASHITA K. 1979. **Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos.** In: Congresso Geológico Chileno, 2, Arica, Chile, Actas, p. 137-148.

COUTINHO, M. G. N. (ed.) **Província Mineral do Tapajós:** Geologia, metalogenia e mapa provisional para ouro em SIG. Rio de Janeiro: CPRM, 2008.

COLLYER, T.A.; RODRIGUES, E.G.; LIMA, M.I.C.de; MACHADO, J.I.L.; STILIANID F.B.; AZEVEDO, L.O.R.; GRANJEIRO, I.S. **Mapa gemológico do Estado do Pará.** Belém: SUDAM/IDESP, 1994.

DALL'AGNOL, R.; SILVA C.M.G.; SCHELLER T. **Fayalite Hedenbergite Rhyolites of Iriri Formation, Tapajós Gold Province, Amazonian Craton: implication for the Uatumã volcanism.** In: Simpósio sobre Vulcanismos e ambientes associados, 1., 1999, Gramado. Boletim de resumos. Gramado: SBG, 1999. p. 31.

EMBRAPA TERRITORIAL. **Satélites de Monitoramento.** Campinas, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento>. Acesso em: 1 mai. 2024.

ESA. **Sentinel-2.** Disponível em: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/copernicus/sentinel-2>. Acesso em: 02 jul. 2024.

ESA. **Sentinel-1 Applications.** Disponível em: <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s1-applications>. Acesso em: 11 jan. 2025.

FEARNSIDE, P. M. **Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle.** *Acta Amaz.*, 2006, vol.36, no.3, p.395-400.

FERREIRA A. L.; ALMEIDA M. E.; BRITO, M. F. L.; MONTEIRO, M. A. S. 2000. **Geologia e recursos minerais da Folha Jacareacanga (SB.21-Y-B), Estados do Amazonas e Pará.** Nota explicativa, Projeto Especial Província Mineral do Tapajós. Manaus, PROMIM Tapajós/CPRM, escala 1: 250.000.

FERREIRA, A. L.; RIZZOTTO, G. J.; QUADROS, M. L. E. S.; BAHIA, R. B. C; LOPES, R. C.; OLIVEIRA, M. A. 2004. **Folha SB.21- Tapajós.** In: C. Schobbenhaus, J.H. Gonçalves, J.O.S. Santos, M.B. Abram, R. Leão Neto, G.M.M. Matos, R.M. Vidotti, M.A.B. Ramos, J.D.A. Jesus, (eds.). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília.

FIGUEIREDO, P. **APA do Tapajós é unidade de conservação da Amazônia mais desmatada em 2023.** PlenaMata, 28 abr. 2023. Atualizado em 8 maio 2023. Disponível em: <https://plenamata.eco/noticias/2023/04/28/apa-do-tapajos-e-unidade-de-conservacao-da-amazonia-mais-desmatada-em-2023>. Acesso em: 15 jun. 2024.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

FONSECA, A. et al. **Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD) – Junho de 2017.** Belém: Imazon, 2017. Disponível em: <https://imazon.org.br/publicacoes/boletim-do-desmatamento-da-amazonia-legal-junho-2017-sad/>. Acesso em: 15 nov. 2024.

FORMAN, J.H.A. et al. **Pesquisa Mineral no Iriri/Curuá: relatório preliminar.** Belém: Sudam/Departamento de Recursos Naturais, 1972.

GEISER, G. **Mineração de pequena escala, impacto ambiental de grande escala.** *O Eco*, 2020. Disponível em: <https://oeco.org.br/colunas/mineracao-de-pequena-escala-impacto-ambiental-de-grande-escala/>. Acesso em: 10 jul. 2024.

HASUI, Y., HARALY, N.L.E., SCHOBENHAUS, C. 1984. **Elementos geofísicos e geológicos da Região Amazônica: Subsídios para o modelo geotectônico.** In: SYMPOSIUM AMAZÔNICO, 2, Manaus-AM, 1984. Anais...Manaus: SBG, 1984, v.1, p.129-148.

INPE. **PRODES-Amazônia.** Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. Acesso em: 11 nov. 2023. São Paulo, 2021.

INPE. **Classificação: tutorial do SPRING.** 2006. Disponível em: <https://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>. Acesso em: 2 jul. 2024.

INPE. **COORDENAÇÃO GERAL DE OBSERVAÇÃO DA TERRA. PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA AMAZÔNIA E DEMAIS BIOMAS. Desmatamento – Amazônia Legal.** 2024. Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 15 nov. 2024.

ISA. 2005. **Mineração em Terras Indígenas na Amazônia brasileira.** São Paulo: Instituto Socioambiental.

ISSLER, R.S. **Esboço geológico-tectônico do Cráton do Guaporé.** Revista Brasileira de Geociências, v. 7, n. 3, p. 177-211, 1977.

JULIANI, C. et al. 2014. Metalogênese da Província Tapajós. In: SILVA, M.G.; NETO, M.B.R.; JOST, H.; KUYUMJIAN, R.M. (org.). **Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras.** Belo Horizonte: CPRM. p. 229-268.

KLEIN, E. L.; ALMEIDA, M. E.; VASQUEZ, M. L.; BAHIA R. B. C.; QUADROS, M. L. E. S.; FERREIRA, A. L. (Orgs.). 2001. **Geologia e recursos minerais da Província Mineral do Tapajós:** Folhas: Vila Mamãe Anã (SB.21-V-D), Jacareacanga (SB.21-Y-B), Caracol (SB.21-X-C), Vila Riozinho (SB.21-Z7-A) e Rio Novo (SB.21-Z7-C). Estados do Pará e Amazonas. Escala 1:500.000. Nota explicativa e mapas, CPRM, Brasília.

KLEIN, E. L.; CARVALHO, J. M. A. C. 2008. Recursos Minerais. In: VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. (orgs.). **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas — SIG: Texto explicativo dos mapas geológico e tectônico e de recursos minerais do Estado do Pará.** Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM. p.217-269.

LAMARÃO, C. N.; DALL'AGNOL, R.; LAFON, J. M.; LIMA, E. F. 2002. **Geology, geochemistry and Pb- Pb zircon geochronology of the paleoproterozoic magmatism of Vila Riozinho, Tapajós Gold Province, Amazonian Craton, Brazil.** Precambrian Research, v. 119, p. 189-223.

MANZOLLI, B. et al. **Legalidade da produção de ouro no Brasil.** Belo Horizonte: Editora IGC/UFGM, 2021. Disponível em: http://www.lagesa.org/wp-content/uploads/documents/Manzoli_Rajao_21_Illegalidade%20cadeia%20do%20Ouro.pdf. Acesso em: 15 jun. 2024.

MARQUES, M. **O que significa RGB? Tudo sobre esse Sistema de Cores!.** In: AfixGraf Blog, 2018. Disponível em: <https://www.afixgraf.com.br/blog/o-que-significa-rgb/>. Acesso em: 4 nov. 2024.

MARTINS, A. **Justiça Federal determina ao ICMBio instalação da APA Tapajós e elaboração de plano de manejo.** G1, Santarém e região — PA, 27 jul. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/pa/santarem-regiao/noticia/2022/07/27/justica-federal-determina-ao-icmbio-instalacao-da-apa-tapajos-e-elaboracao-de-plano-de-manejo.ghtml>. Acesso em: 15 jun. 2024.

MELO, A.F.F. et al. **Projeto Tapajós-Sucunduri: relatório final.** Manaus: CPRM/DNPM, 1980. v. I-A, p. 1-356.

MENESES, P. R; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto.** 1. ed. Brasília: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 2012. v. 1. 266p.

MONTEIRO, M.A.S. Diabásio Crepori. In: ALMEIDA, M.E. et al. **Geologia e recursos minerais da Folha Vila Mamãe Anã - SB.21-V-D:** Estados do Pará e Amazonas, escala 1:250.000: Brasília: CPRM, 2000. 1 CD-ROM. Programa Levantamentos Geológicos Básico do Brasil (PLGB). Projeto Especial Província Mineral do Tapajós (Promin Tapajós).

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 1. ed. São José dos Campos: INPE, 2001. 250p.

MOURA, C.A.V.; GORAYEB, P.S.S.; MATSUDA, N.S. **Geocronologia Pb-Pb em zircão do riolito Vila Raiol, Formação Iriri – sudoeste do Pará**. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 6., 1999, Manaus. Resumos expandidos. Manaus: SBG, 1999, p. 475-477.

NORONHA, C. **O que é um processo minerário?** Disponível em: <<https://blog.jazida.com/o-que-e-um-processo-minerario/#:~:text=Um%20processo%20miner%C3%A1rio%20%C3%A9%20o>>. Acesso em: 19 ago. 2024.

NOVO, E. M. L. 1989. **Sensoriamento Remoto**. Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 307 p.

PESSOA, M.R.; SANTIAGO, A.F.; ANDRADE, A.F.; BARRETO, E.L.; NASCIMENTO, J.O.; SANTOS, J.O.S.; OLIVEIRA, J.R.; LOPES, R.C.; PRAZERES, W.V. **Projeto Jamanxim**. Relatório final. Manaus: CPRM/DNPM, 1977, 3v., 614 p.

PRAZERES, W.V.; SANTOS, A. J. dos; CAMPOS, M.J.F. de; CAVALCANTE, O. A. **Projeto Estanho dos Granitos Maloquinha. Relatório Final**. Manaus: CPRM, 1979. 11v. 301p.

RICARDO, F.; ROLLA, A. (org.). **Mineração em Unidades de Conservação na Amazônia brasileira**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2006.

SANTOS, D.B. et al. Geologia. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radam. **Folha SB.21 - Tapajós: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1975.

SANTOS, J.O.S.; LOGUERCIO, S.O.C. **A parte meridional do Cráton Amazônico (Escudo Brasil-Central e as bacias do Alto-Tapajós e Parecis-Alto Xingu**. In: SCHOBENHAUS C. et al. (Coord.). Geologia do Brasil: texto explicativo do mapa

geológico do Brasil e da área oceânica adjacente, incluindo depósitos minerais. Escala 1:250.000. Brasília: DNPM, 1984. p. 93-127.

SANTOS J.O.S.; HARTMANN L.A.; GAUDETTE H. E; GROVES D.I.; MCNAUGHTON N.J.FLETCHER I.R. 2000. **New understanding of the Amazon Craton provinces, based on field work and radiogenic isotope data.** Gondwana Research, v. 3, n. 4, p. 453-488.

SANTOS, J.O.S; GROVES, D. I; HARTMANN, L. A; MOURA, M. A; MCNAUGHTON, N. J. 2001. **Gold deposits of the Tapajós and Alta Floresta Domains, Tapajós-Parima orogenic belt, Amazon Craton, Brazil.** Mineralium Deposita, v. 36, n. 3-4, p. 278-299.

SANTOS, J.O.S. et al. **Timing of mafic magmatism in the Tapajós Province (Brazil) and implication for the evolution of the Amazon Craton:** evidence from baddeleyite and zircon U-Pb SHRIMP geochronology. Journal of South American Earth Sciences, v. 15, p. 409-429, 2002.

SANTOS, J. O. S. **Geotectônica dos Escudos das Guianas e Brasil-Central.** In: Bizzi, L. A; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (eds.) Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Texto, Mapas e SIG. Brasília: CPRM, 2003. p. 169-226.

SANTOS, J. O. S.; VAN BREEMEN, O. B.; GROVES, D. I.; HARTMANN, L. A; ALMEIDA, M. E.; MCNAUGHTON, N. J.; FLETCHER, I. R. 2004. **Timing and evolution of multiple Paleoproterozoic magmatic arcs in the Tapajós Domain, Amazon Craton: constraints from SHRIMP and TIMS zircon, baddeleyite and titanite U-Pb geochronology.** Precambrian Research, v. 13, p. 73-109.

SIMIONATO, Jackson. **Identificação de áreas de garimpo na Floresta Nacional do Crepori (Pará) através de Análise de Imagens Baseada em Objetos Geográficos (GEOBIA) e mineração de dados.** 2019. TCC (graduação) – Curso de Geologia, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

TASSINARI, C.C.G. **Evolução geotectônica da província Rio Negro-Jurena na região amazônica.** Dissertação de Mestrado. IG/USP, 7 dez. 1981.

TASSINARI C.C.G. 1996. **O mapa geocronológico do Cráton Amazônico no Brasil: revisão dos dados isotópicos.** Tese de Livre Docência. IG/USP, 139 p.

TASSINARI, C.C.G.; CORDANI, U.G.; NUTMAN, A.P.; VAN SCHMUS, W.R.; BETTENCOURT, J.S.; TAYLOR, P.N. **Geochronological systematics on basement rocks from the Rio Negro-Juruena Province (Amazonian Craton) and tectonic implications.** International Geology Review, v. 38, p. 161-175, 1996.

TASSINARI, C.C.G.; MACAMBIRA, M.J.B. **Geochronological provinces of the Amazonian Craton.** Episodes, v. 22, n. 3, p. 174-182, 1999.

TASSINARI, C.C.G.; MACAMBIRA, M.J.B. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: NETO-MANTESSO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITO-NEVES, B.B.B. (Coords) **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida.** Beca, p. 471-486, 2004.

TASSINARI, C.C.G. et al. The Amazonian Craton. In: CORDANI, U.G. et al. (Ed.). **Tectonic Evolution of South America.** Rio de Janeiro: 31. International Geological Congress, 2000. p. 41-95.

TEIXEIRA W.; TASSINARI C.C.G.; CORDANI U.G.; KAWASHITA, K. 1989. **A review of the geochronology of the Amazonian Craton: Tectonic implications.** Precambrian Research, v. 42, p. 213-227.

TORRES, D. L. et al. Deforestation Detection with Fully Convolutional Networks in the Amazon Forest from Landsat-8 and Sentinel-2 Images. **Remote Sensing**, v. 13, n. 24, p. 5084, 14 dez. 2021.

VASQUEZ, M.L.; KLEIN, E.L.; QUADROS, M.L.E.S.; BAHIA, R.B.C.; SANTOS, A.; RICCI, P.S.F.; SACHETT, C.R.; SILVA, C.M.G.; MACAMBIRA, M.J.B. 1999. **Magmatismo Uatumã na Província Tapajós: Novos dados geocronológicos.** In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 6, 1999, Manaus, Boletim de Resumos, Manaus: SBG/Núcleo Norte, 471-474.

VASQUEZ, M.L. et al. **Descrição das unidades litoestratigráficas e litodêmicas.** In: VASQUEZ, M.L.; KLEIN, E.L. (Org.). Geologia e recursos minerais da Folha Rio Novo – SB.21-Z-C: Estado do Pará. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 2000a. 1 CD-ROM. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB). Projeto Especial Província Mineral do Tapajós (Promin Tapajós).

VASQUEZ, M.L. et al. **Descrição das unidades litoestratigráficas e litodêmicas.** In: KLEIN, E.L.; VASQUEZ, M.L. (Org.). Geologia e recursos minerais da Folha Vila Riozinho – SB.21-Z-A: Estado do Pará. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 2000b. 1 CD-ROM. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB). Projeto Especial Província Mineral do Tapajós (Promin Tapajós).

VASQUEZ, M.L.; KLEIN, E.L.; RICCI, P. **Granitóides póscolisionais da porção leste da Província Tapajós.** In: KLEIN, E.L., VASQUEZ, M.L.; ROSA-COSTA, L.T. (Eds.). Contribuições à geologia da Amazônia. Belém: SBG, 2002. v. 3, p. 67-84.

VASQUEZ, M.L.; MACAMBIRA, M.J.B.; ARMSTRONG, R.A. **Zircon geochronology of granitoids from the western Bacajá domain, southeastern Amazonian Craton, Brazil: neoarchean to orosirian evolution.** Precambrian Research, v. 161, p. 279-302, 2008.

VASQUEZ M.L.; ROSA-COSTA L.T.; SILVA C.M.G.; KLEIN E.L. 2008a. Compartimentação Tectônica. In: VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. (orgs.). **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas — SIG: Texto explicativo dos mapas geológico e tectônico e de recursos minerais do Estado do Pará.** Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM. p.39-112.

VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T.; SILVA, C. M. G.; RICCI, P. S. F.; BARBOSA, J. P. O.; KLEIN, E. L.; LOPES, E. C. S.; MACAMBIRA, E. M. B.; CHAVES, C. L.; CARVALHO, J. M. A.; OLIVEIRA, J. G. F.; ANJOS, G. C.; SILVA, H. R. 2008b. Unidades Litoestratigráficas. In: VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. (orgs.). **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas — SIG: Texto explicativo dos mapas geológico e tectônico e de recursos minerais do Estado do Pará.** Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM. p. 113-216.

VEIGA, M. M; SILVA, A. R; HINTON, J. J. **O Garimpo de Ouro na Amazônia: Aspectos Tecnológicos, Ambientais e Sociais.** In: Extração de ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente. Cap.11. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002.