UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

JUNIA WINNER HIGINO PEREIRA

MAPEAMENTO DO USO ALTERNATIVO DO SOLO MEDIANTE SENSORIAMENTO REMOTO: MINERAÇÃO E MONOCULTURAS NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (APA) DO RIO TIBIRI, EM SANTA RITA-PB

João Pessoa-PB
2026

JUNIA WINNER HIGINO PEREIRA

MAPEAMENTO DO USO ALTERNATIVO DO SOLO MEDIANTE SENSORIAMENTO REMOTO: MINERAÇÃO E MONOCULTURAS NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (APA) DO RIO TIBIRI, EM SANTA RITA-PB

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal da Paraíba, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. RAIMUNDO APRÍGIO DE MENEZES JÚNIOR

JOÃO PESSOA

2026

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

P436m Pereira, Junia Winner Higino.
Mapeamento do uso alternativo do solo mediante sensoriamento remoto : mineração e monoculturas na Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Tibiri, em Santa Rita-PB / Junia Winner Higino Pereira. - João Pessoa, 2026.
132 f. : il.

Orientação: Raimundo Aprígio de Menezes Júnior.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Geoprocessamento. 2. Ocupação do solo. 3. Unidades de conservação. 4. Recursos hídricos. I. Menezes Júnior, Raimundo Aprígio de. II. Título.

UFPB/BC CDU 528(043)

Elaborado por RUSTON SAMMEVILLE ALEXANDRE MARQUES DA SILVA - CRB-15/0386

JUNIA WINNER HIGINO PEREIRA

MAPEAMENTO DO USO ALTERNATIVO DO SOLO MEDIANTE SENSORIAMENTO REMOTO: MINERAÇÃO E MONOCULTURAS NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (APA) DO RIO TIBIRI, EM SANTA RITA-PB

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA – da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Trabalho Aprovado. João Pessoa, 11 de fevereiro de 2026.

BANCA EXAMINADORA

gov.br Documento assinado digitalmente
RAIMUNDO APRIGIO DE MENEZES JUNIOR
Data: 22/02/2026 21:55:22-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Raimundo Aprígio de Menezes Júnior
Universidade Federal da Paraíba

gov.br Documento assinado digitalmente
GUSTAVO FERREIRA DA COSTA LIMA
Data: 18/02/2026 15:45:43-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Gustavo Ferreira da Costa Lima
Universidade Federal da Paraíba

gov.br Documento assinado digitalmente
ANDRE LUIZ QUEIROGA REIS
Data: 23/02/2026 08:43:22-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. André Luiz Queiroga Reis
Universidade Federal da Paraíba

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Senhor Jesus Cristo, que me proporciona proteção, amor, paz, esperança e um novo recomeço a cada amanhecer. E como sinal de respeito à diversidade religiosa do nosso país, agradeço também a todos aqueles que professam com coragem a sua fé e respeitam a liberdade do próximo em escolher suas crenças, pois, para mim, essa é a dimensão política do amor ao próximo.

À minha gratidão especial são para minha família e meus amigos, que estão sempre ao meu lado, auxiliando-me a superar as adversidades do cotidiano. É o carinho, paciência e amor de vocês que me fazem seguir a jornada da vida, de forma feliz e resiliente.

Agradeço ao meu orientador, o professor Raimundo Menezes, pela dedicação e pelo empenho para execução da pesquisa, que me ensinou os fundamentos do trabalho científico e me incentivou a prosseguir na jornada acadêmica. Também expresso minha gratidão aos meus amigos e aos professores do mestrado, especialmente a Luíz Carlos e a Paloma Lacerda, pela amizade sincera.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), ao Núcleo de Estudos e Assessoria a Movimentos Populares Samuel Firmino (NUSEAMPO) e ao Núcleo de Documentação e Informação Histórica Regional (NDIHR), que integram a Universidade Federal da Paraíba, pelo suporte técnico-científico e pelo apoio a pesquisa em prol da conservação do Rio Tibiri. E ao Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa para financiamento da pesquisa.

E agradeço a banca examinadora desta dissertação, por realizar a leitura atenciosa, por analisar os fundamentos desta pesquisa e por elaborar argumentos que contribuíram para o aperfeiçoamento do trabalho.

RESUMO

O uso alternativo do solo promove alterações nas feições terrestres devido às intervenções antrópicas que modificam os solos, suprimem a flora e interferem nos recursos hídricos. Este cenário é um desafio para implantação de unidades de conservação, no sentido de proteger características naturais relevantes, tais como aquíferos, formações geológicas e remanescentes de vegetação nativa. Tal conjuntura se aplica à Área de Proteção Ambiental (APA) criada na cidade de Santa Rita-PB, no ano de 2023, cuja finalidade é conservar o manancial que mantém o abastecimento público e que integra o bioma Mata Atlântica. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é mapear áreas de mineração de areia e de monoculturas na APA do Rio Tibiri, mediante análise de imagens multitemporais captadas por sensores orbitais. Metodologicamente, realizou-se a integração entre dados geoespaciais (imagens de satélite e aerofotogrametria), documentos históricos (relatórios governamentais) e dados públicos disponíveis no Sistema de Informações Geográficas da Mineração (SIGMINE) e no Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR), além da pesquisa de campo. Por conseguinte, os resultados da pesquisa evidenciaram os elementos naturais que sofreram intervenções dessas atividades econômicas ao longo do tempo: desestruturação territorial de lagoas efêmeras (afluentes do Rio Tibiri), desmatamento de remanescentes de Mata Atlântica e supressão da flora típica do Cerrado. Ratificou-se a hipótese de que essas modificações ocorreram de forma paulatina e foram se intensificando durante a transição do século XX para o século atual, por causa da interconexão dos setores agrícolas, mineração de areia e execução de obras públicas (construção de estradas e expansão do setor elétrico). Porém, refutou-se a hipótese de que a mineração ilegal ameaça a conservação dos recursos naturais da APA, antes sim a extração de areia ocorre de forma regulamentada, mediante outorga de títulos minerários pelos órgãos competentes, principalmente no regime de Licenciamento expedido pelo Poder Público Municipal. Outrossim, constatou-se que a Reserva Legal e as Áreas de Preservação Permanente (APPs), localizadas no maior latifúndio da cidade (78,7 km^2), contribuíram para conservar os remanescentes da vegetação nativa e, atualmente, esses territórios protegidos integram a APA do Rio Tibiri. A pesquisa também identificou as monoculturas de abacaxi e de cana-de-açúcar no entorno do rio, devido às características que diferenciam cada cultivo, somada às particularidades das plantas. Esses resultados são relevantes porque o mapeamento da ocupação dos solos e sua evolução temporal é um dos pré-requisitos para planejamento contínuo de unidades de conservação, especialmente na modalidade de uso sustentável.

Palavras-Chave: Geoprocessamento. Ocupação do solo. Unidades de Conservação. Recursos hídricos.

ABSTRACT

Alternative land use promotes changes in land features due to anthropogenic interventions that modify soils, suppress flora, and interfere with water resources. This scenario presents a challenge for the implementation of conservation units, in order to protect relevant natural characteristics such as aquifers, geological formations, and remnants of native vegetation. This situation applies to the Environmental Protection Area (EPA) created in the city of Santa Rita-PB in 2023, whose purpose is to conserve the water source that maintains public water supply and is part of the Atlantic Forest biome. Therefore, the objective of this work is to map areas of sand mining and monocultures in the Tibiri River EPA, through the analysis of multitemporal images captured by orbital sensors. Methodologically, the study integrated geospatial data (satellite images and aerial photogrammetry), historical documents (government reports), and public data available in the Mining Geographic Information System and the Rural Environmental Registry System, in addition to field research. Consequently, the research results highlighted the natural elements that have been affected by these economic activities over time: territorial disruption of ephemeral lagoons (tributaries of the Tibiri River), deforestation of remaining Atlantic Forest areas, and suppression of typical Cerrado flora. The hypothesis that these modifications occurred gradually and intensified during the transition from the 20th to the 21st century, due to the interconnection of the agricultural sector, sand mining, and the execution of public works (road construction and expansion of the electricity sector), was confirmed. However, the hypothesis that illegal mining threatens the conservation of the EPA's natural resources was refuted; rather, sand extraction occurs in a regulated manner, through the granting of mining titles by the competent bodies, mainly under the licensing regime issued by the Municipal Public Authority. Furthermore, it was found that the Legal Reserve and the Permanent Preservation Areas, located in the largest landholding in the city (78,7 km^2), contributed to conserving the remnants of native vegetation, and currently, these protected territories are part of the Tibiri River EPA. The research also identified pineapple and sugarcane monocultures around the river, due to the characteristics that differentiate each crop, in addition to the particularities of the plants. These results are relevant because mapping land use and its temporal evolution is one of the prerequisites for the continuous planning of conservation units, especially in the sustainable use modality.

Keywords: Geoprocessing. Land use. Conservation units. Water resources.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Espectro eletromagnético e processos moleculares decorrentes da interação entre REM e objeto..... 19
Figura 2 – Curva espectral da vegetação, da água e do solo.....20
Figura 3 – Análise comparativa entre satélites: efeitos da resolução espacial e radiométrica..22
Figura 4 – Aeronave EMB-110 Bandeirante do INPE e seus sensores remotos: câmara fotográfica automática.....23
Figura 5 – Linha do tempo dos satélites da família Landsat.....25
Figura 6 – Linha do tempo dos satélites da família CBERS.....26
Figura 7 – Quantidade de UCs por bioma no Brasil..... 41
Figura 8 – Remanescentes de Mata Atlântica na APA do Rio Tibiri, Santa Rita-PB..... 45
Figura 9 – Perfil geológico na região do Rio Tibiri, Santa Rita-PB..... 48
Figura 10 – Exemplos de solos existentes na região do Rio Tibiri, Santa Rita-PB..... 51
Figura 11 – Localização da APA do Rio Tibiri.....52
Figura 12 – Linha do tempo referente ao Plano de Manejo para APA do Rio Tibiri.....56
Figura 13 – Área de estudo: APA do Rio Tibiri, Santa Rita-PB..... 58
Figura 14 – Contraste entre arquivo vetorial (A) e sua sobreposição no FABDEM (B)..... 63
Figura 15 – Polígonos, títulos e recursos minerais existentes na circunvizinhança do Rio Tibiri.....73
Figura 16 – Áreas de mineração de areia na circunvizinhança do Rio Tibiri, Santa Rita-PB.. 74
Figura 17 – Lagoas naturais versus acúmulo de água em solos modificados pela mineração de areia..... 75
Figura 18 – Vegetação e cortes topográficos no médio curso do Rio Tibiri, Santa Rita-PB.... 76
Figura 19 – Corte topográfico no médio curso do Rio Tibiri (Galeria Pluvial), Santa Rita-PB.....77
Figura 20 – Local da mina de saibro (composição das bandas 321) e água com sedimentos em suspensão (composição das bandas 342), médio curso do Rio Tibiri, Santa

Rita-PB.....78
Figura 21 – Pictográfico: regimes minerários, prazo de vigência e tipo de substância..... 79
Figura 22 – Classificação da ocupação do solo por ano (1995-2015), Santa Rita-PB..... 83
Figura 23 – Classificação da ocupação do solo no ano de 2022, Santa Rita-PB..... 84
Figura 24 – Canaviais e abacaxizeiros no alto curso do Rio Tibiri, Santa Rita-PB.....85
Figura 25 – Incidência de queimadas por ano (2010-2020), Santa Rita-PB.....86
Figura 26 – Alto e médio curso do Rio Tibiri dentro da Propriedade rural nº 5, Santa Rita-PB.....87
Figura 27 – Local da Lagoa Paturi e modificações no solo, Santa Rita-PB..... 88
Figura 28 – Agricultura e mineração de areia no local da Lagoa Tibiri, Santa Rita-PB.....89
Figura 29 – Nascente e olhos d'água no Rio Tibiri: A) Processos geofísicos que originam afloramentos de água subterrânea; B) Nascente no alto curso; C) Olho d'água no médio curso; D) Olho d'água no baixo curso.....91
Figura 30 – Lagoa Paturi após décadas de intervenções antrópicas e exemplo de flora local..92
Figura 31 – Estágios do desenvolvimento da turfa e o aplainamento de depressões alagadas.93
Figura 32 – Solo arenoso oriundo do Pós Barreira II (A) e ocorrência no entorno do Rio Tibiri (B)..... 97
Figura 33 – Afloramento de água subterrânea após a lavra de areia..... 99
Figura 34 – Captação de água às margens do Rio Tibiri: abastecimento público de Santa Rita-PB.....100

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Diferenças conceituais entre dado, informação e sistema.....18
Quadro 2 – Principais características dos regimes de mineração..... 32
Quadro 3 – Principais empecilhos socioeconômicos e jurídicos que dificultam a implantação de UCs.....44
Quadro 4 – Fases de criação da APA do Rio Tibiri..... 53
Quadro 5 – Problematizações levantadas durante a audiência pública para criação da APA Tibiri.....54
Quadro 6 – Propriedades rurais avaliadas nesta pesquisa.....60
Quadro 7 – Fases da pesquisa de campo.....61
Quadro 8 – Número de bandas, comprimentos de onda e sensores orbitais da constelação de satélites.....64
Quadro 9 – Condições climáticas na data do imageamento pelo satélite CBERS 4A.....65
Quadro 10 – Análise espectral mediante composições coloridas e índices físicos.....67
Quadro 11 – Mineração de areia no alto curso do Rio Tibiri, Santa Rita-PB..... 82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas
ANE	Águas do Nordeste
ANM	Agência Nacional de Mineração
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Proteção Permanente
CAST	China Academy of Space Technology
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CBERS	Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres
CFEM	Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais
CODEMA	Conselho Municipal de Desenvolvimento do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAB	Força Aérea Brasileira
FABDEM	Forest and Buildings removed Copernicus DEM
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFPB	Instituto Federal da Paraíba
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
LANDSAT	Land Remote Sensing Satellite
LPVN	Lei da Proteção à Vegetação Nativa
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital de Terreno
MEI	Microempreendedores Individuais
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
NASA	National Aeronautics and Space Administration
ONU	Organização das Nações Unidas
PMSR	Prefeitura Municipal de Santa Rita
PRA	Programa de Regularização Ambiental
PROÁLCOOL	Programa Nacional do Álcool

RESEX	Reserva Extrativista
REM	Radiação Eletromagnética
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
SEMMA	Secretaria Municipal de Meio Ambiente
SEAPPA	Secretaria Municipal de Agricultura, Pecuária, Pesca e Abastecimento
SEI	Serviço Eletrônico de Informação
SICAR	Sistema de Cadastro Ambiental Rural
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIGEF	Sistema de Gestão Fundiária
SIGMINE	Sistema de Informações Geográficas da Mineração
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
STF	Supremo Tribunal Federal
UC	Unidade de Conservação
UFPB	Universidade Federal da da Paraíba
USGS	United States Geological Survey

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....15

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....17

2.1 SENSORIAMENTO REMOTO: CONCEITOS E APLICAÇÕES.....17

2.1.1 Interações da matéria com a radiação eletromagnética.....19

2.1.2 Aerofotogrametria e satélites artificiais.....23

2.1.2.1 Constelação de satélites artificiais: Landsat, CBERS e Orbview-3.....24

2.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E JUSTIÇA AMBIENTAL: ANÁLISE APLICADA A MINERAÇÃO E A AGRICULTURA.....27

2.2.1 Mineração.....30

2.2.2 Organização espacial do cultivo e principais características das plantas: cana-de-açúcar e abacaxi.....33

2.2.2.1 Cana-de-açúcar.....33

2.2.2.2 Abacaxi.....36

2.3 INSTRUMENTOS DE TUTELA AMBIENTAL.....37

2.3.1 Unidade de Conservação (UC).....40

2.3.1.1 Área de Proteção Ambiental (APA).....41

2.3.2 Dicotomia entre lei e prática: principais desafios para tirar UCs do papel.....43

2.4 RIO TIBIRI (SANTA RITA-PB): CARACTERÍSTICAS GEOFÍSICAS E PROTEÇÃO AMBIENTAL.....45

2.4.1 Características geofísicas.....45

2.4.1.1 Vegetação e clima.....45

2.4.1.2 Relevo e litologia.....47

2.4.1.3 Solos.....49

2.4.2 APA do Rio Tibiri.....52

3 MATERIAL E MÉTODOS.....57

3.1 ÁREA DE ESTUDO.....57

3.2 COLETA DE DADOS..... 58
3.2.1 Pesquisa documental..... 58
3.2.1.1 Bases de dados públicos sobre Mineração..... 58
3.2.1.2 Bases de dados públicos sobre Agricultura..... 59
3.2.2 Pesquisa de campo..... 60
3.2.3 Modelo Digital de Elevação (MDE)..... 62
3.2.4 Imagens de satélite..... 64
3.3 PROCESSAMENTO, INTEGRAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS..... 66
4 RESULTADOS..... 68
4.1 USO ALTERNATIVO DO SOLO NO CONTEXTO DO RIO TIBIRI: MINERAÇÃO E MONOCULTURAS..... 68
4.1.1 Documento e mapa histórico..... 68
4.1.2 Imagens de satélite e pesquisa documental..... 70
4.2 MINERAÇÃO..... 73
4.2.1 Imagens de satélite e pesquisa de campo..... 73
4.2.2 Integração de dados..... 80
4.3 AGRICULTURA: CANA-DE-AÇÚCAR E ABACAXI..... 82
4.3.1 Imagens de satélite e pesquisa de campo..... 82
4.3.2 Integração de dados..... 86
5 DISCUSSÕES..... 90
5.1 PROTEÇÃO AMBIENTAL NO RIO TIBIRI: MARCAS DO PASSADO QUE AINDA ESTÃO PRESENTE..... 90
5.1.1 Recursos hídricos..... 90
5.1.2 Desmatamento para uso alternativo do solo..... 94
5.2 MINERAÇÃO E SUSTENTABILIDADE: ELEMENTOS OPOSTOS OU PROJETO DE LONGO PRAZO?..... 96
5.2.1 Dimensões técnicas e socioambientais: repercussões na APA do Rio Tibiri..... 96
5.2.2 Dimensão jurídica aplicada a APA do Rio Tibiri..... 100

5.3 LIMITES E POTENCIALIDADES DA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL..... 102
5.3.1 Dimensões técnicas e socioambientais: repercussões na APA do Rio Tibiri.....102
5.3.2 Dimensão jurídica aplicada a APA do Rio Tibiri.....104
6 RECOMENDAÇÕES PARA A APA DO RIO TIBIRI: DESAFIOS E ESTRATÉGIAS. 106
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 108
REFERÊNCIAS..... 111
APÊNDICE A – MAPA HIPSOMÉTRICO..... 121
APÊNDICE B – MAPA DE DECLIVIDADE..... 122
APÊNDICE C – MAPA DE DOMÍNIOS DE SOLOS E REMANESCENTES DE VEGETAÇÃO NATIVA..... 123
APÊNDICE D – MAPA GEOLÓGICO.....124
APÊNDICE E – SÉRIE TEMPORAL DA COBERTURA DO SOLO (2000-2022).....125
APÊNDICE F – USO ALTERNATIVO DO SOLO NO ANO DE 1970.....126
APÊNDICE G – USO ALTERNATIVO DO SOLO NO ANO DE 1976.....127
APÊNDICE H – USO ALTERNATIVO DO SOLO NO ANO DE 1985.....128
APÊNDICE I – USO ALTERNATIVO DO SOLO NO ANO DE 2001..... 129
APÊNDICE J – USO ALTERNATIVO DO SOLO NO ANO DE 2006.....130
APÊNDICE K – MINERAÇÃO E MONOCULTURAS NO ALTO CURSO DO RIO TIBIRI.....131
ANEXO A – EXEMPLO DE PARECER TÉCNICO AVALIADO NESTA PESQUISA..... 132

1 INTRODUÇÃO

A diversidade de biomas existentes no país continental apresenta desafios para a gestão do território, como a Amazônia, o Cerrado e os remanescentes da Mata Atlântica. E o esforço em equilibrar ocupação territorial e conservação da flora é o fundamento do uso alternativo do solo, isto é, a substituição de vegetação nativa e formações sucessoras por outras coberturas do solo, como atividades agropecuárias, mineração e assentamentos urbanos (Brasil, 2012).

Daí surge um questionamento pertinente: como alcançar lugares longínquos, em curto espaço de tempo, para obter dados confiáveis sobre o uso alternativo do solo? O sensoriamento remoto se destaca entre as possíveis soluções para tal questionamento, tendo em vista os investimentos econômicos e o empenho científico para aprimorar as tecnologias nesta área. Principalmente quando os dados são livres para o acesso público, além de serem mantidos por agências de pesquisa com reconhecimento a nível internacional.

A preservação ambiental tem exigido esforços conjuntos entre vários países, no sentido de financiar o desenvolvimento de tecnologias com capacidade de captar imagens de grandes espaços e com alta resolução. A finalidade é o monitoramento de fatores que provocam mudanças climáticas, tais como desmatamento, emissão de gases poluentes e degradação dos solos. Um exemplo é a família de satélites artificiais do Programa CBERS, Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres, mantido pela parceria entre Brasil e China (INPE, 2025).

O governo estadunidense também operacionaliza uma família de satélites artificiais, o mais longevo do mundo: trata-se da missão Landsat (Land Remote Sensing Satellite), que monitora a superfície terrestre desde a década de 1970 (USGS, 2025a). Os Estados Unidos é um país pioneiro na criação de territórios ambientais protegidos (Parques Naturais), porém, as pressões socioeconômicas para reduzir os limites dos parques suscitam reflexões sobre a validade de flexibilizar a preservação, enquanto se amplia os lucros dos setores imobiliário, minerário e comércio de madeiras (Mattiuzzo, 2025).

Diante de problemáticas ambientais urgentes, o sensoriamento remoto é uma estratégia global para levantamento de dados e análise espacial, a exemplo do uso alternativo do solo no entorno de recursos hídricos. Neste contexto situa-se o objeto de estudo desta dissertação: o Rio Tibiri é uma sub-bacia hídrica que integra a macroestrutura do Rio Paraíba e abastece a cidade de Santa Rita-PB com água potável.

Para conservar as características naturais relevantes e organizar atividades econômicas exercidas na região, foi instituída recentemente a Área de Proteção Ambiental (APA) e "compreende do alto e médio curso do rio Tibirizinho, possui diversas intervenções antrópicas, a exemplo da presença da exploração mineral (extração de areia), culturas agrícolas (canaviais e abacaxis)" (PMSR, 2023, p. 17).

Diante do exposto, justifica-se problematizar os limites e possibilidades em conciliar desenvolvimento econômico e sustentabilidade, pois as intervenções humanas repercutem nas feições terrestres mediante o uso alternativo do solo. Por isso, a primeira hipótese desta pesquisa foi que a responsabilização unilateral da monocultura canavieira pela supressão da vegetação encobre a realidade multidimensional da ocupação do território. E a segunda hipótese foi que a mineração de areia não regulamentada é predominante na APA municipal.

Por conseguinte, o objetivo do presente trabalho foi investigar o uso alternativo do solo na APA do Rio Tibiri, utilizando técnicas de sensoriamento remoto. Especificamente, os objetivos foram: I. identificar áreas de mineração de areia no entorno do rio, mediante análise de imagens multitemporais captadas por sensores orbitais; II. mapear a ocupação territorial de monoculturas (cana-de-açúcar e abacaxi); III. e elaborar recomendações para o Comitê Gestor da APA, com estratégias para orientar os setores minerários e agrícolas.

No que se refere a estrutura da dissertação, o primeiro capítulo (Fundamentação Teórica) contextualiza as quatro temáticas essenciais para execução da pesquisa: I. conceitos e técnicas na área do sensoriamento remoto; II. discussão sobre a polissemia do desenvolvimento sustentável, os desafios da justiça ambiental e suas implicações na mineração e na agricultura, esclarecendo o funcionamento técnico e os principais dispositivos legais que regem esses setores econômicos; III. compreensão dos instrumentos de tutela ambiental em vigência na área de estudo, com foco nas potencialidades e limites de implantação de APAs municipais; IV. apresentação das características geofísicas do Rio Tibiri e dos procedimentos institucionais que criaram a unidade protetiva na cidade de Santa Rita-PB.

Após a apresentação da Metodologia de pesquisa, expõe-se os capítulos de Resultados e Discussões que foram divididos em três subseções. Inicialmente, analisou-se os documentos históricos e as imagens do Landsat que mostram a estrutura territorial do Rio Tibiri, bem como evidenciam as transformações ocasionadas pelo uso alternativo do solo. Em seguida, as subseções sobre mineração e agricultura mostram a realidade contemporânea, por meio do

imageamento realizado pelo sensor WPM do CBERS 4A, no período de 2020 a 2025. Essas subdivisões acomodaram a gama de dados provenientes da integração com o Sistema de Informações Geográficas da Mineração (SIGMINE) e o Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR), cujos *shapefiles* foram sobrepostos às imagens de alta resolução.

Diante dos resultados da pesquisa, elaborou-se recomendações destinadas ao Poder Público Municipal, no sentido de contribuir para a implantação da APA do Rio Tibiri, cujo Plano de Manejo se encontra na fase de elaboração. Por fim, os Apêndices são constituídos por mapas (hipsometria, declividade, solos, vegetação e litologia) e imagens de satélite referentes ao rio da cidade dos canaviais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SENSORIAMENTO REMOTO: CONCEITOS E APLICAÇÕES

O sensoriamento remoto é um conjunto de procedimentos para obter imagens do espaço geográfico, nos contextos físico, social e ambiental. Conforme Florenzano (2011), o termo "sensoriamento" se refere a sensores instalados em plataformas (suporte terrestre ou equipamento aéreo). E a palavra "remoto" faz alusão à distância, isto é, a capacidade dos sensores para captar ondas eletromagnéticas emitidas (como a faixa do infravermelho termal) e refletidas (luz visível, por exemplo) pelos objetos. A depender do tipo de sensor, pode-se registrar imagens nas esferas terrestre, semi-orbital e orbital. Por isso que "a base da tecnologia de sensoriamento remoto é a detecção das alterações sofridas pela radiação eletromagnética quando interage com os componentes da superfície terrestre" (Mendes; Cirilo, 2013, p. 186).

A operacionalização é feita pela integração de métodos, instrumentos e técnicas para obtenção dos dados, como câmeras, radares, antenas receptoras e sistemas computacionais (Florenzano, 2011). E a evolução dos equipamentos fotográficos e dos satélites artificiais ampliaram o potencial para monitorar territórios extensos. Mesmo assim, o contato entre pesquisador e objeto permanece como pré-requisito para o ciclo de coletar, interpretar e validar, em campo, a veracidade dos dados obtidos.

Conceitualmente, há distinções entre os termos dado, informação, sistema e sistema de informação (Quadro 1). Mas o elo que permite a aplicação ao sensoriamento remoto é o

georreferenciamento através de coordenadas geográficas, que orientam a disposição espacial de dados e informações. Além disso, é necessário o uso de escala para representar grandes áreas em peças limitadas, como papéis, filmes fotográficos, etc.

Quadro 1 – Diferenças conceituais entre dado, informação e sistema

CONCEITO	DESCRIÇÃO
Dado	Aspecto quantitativo ou qualitativo sobre o fenômeno observado.
Informação	Conjunto de dados interpretados e dotados de significado lógico.
Sistema	Conjunto integrado de elementos interdependentes, que são organizados para formar uma estrutura que executa determinada função.
Sistema de informação	Estrutura utilizada para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar informações vinculadas ao sistema.

Fonte: Elaborado pela autora com base em Fitz (2008).

Neste sentido, a organização dos elementos em banco de dados e a formulação de ideias válidas sobre o fenômeno estudado dependem do geoprocessamento, isto é: “um conjunto de tecnologias, que, trabalhando integradamente, ajudam a representar, simular, planejar, gerenciar o ‘Mundo Real’” (Mendes; Cirilo, 2013, p. 52). A compreensão lógica das inter-relações entre os objetos georreferenciados envolve processos cognitivos do analista (seleção, generalização e síntese), para formular modelos que representam a realidade e visa alcançar algum propósito, como a análise de recursos hídricos: “o rio pode ser considerado um indicador do estado de equilíbrio da área drenada, caracterizando ou não o nível de sustentabilidade da região” (Mendes; Cirilo, 2013, p. 41).

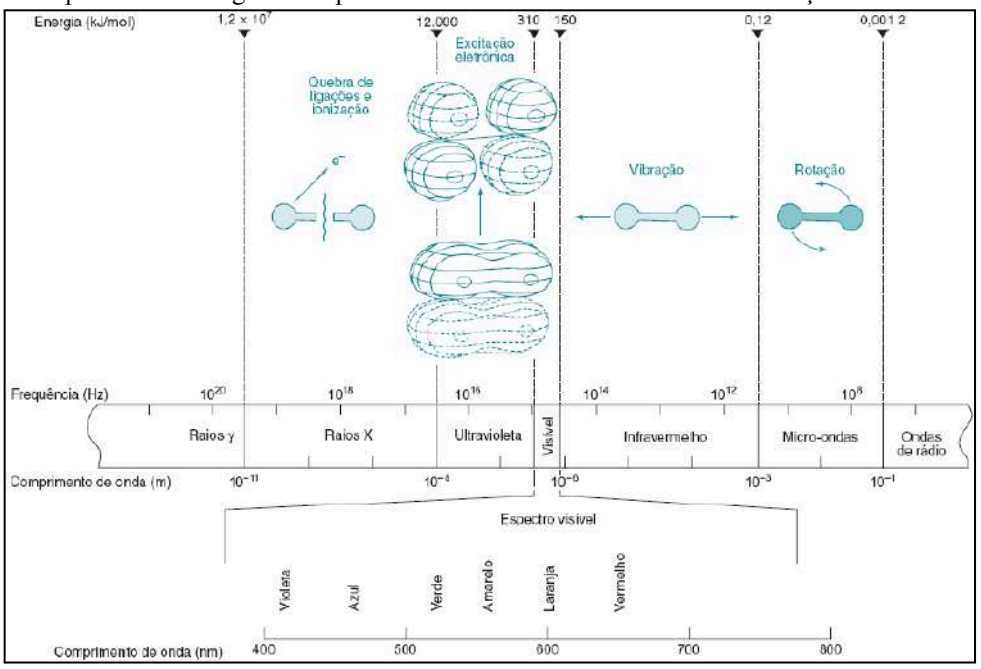
Diante da complexidade do mundo real que repercute no geoprocessamento, as ciências computacionais se integram ao sensoriamento remoto através do Sistema de Informações Geográficas (SIG). Trata-se de “um sistema computacional que trabalha um número infinito de informações de cunho geográfico” (Fitz, 2008, p. 22). O estudo de sistemas aquáticos continentais, por exemplo, reúne informações sobre o “clima, a topografia da região em que se encontra inserido, seu regime hidrológico, uso e cobertura da terra de sua bacia de drenagem” (Barbosa; Novo; Martins, 2019, p. 21). Daí que a utilização de hardwares e softwares para processamento das informações agilizam a análise multidimensional do território.

Neste sentido, o SIG é um conjunto de ferramentas computacionais indispensável para "armazenar (em forma de banco de dados), processar, integrar, analisar, calcular áreas, visualizar e representar (em forma de mapas) informações georreferenciadas" (Florenzano, 2011, p. 47). Os principais arquivos trabalhados no SIG são *raster* (arquivo matricial, isto é, um conjunto de colunas e linhas que formam uma matriz, e cada elemento de imagem, no formato quadricular, chama-se *pixel*) e vetores (arquivo vetorial formado por pontos, linhas e polígonos que, conjuntamente, representam elementos geográficos), mas também se utiliza planilhas, HTML, entre outros (Fitz, 2008). Esse leque de possibilidades permite a aplicação do sensoriamento remoto a várias áreas do conhecimento.

2.1.1 Interações da matéria com a radiação eletromagnética

O movimento da Terra ao redor do Sol e a distância média (148 x 10^6 km) entre os dois permite o desenvolvimento da vida, no processo de evolução e adaptação (Grotzinger; Jordan, 2013). No cotidiano, o Sol emite a luz visível e demais espectros eletromagnéticos (Figura 1), que atravessam, refletem-se ou são absorvidos pela atmosfera. E, os que alcançam a superfície terrestre, ilumina e aquece os elementos bióticos e abióticos.

Figura 1 – Espectro eletromagnético e processos moleculares decorrentes da interação entre REM e objeto

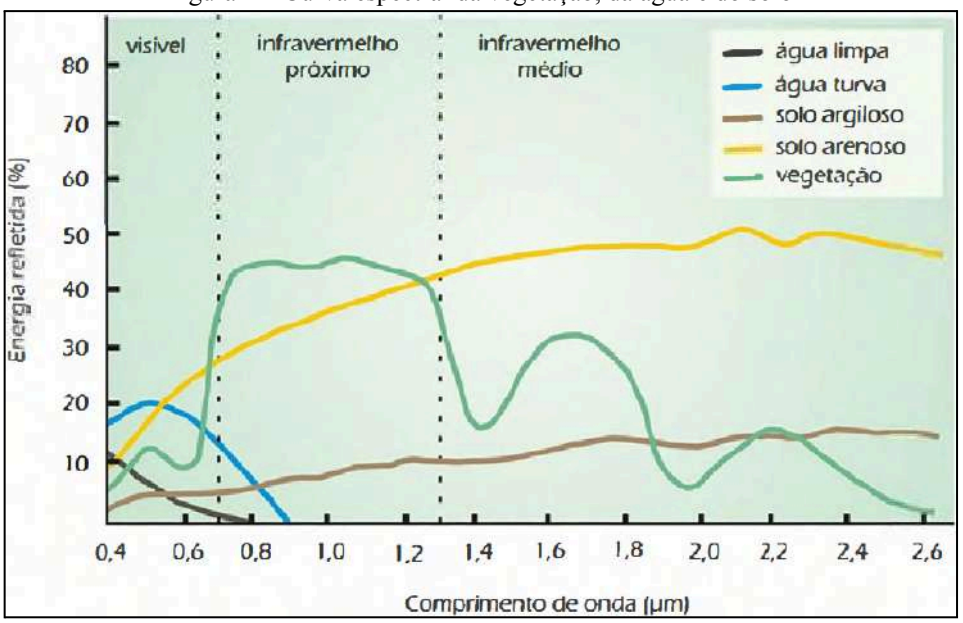


Fonte: Harris (2017, p. 676).

Esse processo é fundamental para operação dos sensores ópticos, pois interagem com as radiações eletromagnéticas (REM) emitidas e refletidas pelos objetos, daí a denominação de sensores passivos: câmeras, escâneres multiespectral e radiômetros, por exemplo (Florenzano, 2011). Em contraposição, o sensor do tipo radar é capaz de emitir REM e captar o sinal refletido pelas feições terrestres, por isso é conhecido como sensor ativo: "por produzirem uma fonte de energia própria na região de microondas, podem obter imagens tanto durante o dia como à noite e em qualquer condição meteorológica (incluindo tempo nublado e com chuva)" (Florenzano, 2011, p. 15).

Do ponto de vista físico, a REM é produzida por "uma perturbação eletromagnética constituída por campos elétricos e magnéticos variando com o tempo e que pode se propagar de uma região do espaço para outra, mesmo quando não existe nenhuma matéria entre essas regiões" (Young; Freedman, 2016b, p. 411). Na prática, isso significa que cada elemento (vegetal, água, solo, etc.) interage de forma diferente com as ondas eletromagnéticas, a depender da composição bioquímica dos seres vivos e dos recursos abióticos (Florenzano, 2011). Por isso a assinatura espectral ajuda a distinguir, cientificamente, os elementos da superfície terrestre (Figura 2).

Figura 2 – Curva espectral da vegetação, da água e do solo



Fonte: Florenzano (2011, p. 12).

A biomassa vegetal em decomposição possui substâncias húmicas, isto é, macromoléculas de estrutura complexa: "Grupos cromóforos como ácidos carboxílicos e

estruturas aromáticas são abundantes nos compostos húmicos, que absorvem fortemente a luz ultravioleta e podem atuar como fotossensibilizadores" (Campos *et al.*, 2001, p. 257). Nos cloroplastos da vegetação sadia, são absorvidos os espectros azul e vermelho durante a fotossíntese, sendo refletida a faixa que proporciona a tonalidade verde das plantas. Porém, a reflexão é maior na faixa do infravermelho próximo, relacionada aos aspectos do tecido vegetal (mesófilo): "quanto mais lacunosa for a estrutura interna foliar, maior será o espalhamento interno da radiação incidente e, consequentemente, maiores serão também os valores dos fatores de reflectância" (Ponzoni; Shimabukuro; Kuplich, 2012, p. 25).

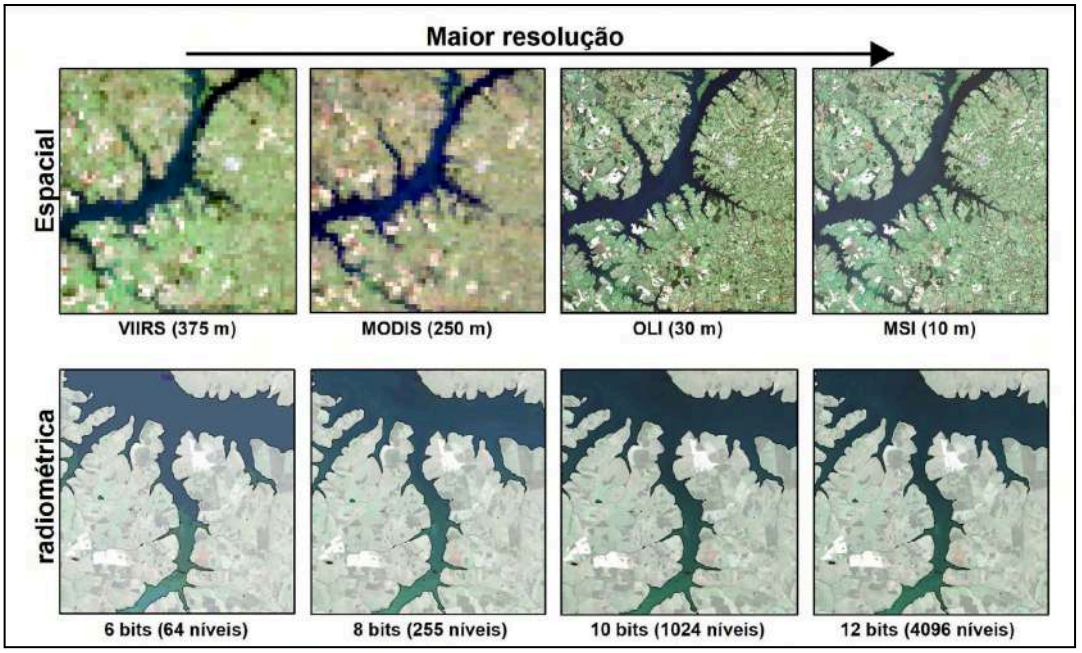
Já o quartzo, principal constituinte mineral da areia, possui estrutura molecular cristalina e é resistente à interação com os raios ultravioleta, além de manter o equilíbrio entre absorção e reflexão do espectro do infravermelho médio (Chaúque, 2020). Por isso que os materiais feitos de quartzo possuem alta resistência térmica, proporcional a elevada capacidade calorífica do mineral (Grotzinger; Jordan, 2013). O gráfico acima comprova esse equilíbrio: no solo arenoso, a quantidade de energia refletida diminui na faixa do infravermelho próximo e segue a tendência em comprimentos de ondas menores, demonstrando a capacidade de absorver energia.

Os sensores que operam na faixa do infravermelho próximo e que registram a vegetação, consequentemente, irão gerar imagens com tonalidades claras nas regiões onde estão as plantas, demonstrando que o espectro de operação foi refletido. Em contraposição, solos arenosos são representados com tonalidade acinzentada, indicando um "comportamento mais uniforme, ou seja, uma variação menor de energia refletida em relação à vegetação, ao longo do espectro" (Florenzano, 2011, p. 12).

O desenvolvimento dos sensores eletrônicos contribui para refinar a sensibilidade de detectar a REM e transformá-la em sinais elétricos que, após serem registrados, são enviados para tratamento em sistemas computacionais, interpretados por equipes especializadas e, por fim, são transformados em dados na forma de gráficos, tabelas ou imagens (Florenzano, 2011). Isso porque existem sensores não-imageadores, que não fornecem "uma imagem bidimensional do terreno. Dentre os sensores não-imageadores pode se destacar os espectrorradiômetros, os altímetros a laser, os radares altímetros, os escaterômetros e as sondas" (Novo, 2010, p. 63). Quando o produto final são imagens, então cada *pixel* representa uma característica do processo de emissão (objeto) e captura (sensor) da energia eletromagnética.

Existem quatro tipos de resolução que caracterizam as tecnologias do sensoriamento remoto: radiométrica, espectral, espacial e temporal. As variações das tonalidades de cinza, no intervalo entre preto e branco, determina a capacidade de resolução radiométrica: "Assim, 1 *bit* significa $2^1 = 2$ tons de ou níveis de cinza (preto e branco, no caso); 8 *bits*, $2^8 = 256$ níveis de cinza; 16 *bits*, $2^{16} = 65.536$ níveis e assim por diante" (Fitz, 2011, p. 116), como mostra o exemplo a seguir (Figura 3):

Figura 3 – Análise comparativa entre satélites: efeitos da resolução espacial e radiométrica



Fonte: Barbosa, Novo e Martins (2019, p. 115).

Já a resolução espectral se refere a representação de imagens de acordo com a sensibilidade para responder aos espectros da REM, organizando os *pixels* em diferentes bandas (Florenzano, 2011). Por isso que a banda está relacionada com a frequência da REM refletida e cada *pixel* apresenta um valor numérico diferente, dependendo da região do espectro (Mendes; Cirilo, 2013). E quanto mais detalhes são obtidas das feições terrestres, maior será a resolução espacial e, consequentemente, favorece a capacidade de distinguir os objetos:

> Em uma fotografia aérea ou imagem de satélite, com uma resolução espacial em torno de 1 m, pode-se identificar as árvores de um pomar, as casas e os edifícios de uma cidade ou os aviões estacionados em um aeroporto, enquanto em uma imagem de satélite, com uma resolução de 30 m, provavelmente será identificado o pomar, a

> mancha urbana correspondente à área ocupada pela cidade e apenas a pista do aeroporto (Florenzano, 2011, p. 17).

Deste modo, os resultados obtidos mediante o sensoriamento remoto dependem do conjunto de metodologias e instrumentos. No caso de aplicações de *drones*, por exemplo, os operadores precisam atuar nas várias fases (captura, processamento e correções dos dados) até obter as informações necessárias. Mas, em algumas situações, os dados são disponíveis em repositórios digitais, com diferentes níveis de processamento e correções (atmosférica, ortorretificação, etc.), tal como as imagens do satélite CBERS, de acesso livre pelo portal da INPE (2025). Contudo, essa opção tem ônus: enquanto o *drone* permite flexibilidade na escolha do horário e local para obter os dados (respeitadas as leis vigentes), as imagens de satélite tem um período para registrar um determinado local. Ou seja, cada modalidade possui resolução temporal diferente.

2.1.2 Aerofotogrametria e satélites artificiais

No começo deste trabalho, afirmou-se que o sensoriamento remoto mediante satélites artificiais é uma das possíveis soluções para monitorar territórios extensos e de forma rápida, tal como a realidade ambiental de um corpo hídrico. Isso porque, em meados do século XX, os equipamentos utilizados para tal fim eram outros. Embarcados em aviões e sobrevoando o local de estudo, as imagens eram obtidas por câmeras, uma das inovações tecnológicas daquele período (Figura 4), chamada de aerofotogrametria: "Nos anos 1960 apareceu a fotogrametria analítica com a introdução dos computadores. Nos anos 90 as fotografias começaram a ser digitalizadas e apareceram as primeiras aplicações da fotogrametria digital" (Silva, 2015, p. 83).

Figura 4 – Aeronave EMB-110 Bandeirante do INPE e seus sensores remotos: câmara fotográfica automática

Fonte: Florenzano (2011, p. 15).

Após à obtenção dos dados, as imagens eram processadas e interpretadas por equipes especializadas, gerando diversos tipos de mapeamento, como cartas topográficas, mapas geológicos e levantamentos da cobertura dos solos. Um exemplo da aplicação desse método foi a iniciativa da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 1974), em parceria com a Força Aérea do Brasil (FAB), durante a década de 1970. Os resultados foram cartas topográficas da região nordestina, em escala 1:25.000, que também retratam o uso alternativo do solo. Deste modo, o documento geográfico também apresenta cariz histórico, porque é um registro da feição terrestre em determinado tempo e espaço.

As revoluções técnico-científicas aprimoram metodologias do sensoriamento remoto, mas a conservação de acervos mediante a digitalização de produtos geográficos antigos, a exemplo da obras supracitada, é fundamental para conhecer a história e suas repercussões no presente: “Em curtos períodos de tempo, terras agrícolas são abandonadas e novas terras são incorporadas à produção, florestas são desmatadas e novas áreas são reflorestadas” (Granell-Pérez, 2004, p. 102).

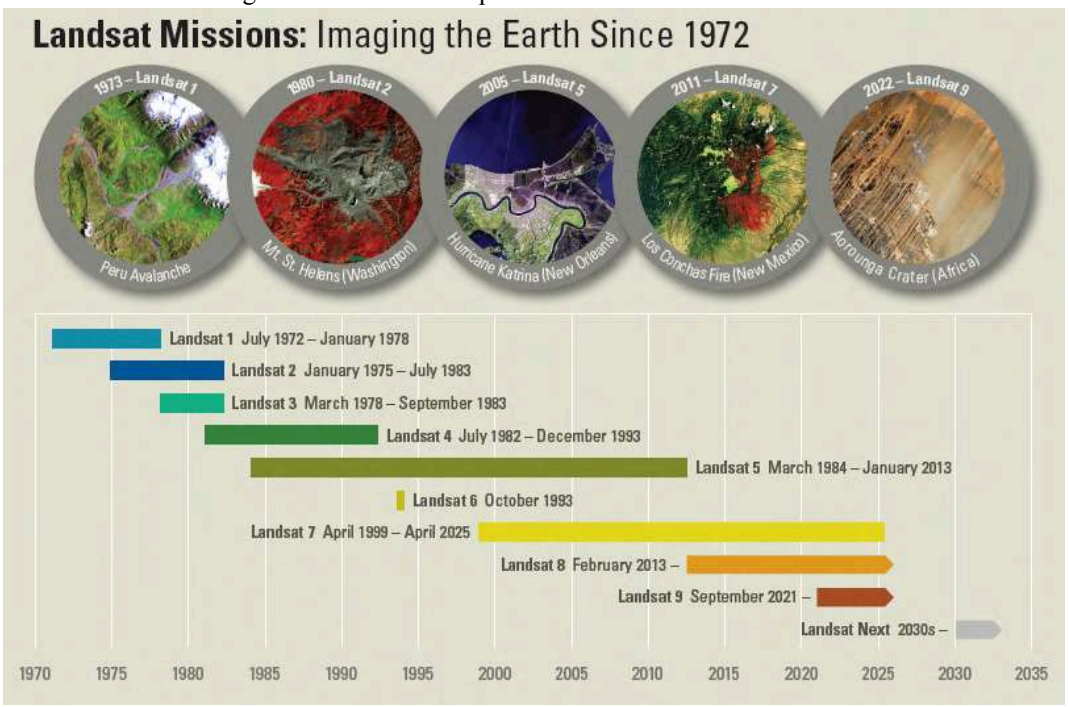
2.1.2.1 Constelação de satélites artificiais: Landsat, CBERS e Orbview-3

O satélite natural da Terra inspirou desde a literatura até a física. As obras literárias sobre viagens interespaciais influenciam o imaginário social. E as leis de Newton (sobreposição de forças e lei gravitacional) e as leis de Kepler (período e geometria da órbita) embasam o funcionamento da tecnologia que orbita ao redor da Terra, semelhante à Lua: os satélites artificiais (Young; Freedman, 2016a). A implementação dessa tecnologia envolve a construção “do próprio satélite, o foguete lançador e o segmento solo, que tem a função de supervisionar o funcionamento do satélite, controlar seu deslocamento na órbita predefinida e a recepção dos dados enviados por ele” (Florenzano, 2011, p. 27).

Após as duas guerras mundiais no século XX, o temor global era a utilização de instrumentos para obter imagens terrestres e aplicá-las em novas empreitadas bélicas, no momento da conhecida batalha ideológica ou Guerra Fria. Mesmo assim, o primeiro satélite artificial foi lançado pela Rússia, em 1957, seguido pelos Estados Unidos, que lançou o Explorer 1, em 1958; porém, foi na década de 1960 que o satélite *Television and Infrared Observational Satellite* (TIROS 1) obteve a primeira imagem que mostra o globo terrestre e os sistemas de circulação atmosférica (Liu, 2015). Em 1972, o estado norte-americano lançou

a primeira missão bem sucedida para imageamento dos recursos terrestres: trata-se do satélite ERTS 1, que pertence ao grupo de satélites Landsat (Florenzano, 2011), como mostra a linha do tempo a seguir (Figura 5):

Figura 5 – Linha do tempo dos satélites da família Landsat



Fonte: USGS (2025a).

A longevidade tem razão de ser: além do alto investimento financeiro, a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) avaliou os critérios técnicos para funcionamento do satélite, no período em que o sensoriamento remoto mediante essa tecnologia ainda estava nos primórdios:

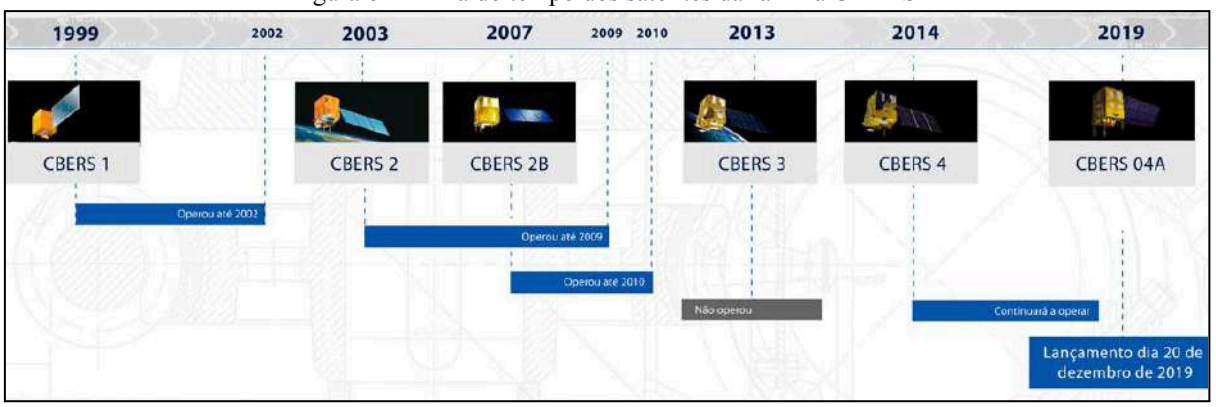
> Algumas premissas básicas foram definidas: 1) a Órbita deveria ser circular, para garantir que as imagens tomadas em diferentes regiões da Terra tivessem a mesma resolução e escala; 2) deveria permitir o imageamento cíclico da superfície, para garantir a observação periódica e repetitiva dos mesmos lugares; 3) deveria ser síncrona com o Sol, para que as condições de iluminação da superfície terrestre se mantivessem constantes; 4) e o horário da passagem do satélite deveria atender às solicitações de diferentes áreas de aplicação, mas prioritariamente, às aplicações agrícolas e geológicas. (Novo, 2010, p. 132).

A tecnologia foi aprimorada com o passar do tempo, através da formulação de sensores ópticos com maior nível de sensibilidade espectral e aumento da resolução radiométrica: “Em fevereiro de 2013, o lançamento do OLI a bordo do Landsat-8 marcou uma nova fase desse

programa. O instrumento OLI possui 9 bandas espectrais entre 435 e 2.300 nm, resolução espacial de 30 m e radiométrica de 12 bits (versus 8 bits do TM)" (Barbosa; Novo; Martins, 2019 p. 121). Apesar de outras missões espaciais fornecerem imagens de qualidade e com acesso aberto, o diferencial do Landsat é a disponibilidade de "dados calibrados ao longo de quatro décadas, sendo que parte do sucesso do programa está associado aos esforços na documentação dos dados e na estrutura de distribuição (plataformas: Earth Explorer e Glovis)" (Barbosa; Novo; Martins, 2019 p. 121).

Neste ínterim, o sensoriamento remoto mediante satélites artificiais foi implementado por outros países. A parceria entre Brasil e China para desenvolvimento de satélites que monitoram recursos terrestres é um exemplo: o Programa CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*). O principal motivo da cooperação foi o alto custo de aquisição de imagens de programas existentes: "Para minimizar essa dependência, os governos do Brasil e da China assinaram em 6 de julho de 1988 um acordo de parceria envolvendo o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e a CAST (Academia Chinesa de Tecnologia Espacial)" (Novo, 2010, p. 211). No decorrer desses 37 anos, foram desenvolvidos seis satélites, sendo que dois ainda continuam em operação (Figura 6).

Figura 6 – Linha do tempo dos satélites da família CBERS



Fonte: INPE (2024b).

A estrutura dos satélites da família CBERS é formada por dois módulos: o primeiro acomoda os equipamentos ópticos e eletrônicos para observação e coleta de dados (módulo de carga útil) e o segundo contém os equipamentos necessários para operação e manutenção do satélite em órbita (módulo de serviço), como o suprimento de energia (INPE, 2024c). Mas o diferencial da nova geração dos CBERS, a partir do ano de 2014, são o aprimoramento do Imageador Infravermelho (IRS), com resolução espacial de 40 m, nas faixas do infravermelho

próximo e longo, e de 80 m para o infravermelho termal (CBERS 4), além do Imageador de Alta Resolução (PAN), com resolução espacial de 5 m no CBERS 4 e de 2 m no CBERS 4A (INPE, 2024a). E, ao compará-los entre si, o CBERS 4A não apresenta a câmara IRS, substituída pela câmera WPM (com maior resolução espacial, porém, não cobre a faixa do infravermelho termal), e a altitude mais baixa proporciona imageamento com resoluções espaciais melhores (INPE, 2024a).

Em comparação com o Landsat 9, o CBERS 4A apresenta duas desvantagens: menor resolução radiométrica e câmeras restritas a quatro faixas de REM (vermelho, verde, azul e infravermelho próximo), logo, a resolução espectral também é baixa. Outra desvantagem é a maior resolução temporal do CBERS 4A, pois o Landsat 9 faz revisitas a cada 16 dias, independente do tipo de câmera. Contudo, a depender do objetivo de monitoramento das feições terrestres, o CBERS 4A possui melhor resolução espacial e, mediante o processo de *pansharpening*, as imagens são aprimoradas, no sentido de detalhes que podem ser identificados.

O imageamento de alta resolução permite a visualização de casas, automóveis e aeronaves, assim como a criação de mapeamentos digitais mais acurados, tal como os dados disponibilizados pelo satélite OrbView 3 mantido pela GeoEye, cujas imagens pancromáticas e multiespectrais possuem resolução espacial de 1 e 4 m, respectivamente (USGS, 2018). Do ponto de vista operacional, o "OrbView 3 tem a capacidade de ser programado para rastrear uma área de interesse na superfície da Terra em menos de 3 dias, com visada lateral de até 45° a partir de sua órbita polar" (Liu, 2015, p. 70). Apesar de ser um satélite comercial, o *United States Geological Survey* (USGS) fornece, gratuitamente, alguns segmentos de imagens que cobrem vários espaços terrestres, inclusive o litoral paraibano, no período entre setembro de 2003 e março de 2007 (USGS, 2018).

2.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E JUSTIÇA AMBIENTAL: ANÁLISE APLICADA A MINERAÇÃO E A AGRICULTURA

O desenvolvimento sustentável é um tema não consensual, pois depende da realidade sociocultural e econômica a qual é formulado o seu significado. Em abril de 1968, um grupo de especialistas (economistas, pedagogos, humanistas, etc.) formaram o Clube de Roma, com a finalidade de discutir esse tema (Silva *et al*., 2013). As ideias desse grupo de intelectuais,

como a proposição de que o consumismo irresponsável resultaria em colapso econômico e ambiental, influenciou o relatório “Nosso futuro comum”, elaborado em 1987 pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, da Organização das Nações Unidas (ONU), o qual define: sustentável é o desenvolvimento que “satisfaz as necessidades do presente, sem prejudicar a capacidade de as gerações futuras virem a satisfazer suas necessidades” (ONU, 1987, *apud* Silva *et al.*, 2013, p. 368).

A persistência da pobreza, guerras e xenofobia são algumas das problemática que motivaram os dirigentes da ONU a reavaliar o conceito inicial, através da formulação de estratégias amplas e multidimensionais, culminado nos dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com 169 metas associadas, que foi divulgada mundialmente em 2015 (ONU, 2025). Para promover o desenvolvimento sustentável, a proposta abrange “a erradicação da pobreza, a saúde, a educação e a segurança alimentar e nutricional, a nova Agenda define um vasto leque de objetivos econômicos, sociais e ambientais. Também promete sociedades mais pacíficas e inclusivas” (UNIC Rio, 2016, p. 7).

Deste modo, o diferencial dos ODS é a definição de estratégias com potencial de viabilizar o desenvolvimento sustentável. Contudo, permanece a essência conceitual em ambos os documentos internacionais, qual seja: desenvolvimento sustentável significa “desenvolvimento econômico e social (com o objetivo de redução da desigualdade social e eliminação da pobreza) mediante o aproveitamento racional de recursos naturais, de modo a garantir que tais recursos não se esgotem ao longo prazo” (Silva *et al.*, 2013, p. 368).

Mesmo diante da influência global dos organismos multilaterais, ainda cabe questionar: o que significa desenvolvimento sustentável no contexto de diferentes nações, grupos e etnias? Como afirmou-se anteriormente, esse termo é polissêmico. Um exemplo de uso sustentável dos recursos naturais são as vivências de povos originários, que expressam seus saberes durante o tratamento do solo para cultivo, contrariando “a mentalidade preconceituosa que perdura ainda hoje e nos intima a enxergar as práticas culturais indígenas como primitivas” (Borges, 2011, p. 30).

Os etnosaberes é um conjunto de técnicas baseadas nas observações cotidianas, no uso dos sentidos para avaliar o solo (o tato para avaliar as texturas, a visão para observar as cores e o olfato para sentir os aromas exalados por diferentes tipos de solos) e na transmissão oral do conhecimento (Brady; Weil, 2013). Neste sentido, as legislações ambientais brasileiras seguem as recomendações internacionais, respeitando as tradições de comunidades locais, a

exemplo do sensível tema sobre o uso do fogo para preparo do solo: “A agricultura de subsistência demanda um tratamento diferenciado, liberando-se o uso do fogo nessas atividades quando promovidas por populações indígenas e tradicionais” (Lehfeld *et al.*, 2025, p. 285).

A dimensão econômica do Brasil contemporâneo ainda é dominada pelo extrativismo para exportação e pela espoliação dos recursos naturais. A elevada demanda por insumos primários, energia e água potável, além da poluição decorrentes das atividades econômicas, são fatores que pressionam os ecossistemas: “O resultado é um descompasso no modo como o homem se relaciona com a natureza, pois a rapidez com que se produzem mercadorias no sistema capitalista não acompanha proporcionalmente o tempo que a natureza leva para se recompor.” (Araújo *et al*, 2019, p. 365). Neste sentido, a exploração de solos férteis, dos recursos minerais e da água somam 70% dos recursos nordestinos extraídos de forma predatória: “O Brasil, especificamente a região Nordeste, tem assumido um papel relevante na produção de bens primários – *commodities* para exportação – sendo fonte de lucro para o capital estrangeiro” (Araújo *et al.*, 2019, p. 368).

A hegemonia da agricultura extensiva e da mineração tradicional são alguns dos fundamentos socioeconômicos que geram conflitos ambientais, porque acirram as disputas pelo domínio de terras e a exploração da biodiversidade existente no país continental. A globalização da relações sociais favorece a troca de mercadorias a nível internacional, conecta pessoas de diferentes culturas e amplia as demandas por recursos primários e fontes de energia, especialmente após a Segunda Guerra Mundial, em que a chamada “crise do petróleo” alertou sobre o caráter não-renovável dessa principal fonte de combustível fóssil (Berhring; Boschetti, 2016). Este contexto influenciou os avanços tecnológicos nas áreas de energias renováveis, reciclagem de materiais, aprimoramento genético de espécies com valores comerciais, tal como a cana-de-açúcar.

A biodiversidade existente nos países latino-americanos e caribenhos correspondem à parcela considerável de riquezas naturais, porque possuem “23% das terras potencialmente cultiváveis do mundo, sendo que, na atualidade, detém 12% das terras cultivadas no planeta; tem 46% das florestas tropicais; e possuem 31% da água doce do planeta” (FAO, 2016, *apud* Vitte, 2020, p. 172). A preservação dessas riquezas fundamenta debates internacionais sobre estratégias econômicas, políticas e jurídicas. Uma dessas estratégias é a securitização dos recursos naturais “que podem se esgotar ou que a extração ou uso indiscriminado podem

alterar as condições sociopolíticas locais, sendo um tópico da pauta de segurança" (Vitte, 2020, p. 176).

De fato, regiões com maiores problemáticas ambientais são ocupadas por pessoas em situação de vulnerabilidade social, demonstrando que a pobreza é multidimensional. Um exemplo são os garimpeiros que, historicamente, são alvos de estigmas sociais negativos. Contudo, a atividade desse grupo de trabalhadores é regulada legalmente, sendo responsabilidade do Estado deve favorecer a "organização da atividade garimpeira em cooperativas, devendo levar em consideração a proteção do meio ambiente, sendo que elas terão prioridade na autorização ou concessão para pesquisa e lavra dos recursos e jazidas de minerais garimpáveis" (Lehfeld *et al*., 2025, p. 82).

Daí a relevância da justiça ambiental, isto é, um "conjunto de princípios que assegura que nenhum grupo de pessoas suporte uma parcela desproporcional de degradação ambiental" (Silva *et al.*, 2013, p. 380). Evidencia-se, portanto, que o passo inicial para a sustentabilidade é a garantia dos direitos, por parte do Estado brasileiro, aos grupos sociais mais afetados pelos conflitos socioambientais, como garimpeiros, povos originários, pequenos agricultores e pescadores. Porque a justiça ambiental se alicerça "na promoção de uma cultura de direitos e na crítica às consequências da posição ambiental utilitarista, que defende uma modernização ecológica do capitalismo contemporâneo sem abordar a questão social em torno dos conflitos ambientais" (Silva *et al.*, 2013, p. 384).

2.2.1 Mineração

Inicialmente, é importante distinguir os conceitos de mineral, minério, mina, jazida e lavra, porque essas terminologias não são sinônimos e se aplicam à situações diferentes. Os "minerais são substâncias de composição química definida e que se encontram no ambiente. Já recursos minerais ou minérios dizem respeito às substâncias cuja extração é economicamente viável, ou seja, que possuem utilidade" (Ataíde, 2025, p. 196).

O Código Minerário[1] afirma que jazida é diferente do solo onde se encontra, porque possui valor econômico e significa massa individualizada de substância mineral ou fóssil, que aflore à superfície ou que exista nos seguintes sistemas naturais: solo, subsolo, leito fluvial e

[1] Instituído pelo Decreto-lei n° 227/1967, o Código Minerário foi atualizado por várias normativas ao longo desses 58 anos, sendo as atualizações mais recentes dadas pelo Decreto n° 9.406/2018 e pelo Decreto nº 10.965/2022.

subsolo do mar territorial, da zona econômica exclusiva ou da plataforma continental (Brasil, 2018). Ao passo que mina significa jazida em lavra (ainda que suspensa) e, por sua vez, lavra é o conjunto de operações que visa o aproveitamento da jazida, desde a extração dos minerais até o beneficiamento (Brasil 2018). Por fim, existem minérios metálicos (ferro, cobre, etc.) e não metálicos, como areia, argila e água mineral (Ferreira Neto et al., 2021).

No território brasileiro, inclusive no subsolo, qualquer ocorrência de recursos minerais são bens públicos da União, sendo assegurada aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios o direito a participação no resultado ou compensação financeira da exploração desses recursos no respectivo território, plataforma continental, mar territorial ou zona exclusiva (Brasil, 1988). Salienta-se, porém, que o bem público é o recurso mineral stricto sensu, porque se "a União fosse proprietária do subsolo, qualquer intervenção neste, ainda que não tivesse intuito de minerar, necessitaria de outorga do MME ou da ANM, o que não acontece" (Ataíde, 2025, p. 97).

Para investir no setor minerário, o proponente deve seguir várias etapas que, apesar de parecer burocráticas, são essenciais para organizar a atividade minerária e resguardar outros bens públicos, a exemplo do meio ambiente. Logo, a suspeita de existir jazidas (independe da extensão) em propriedade privada não autoriza o proprietário ou terceiros a pesquisar a veracidade e lavrar a mina sem autorização do órgão competente, a saber: a Agência Nacional de Mineração (ANM), órgão vinculado ao Ministério de Minas e Energia (MME) e representado pelas Gerências Regionais.

A primeira etapa é conhecer os regimes de mineração dispostos na legislação (Quadro 2). Nas etapas seguintes, o proponente deve avaliar quais equipamentos, insumos, mão-de-obra e recurso financeiros são necessárias para manter a atividade minerária, expressos no relatório de viabilidade econômica[2]. Além disso, a "escolha do regime a ser adotado irá variar, dentre outros aspectos, de acordo com o tipo de substância mineral, as condições em que esta se encontre, o tamanho da área, os objetivos do minerador e as condições subjetivas do requerente" (Ataíde, 2025, p. 93). E do ponto de vista técnico, a mineração abrange a pesquisa, a lavra, a exploração da mina, o beneficiamento dos minerais,

[2] Já tramita no Congresso Nacional o Projeto de Lei n° 2330/24 (autoria do deputado Zé Silva, filiado a Solidariedade-MG), que visa extinguir a obrigatoriedade do relatório de viabilidade econômica por parte dos requerentes, embasado nos argumentos de que esse tipo de análise é estritamente privada e, portanto, sem relação com o interesse público, além de diminuir o nível de burocracia, caso o projeto seja aprovado (Agência Câmara de Notícias, 2025).

o transporte e a comercialização, além do aproveitamento e do armazenamento de estéreis e rejeitos (Brasil, 2022).

Quadro 2 – Principais características dos regimes de mineração

TIPO DE REGIME	Concessão	Licenciamento	Permissão de lavra garimpeira	Autorização
DEFINIÇÃO	Destinado às atividades de lavra mineral precedidas de pesquisa	Aproveitamento de substâncias minerais que, por sua natureza, seu limite espacial e sua utilização econômica, possa ser lavrado, independentemente de pesquisa prévia	Aproveitamento de substâncias minerais que, por sua natureza, seu limite espacial e sua utilização econômica, possa ser lavrado, independentemente de pesquisa prévia	Destinado às atividades de pesquisa mineral, isto é, trabalhos necessários à definição da jazida e à determinação da exequibilidade de seu aproveitamento econômico
ÓRGÃO PÚBLICO RESPONSÁVEL PELA OUTORGA	Ato administrativo da MME ou da ANM	Licença expedida pela autoridade local. E registro da licença na ANM	Título expedido pela ANM	Ato administrativo da ANM
EXTENSÃO DA ÁREA PERMISSIONADA	Geralmente, entre 50 a 1 mil hectares. Ou 2 mil hectares, sendo o relatório de viabilidade econômica um pré-requisito.	50 hectares	50 hectares	Depende do objetivo da pesquisa
PRINCIPAIS RECURSOS MINERAIS	*Até 50 hectares*: areias, cascalhos e saibros para utilização imediata na construção civil; argilas usadas no fabrico de cerâmica vermelha; calcários empregados como corretivo de solo na agricultura, etc. *Acima de 1 mil hectares*: minerais metálicos, como o ferro.	Areias, cascalhos e saibros para utilização imediata na construção civil; argilas usadas no fabrico de cerâmica vermelha; calcários empregados como corretivo de solo na agricultura, etc.	Material inconsolidado, exclusivamente nas formas aluvionar, eluvionar e coluvial, tais como: ouro, diamante, berilo, quartzo, muscovita, feldspato, mica, etc.	Depende do objetivo da pesquisa

Fonte: Elaborado pela autora com base em Brasil (2018, 2022), ANM (2025) e Ferreira Neto *et al*., 2021.

A concentração de recursos minerais em determinada área depende dos processos de síntese e transformação que ocorre nas rochas do ecossistema, sendo que quanto mais

concentrado o minério estiver no depósito geológico, maior será o retorno econômico, especialmente para garantir lucros ao empreendimento após o desconto de custos operacionais, a qual inclui a restauração da terra e o pagamento de impostos e taxas (Grotzinger; Jordan, 2013).

Há diferentes modalidades de mineração, classificadas de acordo com a área de abrangência e as técnicas de lavra, a exemplo da mina a céu aberto. Isto significa que o minério se encontra na superfície ou em profundidades que compensam a retirada da cobertura para, então, extrair-se o minério (Curi, 2014). Deste modo, o decapeamento de 3 m de solo compensa a extração de 2 m de material argiloso no subsolo, pois o retorno financeiro é maior que os custos operacionais.

Alguns exemplos de minérios não metálicos extraídos mediante lavra a céu aberto são a areia, o saibro e o fosfato. Diante da gama de aplicações na construção civil, indústria de materiais de construção, fabricação de vidros e fonte de silício para a indústria de equipamentos digitais, a areia possui valor comercial em diferentes faixas de preço, principalmente com granulometria fina e com pureza alta (maior teor de quartzo em comparação a outros constituintes da areia, como feldspato e mica).

Já o saibro é um conjunto de agregados rochosos, bastante heterogêneos na granulometria e composição mineral, utilizado como material de empréstimo na construção de estradas e rodovias, por exemplo (Ferreira Neto *et al.*, 2021). Por sua vez, o fosfato, aplicado na fabricação de fertilizantes, é encontrado na natureza associado a vários tipos de rochas, por isso que as técnicas de lavra podem requerer o uso de explosivos (rochas com elevado grau de dureza) ou se utiliza retroescavadeiras nos casos de rochas sedimentares friáveis (Loureiro; Moura; Nascimento, 2005).

2.2.2 Organização espacial do cultivo e principais características das plantas: cana-de-açúcar e abacaxi

2.2.2.1 Cana-de-açúcar

O setor agrícola é um dos principais impulsionadores da economia brasileira e, neste contexto, o percentual de 6,2% é previsto como participação da Paraíba no PIB do Nordeste 2025 (ETENE, 2025). Em 2023, a cana-de-açúcar e o abacaxi se destacaram no ranking de

valor da produção agrícola (IBGE, 2023), sendo que a safra nos canaviais paraibanos alcançou 6,9 milhões de toneladas no ano de 2024 (ETENE, 2025).

Pertencente ao gênero Saccharum, há várias espécies de cana-de-açúcar, um tipo de gramínea adaptada a diferentes solos, climas e manejos agrícolas (Demattê, 2004). No Brasil, a cana-de-açúcar é a principal matéria prima para o etanol, enquanto nos Estados Unidos e em alguns países europeus prevalecem o milho e a beterraba, respectivamente. Além do setor sucroalcooleiro, a cana-de-açúcar é utilizada nas produções de açúcar, melaço, rapadura, alguns tipos de bebidas alcoólicas e forragem para gado. Deste modo, o cultivo dessa gramínea movimentou 17 milhões de dólares em exportação para o mercado consumidor de açúcar, no acumulado entre janeiro e fevereiro de 2025, correspondendo a 47% das exportações paraibanas (ETENE, 2025).

As técnicas de produção agrícola dependem das condições socioeconômicas do produtor e da destinação da matéria-prima. Geralmente, o pequeno produtor consegue suprir o mercado açucareiro local e a fabricação de alimentos e bebidas (açúcar, rapadura, cachaça, etc.), enquanto as grandes propriedades se destinam para manter a produção de biocombustíveis e a exportação de gêneros alimentícios a base de sacarose. Ademais, o retorno econômico aos investimentos no setor está atrelado a vários fatores, como “escolha da área de plantio, manejo do solo e da planta, escolha da variedade, condições climáticas, manejo fitossanitários e manejo da colheita” (Silva *et al.*, 2017, p. 47).

Em ambos os casos, a disposição espacial da plantação segue padrões técnicos para maximizar a colheita: divisão do terreno em talhões, disposição das plantas em linhas com maior comprimento possível, preferência pelo método de sulcação para plantio, adensamento de plantas em cada linha e aproveitamento de recursos hídricos locais para irrigar as plantações (Demattê, 2004).

Em relação aos período de plantio e colheita, há três sistemas: 1-) anual, ocorre no período de setembro a dezembro; 2-) ano e meio, refere-se ao plantio entre janeiro e março e a colheita ocorre em meados do ano seguinte, geralmente nos meses de julho a agosto; 3-) sistema de inverno, ou seja, entre maio e agosto, coincide com o período de baixa pluviosidade, sendo imperioso a utilização de irrigação (Demattê, 2004).

No contexto nordestino, especialmente nos solos arenosos do Tabuleiro Costeiro, é recomendável adotar o sistema anual, com cultivo nos meses de novembro ou dezembro, pois o calor do verão aquece os toletes (pedaços de cana jovem, com gemas laterais, onde estão os

embriões da planta) e contribui para a germinação (Barros *et al*., 2018). A modalidade ano e meio, com preferência ao intervalo entre março e abril, também é favorável porque "o plantio em solo arenoso, de baixa reserva de umidade, em janeiro, em região de elevado déficit hídrico, irá produzir menos cana do que o plantio em abril, nesse mesmo solo" (Demattê, 2004, p. 9).

A adubação do solo com matéria orgânica contribui para retenção de água que manterá o desenvolvimento inicial da planta. Além disso, o produtor deve cultivar diferentes espécies adaptadas a sua região e conciliar os sistemas de plantio. Esses três fatores contribuem para manter a produtividade em ciclos: "ou seja, canas precoces que serão utilizadas mais cedo, início de maio, e canas de ciclo médio a tardio, que serão cortadas de agosto até novembro. A combinação de variedades permite ter cana de boa qualidade durante todo o período de colheita" (Silva *et al.*, 2017, p. 49). Consequentemente, evita-se que o "déficit hídrico irá coincidir com a cana já com colmos, o que pode reduzir a produtividade" (Demattê, 2004, p. 13).

Para evitar o tombamento das plantas, pois o sistema radicular penetra apenas 40-50 cm do solo, a opção pelo adensamento nas linhas de sulcação é uma estratégia para estabilizar a planta e para ampliar o número de gramíneas colhidas por hectare cultivado (Demattê, 2004). No que tange a estrutura foliar e suas interações com a REM, a cana-de-açúcar possui folhas longas e flexíveis. Deste modo, uma linha dupla do canavial reflete, conjuntamente, o espectro verde da luz visível e a radiação infravermelha próxima.

Em relação à implantação de práticas sustentáveis, um desafio é o excesso de palha nos canaviais na fase de maturidade, especialmente para colheita manual. A queima controlada e com prévia autorização dos órgãos competentes é permitida por por lei, desde que as peculiaridades da atividade agrícola justifiquem o emprego do fogo (Brasil, 2012).

Entre as pré-requisitos legais para execução da queima controlada estão: utilização de equipamentos de segurança pela equipe especializada na execução da queima; delimitação da área mediante cortes no terreno (aceiros) para impedir a proliferação do fogo na circunvizinhança, como UCs, APPs e Reservas Legais, sendo a largura mínima de seis metros nesses casos; comunicar, com antecedência, sobre a realização da queima aos principais grupos atingidos pelos efeitos do fogo, como a fumaça; e formalizar o pedido de autorização ao órgão estadual que integra o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), ressaltando que o pedido pode ser cancelado ou suspenso, em hipóteses como: danos

ambientais e diminuição da visibilidade em rodovias devido aos espalhamento da fumaça (Lehfeld *et al*., 2025).

Uma alternativa sustentável é o reaproveitamento da palha para cobrir os toletes nos próximos cultivos, além de atenuar a compactação do solo, pois a palha age “como amortecedor, mantém a umidade, favorecendo o desenvolvimento no solo de organismos que auxiliam na melhoria da infiltração da água e no desenvolvimento radicular” (Demattê, 2004, p. 15-16).

2.2.2.2 Abacaxi

Uma infrutescência doce na base e mais ácido próximo a coroa, assim é o abacaxi: originário de um tipo de bromélia que, mediante a conjugação de pelo menos 200 frutos gestados em pequenas flores, forma um dos alimentos mais consumidos pelos brasileiros (Souza, 2025). Diante da variedades de espécies, a adaptação do abacaxizeiro aos biomas do Brasil segue a tendência da cana-de-açúcar.

Ou seja, respeitadas as condições básicas para cultivo (zona tropical, luminosidade para desenvolvimento da planta e solos ricos em nutrientes), aumenta-se as chances de sucesso na colheita (Sanches; Matos, 2013). E o rendimento econômico da produção de suco de abacaxi também chama atenção: no acumulado entre janeiro e fevereiro de 2025, o percentual de exportação foi de 9,4%, ficando atrás apenas do açúcar e dos calçados de borracha, com saldo de 3,4 milhões de dólares para a economia paraibana (ETENE, 2025).

Para investir nesse mercado promissor, o primeiro passo é o cultivo do abacaxi. Conforme Souza, Ferreira e Sena, (2023), a estrutura ideal é a divisão do terreno em talhões, com áreas divididas proporcionalmente. O plantio das mudas podem ser em covas ou em sulcos, mas a segunda opção favorece a organização das linhas (retilínea quando simples, e triangular quando dupla) e dá sustentação mútua entre as plantas. Isso porque, semelhante a gramínea discutida anteriormente, o abacaxizeiro tem raízes que penetram apenas os horizontes superficiais do solo, não ultrapassando 60 cm de profundidade. Logo, favorece a tendência ao tombamento nos períodos de frutificação, devido ao peso da infrutescência. Tal risco é amenizado pelo adensamento vegetal por linha cultivada, porém o fruto fica menor, devido a competição por nutrientes, água e luz.

Mas alguns aspectos botânicos, típicos das bromélias, destaca o abacaxizeiro entre as demais culturas: a folha rígida (devido a tecidos que acumulam água) e no formato de calha permite o escoamento de águas pluviais para a base da planta (Costa, 2011). Isso fortalece a resistência contra estresse hídrico e a tolerância a solos ácidos, como os solos arenosos, que drenam rapidamente a água e são tipicamente ácidos (Sanches; Matos, 2013). Daí que facilita o trabalho do agricultor, que precisa apenas enriquecer o substrato com matéria orgânica, que auxilia a conter a percolação da água e fornece nutrientes para o desenvolvimento da planta. Portanto, esse gênero de bromélia se adapta a vários tipos de solos.

A organização foliar do abacaxizeiro é no formato de roseta, ao passo que na cana-de-açúcar a organização é aleatória. Costa (2011) explica que a cor verde escuro na face adaxial da folha e o revestimento superficial (cutícula) protegem o abacaxizeiro contra a insolação, pois aumenta a reflexão de alguns espectros da REM. Já a face abaxial é coberta por tricomas (tecido vegetal protetivo), que amenizam a transpiração (perda de água) e é responsável pela coloração acinzentada dessa parte da folha.

O resultado é a variação da tonalidade das folhas, a depender do estágio de desenvolvimento do tecido epidérmico e das condições ambientais: “Baixa luminosidade retarda o crescimento da planta e (...) as folhas da planta tornam-se alongadas, eretas e de cor verde-escura. (...) Sob alta luminosidade, a cor da folha torna-se amarelo-arroxeada” (Reinhardt; Cunha; Souza, 2013, p. 18). E tanto a florescência quanto o fruto também são sensíveis a faixa da luz visível e a energia térmica. Por isso que em períodos de chuva (céu nublado) e temperaturas amenas durante a noite favorecem a floração natural (Reinhardt; Cunha; Souza, 2013).

De acordo com a Sanches e Matos (2013), a articulação com cultivos de ciclo curto (como feijão e amendoim) é uma opção para aproveitar os solos expostos que formam os corredores entre cada linha de sulcação. Esses corredores servem para facilitar a colheita sem danificar as plantas, pois no centro do vegetal há um broto novo, além das coroas laterais que formam mudas. Mas na fase de desenvolvimento das plantas, os solos expostos ficam ociosos e propícios à germinação de plantas daninhas. Assim a ocupação dos corredores diversifica a produção agrícola e protege a superfície contra erosão.

2.3 INSTRUMENTOS DE TUTELA AMBIENTAL

A evolução das leis ambientais revelam processos históricos heterogêneos, diante da biodiversidade e extensão continental do Brasil, haja vista que disciplinar a ocupação territorial exige equilíbrio entre forças políticas e econômicas. Além disso, o esforço para conservar o meio ambiente e suas funções repercute na legislação brasileira. Neste sentido, a doutrina esclarece que "o fenômeno ambiental é anterior ao próprio homem; a sua percepção jurídica é que só começa a tomar forma nos últimos anos" (Benjamin, 1993, p. 45).

Do ponto de vista jurídico, há distinções entre meio ambiente, meio artificial e manifestações culturais (Pimenta, 2014), tendo em vista que a natureza é o *locus* da reprodução material da vida humana, sendo a cultura e o desenvolvimento de estratégias para sobrevivência oriundas do pensar e do fazer dos seres humanos (Chauí, 2019). Tanto é que a constituição democrática de 1988 "tutela em subsistemas distintos o meio ambiente (art. 225), o urbanismo (arts. 182 e 183), a saúde (arts. 196 a 200), o patrimônio histórico e cultural (arts. 215 e 216), etc." (Pimenta, 2014, p. 5957).

E em relação ao conceito liberal de propriedade, trata-se de bens que o indivíduo adquiriu e, portanto, pode exercer direitos econômicos (produzir, vender, desmembrar, etc.). Porém, constitucionalmente, a propriedade também possui funções sociais e funções ambientais, que são categorias diferentes entre si:

> Se função social da propriedade (...) induz, *a priori*, um conteúdo referente ao homem, isso não se pode dizer quanto à função ambiental, pois o valor nomeado é outro: o meio ambiente, não como elemento da cultura humana ou de utilidade para o homem, mas como um bem em si mesmo. Por isso, função ambiental não é espécie ou uma das faces da função social, pois não se refere à civilização humana, embora esteja sob sua influência ou possa influenciá-la (Pimenta, 2014, p. 5957, grifos do autor).

Portanto, os instrumentos legais de proteção ambiental, como Área de Preservação Permanente (APP), Unidade de Conservação (UC) e Reserva Legal, tem a finalidade de tutelar "o meio ambiente em si, pois imediatamente atinge o interesse humano" (Pimenta, 2014, p. 5957). A delimitação de áreas com relevância ambiental dentro de espaços públicos e privados está em consonância com o direito difuso: o meio ambiente ecologicamente equilibrado (Brasil, 1988). Na concepção doutrinária, os instrumentos de tutela ambiental expressam "uma obrigação geral, gratuita, unilateral e de ordem pública, enquadrando-se no conceito de limitação administrativa, pois condiciona o exercício de direitos ou de atividades pelos particulares às exigências do interesse público" (Lehfeld et al., 2025, p. 62).

O meio ambiente é um bem público e deve ser protegido para garantir o direito de todos. E as funções ambientais significam um conjunto de processos, sínteses e transformações no meio ambiente, que promovem a manutenção e a diversificação das espécies na Terra. Daí que, ao resguardar os ecossistemas existentes em território nacional, a legislação brasileira contribui para o bem-estar humano e a conservação de recursos naturais a nível internacional. É como diz uma obra clássica do Direito Ambiental:

> O meio ambiente, como bem objeto da função ambiental, é gênero amplo (macrobem) que acolhe uma infinitude de outros bens – numa relação assemelhada à dos átomos e moléculas –, menos genéricos e mais materiais (microbens): são (...) os elementos da hidrosfera, da litosfera, da atmosfera, da biosfera e, quiçá, também de uma antroposfera (Benjamin, 1993, p. 65).

Para proteger elementos ambientais que são imprescindíveis para a manutenção da vida humana, da fauna e da flora, tal como os corpos hídricos e suas faixas marginais, o ordenamento jurídico brasileiro dispõe sobre as APPs. De acordo com a Lei de Proteção à Vegetação Nativa (LPVN), as APPs são espaços que precisam ser resguardados, independente da existência de vegetação nativa no local, devido às funções ambientais exercidas, quais sejam: preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (Brasil, 2012).

Além de APPs instituídas por força de lei, o art. 6° da LPVN também autoriza o Chefe do Executivo a estabelecer áreas de preservação nos casos de interesse social, previstas no inc. IX do art. 3° (Brasil, 2012). Outro diferencial entre APP legal e APP instituídas pelo Poder Público é a obrigatoriedade do território ser coberto por floresta ou outro tipo de vegetação (Brasil, 2012). E em relação a natureza jurídica do ato para criação da APP, a declaração de interesse social se concretiza mediante decreto, expedidos por presidentes, governadores e prefeitos, conforme conveniência e oportunidade atrelada ao respeito às disposições do código florestal vigente e das leis correlatas (Lehfeld *et al.*, 2025).

Diante do caráter eminentemente social da pequena propriedade familiar e da reforma agrária, o parágrafo 5° do art. 4° do código vigente permite que esses grupos rurais cultivem plantações temporárias e sazonais nas vazante de ciclo curto, a qual corresponde a faixa de terra que fica exposta no período de vazante dos rios ou lagos (APP de recursos hídricos),

desde que não implique supressão da flora nativa, conserve-se a qualidade da água e do solo e não interfira na fauna silvestre (Brasil, 2012).

Por outro lado, cultivos tradicionais que fazem parte da história econômica do país, especialmente na região nordestina, como abacaxi e cana-de-açúcar, apresentam as seguintes características: são plantações extensivas, ocupam grandes áreas e perduram por médio prazo. Consequentemente, não são contemplados pela permissão legal supracitada.

Neste sentido, a Reserva Legal se diferencia da APP por ser uma área reservada dentro de propriedades rurais, cuja função ambiental é promover o uso sustentável dos recursos naturais, além de contribuir para a conservação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, servindo como abrigo e proteção de fauna silvestre e da flora nativa (Brasil, 2012).

2.3.1 Unidade de Conservação (UC)

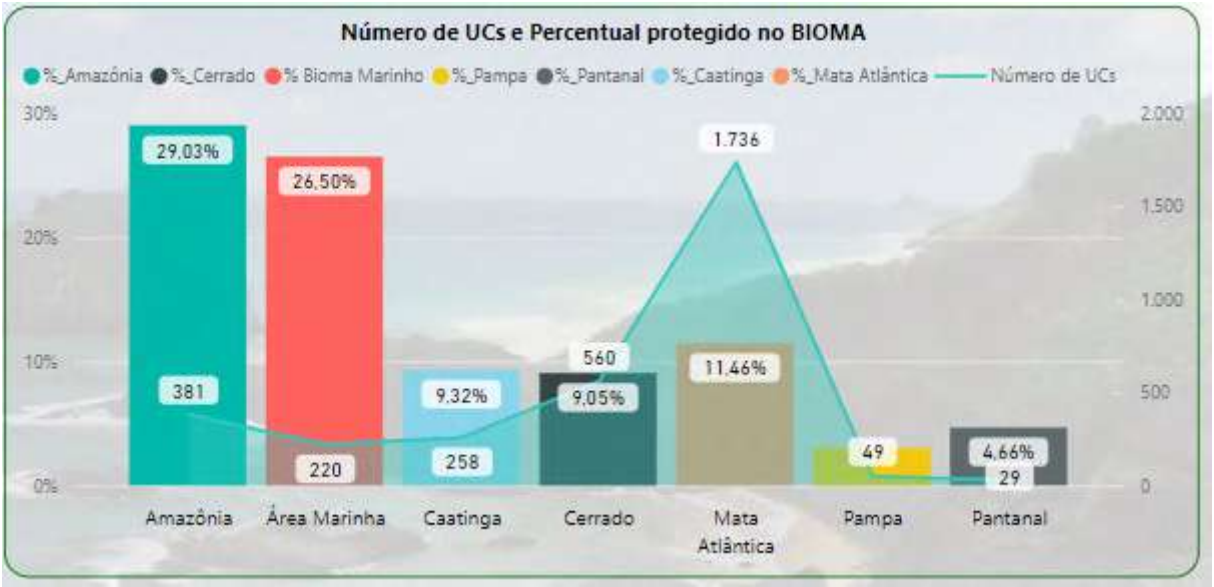
A UC é um instrumento que tutela os recursos ambientais de determinado território (incluindo as águas jurisdicionais), pois possuem características naturais relevantes e são legalmente instituídos pelo Poder Público, o qual define limites e o regime especial de administração (Brasil, 2000). Enquanto o texto legal atribui funções ambientais para a APP (Brasil, 2012), a terminologia usada para a UC é características naturais relevantes (Brasil, 2000). Isso significa a existência de elementos que se destacam no território por possuírem valores socioambientais, culturais e/ou econômicos, sendo imprescindível proteger irrestritamente ou disciplinar o uso sustentável (Lehfeld *et al.*, 2025).

Por isso que o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), instituído pela Lei Federal nº 9.985/2000, organiza-se em dois grupos principais: 1-) Unidades de Proteção Integral: objetiva preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, respeitadas as exceções de casos previstos em lei; 2-) Unidades de Uso Sustentável: possui a finalidade de compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos recursos naturais (Brasil, 2000). Cada unidade é subdividida em categorias com níveis protetivos diferenciados e, assim, visa se adequar a diversidade dos biomas brasileiros.

O Painel de Unidades de Conservação Brasileiras auxilia no monitoramento das UCs e na divulgação de dados (MMA, 2025a). O gráfico online (Gráfico 1) mostra que a Amazônia

(381 unidades e 29,03% de proteção) e a Área Marinha (220 unidades e 26,50% de proteção) possuem menores números de UCs e maiores percentuais de áreas protegidas quando comparados a Mata Atlântica, que tem o maior número de unidades (1.736) e um baixo percentual de proteção (11,46%). Tais dados reafirmam a importância de preservar do Bioma Mata Atlântica, bem como fortalecer ações socioeconômicas sustentáveis.

Figura 7 – Quantidade de UCs por bioma no Brasil



Fonte: MMA (2025a).

Ao realizar o levantamento de UCs municipais existentes neste bioma, no período de 2017 a 2022, a Fundação SOS Mata Atlântica (2023) estimou 1.530 UCs distribuídas em 710 municípios (20,7% do total de 3.429 cidades), correspondendo a área de 5,2 milhões de hectares, sem descontar eventuais sobreposições. Além do baixo percentual de municípios que aderiram à SNUC, o estudo também mostrou que as Áreas de Proteção Ambiental (APAs), uma subunidade de Uso Sustentável, predominou entre as classes de UCs implementadas, e isso "pode ser explicado como uma estratégia dos municípios de estabelecer novas áreas protegidas com menos restrições ao uso da terra" (Fundação SOS Mata Atlântica, 2023, p. 47).

2.3.1.1 Área de Proteção Ambiental (APA)

O uso de agrotóxicos na agricultura e a abertura de campos para lavra de recursos minerais são exemplos de atividades com potencial de ocasionar impactos no meio ambiente. Sabe-se também que o estímulo à diversificação dos setores produtivos é importante, porque o pagamento de impostos e taxas mantém o orçamento municipal que, por sua vez, deve proporcionar melhorias sociais, econômicas, culturais e ambientais para a cidade. Logo, é compreensível a preferência pelas UCs de uso Sustentável, especialmente a APA. Trata-se de territórios geralmente extensos e com um certo grau de intervenção antrópica e, mesmo assim, mantém atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais importantes para a qualidade de vida da população (Brasil, 2000).

O planejamento e a implementação eficaz da APA se torna uma estratégia para incentivar a adubação orgânica na agricultura, prezar pela recuperação ambiental em áreas mineradas, proteger a biodiversidade, disciplinar o uso alternativo do solo e promover a sustentabilidade. Além disso, é permitida a realização de pesquisas científicas e promover ações culturais em APA, sendo necessário a permissão do gestor público ou do responsável pela propriedade privada (Brasil, 2000). Isso porque as APAs "podem ser formadas integralmente por terras particulares, pois sua finalidade é proporcionar a ocupação ordenada de uma área que ainda possui características naturais relevantes, como forma de minimizar os impactos ambientais nessas áreas" (MMA, 2019, p. 27).

E se por um lado há flexibilidade no sentido da permanência de propriedades privadas dentro da área de interesse ambiental, por outro lado o proprietário deve respeitar a legislação ambiental e as normas do Plano de Manejo que disciplina a APA. Ou seja, a unidade possui regras referentes ao manejo dos recursos naturais, assim como cabe ao Poder Público implantar estruturas físicas necessárias à gestão da unidade (MMA, 2019). A manutenção do direito civil à propriedade deve estar em consonância com o dever de preservar os recursos naturais: "Insta mencionar, novamente, a função social da propriedade e o desenvolvimento sustentável como princípios fundantes do uso alternativo do solo" (Lehfeld *et al.*, 2025, p. 73).

Neste sentido, o Decreto n° 4.340/2002, que regulamenta o SNUC, reafirma a importância do Plano de Manejo para instituir balizas administrativas que orientam a estrutura da UC, sendo o plano um documento elaborado mediante estudos técnicos e deve ser garantida a participação da comunidade local nas fases de elaboração, implantação, monitoramento e reavaliação do plano (Brasil, 2002). Por isso que o planejamento não é

estático e é possível a revisão de acordo com os resultados do monitoramento feito pelo comitê de gestão, cujos membros pertencem ao governo e a sociedade (Brasil, 2002). Entre os objetivos do Plano de Manejo estão "promover a integração das comunidades do entorno com a unidade de conservação e garantir a manutenção dos processos ecológicos" (MMA, 2019, p. 65).

2.3.2 Dicotomia entre lei e prática: principais desafios para tirar UCs do papel

Mesmo diante do norteamento jurídico, a realidade é que tirar as UCs do papel é uma problemática em vários biomas brasileiros, desde as UCs de Proteção Integral na Amazônia até a APA da Baleia Franca, no litoral de Santa Catarina, e os desafios são inúmeros: mudanças recorrentes nas legislações ambientais, pressões socioeconômicas para diminuir os limites de UCs, tentativas de transformar UCs de Proteção Integral para outro tipo de unidades mais flexível (especialmente a APA), além da criação de UCs sem ou com participação reduzida da comunidade local (Mattiuzzo, 2025). Portanto, a dicotomia entre lei e prática é um impasse que fragiliza a efetividade do SNUC e representa apenas a ponta de um grande *iceberg* socioambiental:

> "Unidades de Conservação de Papel" são termos usados para descrever áreas que foram oficialmente designadas como Unidades de Conservação, mas que, na prática, não têm a implementação efetiva das medidas de proteção ambiental necessárias. Isso significa que, embora existam legalmente no papel, através de decretos ou leis, essas áreas não recebem os recursos, a gestão ou a infraestrutura necessária para a conservação da biodiversidade, a proteção dos ecossistemas e o cumprimento dos objetivos pelos quais foram criadas (Vidal, 2015, p. 2).

Os espaços territoriais especialmente protegidos, como APPs, Reservas Legais e UCs, são estratégias para concretizar as determinações legais de preservação ambiental, operacionalizadas mediante critérios técnicos, decisões democráticas e ações colaborativas. A particularidade das UCs é que a criação e implantação devem seguir os princípios da participação popular, equidade no acesso aos recursos naturais, respeito à cultura local e levantamento técnico-científico das características naturais relevantes da área (MMA, 2019). Daí os empecilhos que desafiam o Poder Público e a sociedade (Quadro 3), pois a fragilidade e/ou omissão de ambas as partes repercute negativamente na execução da política pública.

Quadro 3 – Principais empecilhos socioeconômicos e jurídicos que dificultam a implantação de UCs

EMPECILHOS	DESCRIÇÃO
Ausência de Planos de Manejo	Muitas dessas unidades não têm um plano de manejo operacional, que é essencial para definir os objetivos de conservação e as estratégias para alcançá-los.
Falta de Infraestrutura	Falta de investimento em infraestrutura básica para o monitoramento e proteção da área, como postos de controle, sinalização, e recursos para combate a incêndios.
Baixo Investimento Financeiro	Recursos financeiros insuficientes para gestão, manutenção e fiscalização das UCs.

Fonte: Vidal (2015).

Um certo nível de flexibilidade é inerente às UCs de Uso Sustentável. E dependendo da forma como se planta, pesca, extraí recursos minerais e ocupa a área, a APA tem possibilidade ou não de preservar características naturais relevantes. Portanto, a efetividade da política ambiental é condicionada tanto pelo Poder Público, que deve proporcionar condições materiais para execução da UC (normas, ações fiscalizatórias, financiamento, etc.), quanto pela comunidade local, que precisa resgatar as memórias e manter o empenho de resguardar o espaço em que vive.

Para enfrentar os desafios de forma coletiva, as recomendações do Ministério do Meio Ambiente (MMA) para o Poder Público é incentivar à participação popular, especialmente na fase das audiências públicas. E a duração da reunião pode ser prorrogada, caso ainda haja demandas a serem discutidas. Mesmo tendo caráter consultivo e a prerrogativa de aprovação da UC seja do Chefe do Executivo, as modalidades de participação popular tem a finalidade de “subsidiar a definição da localização, da dimensão e dos limites mais adequados para a unidade, ou até mesmo alterar a categoria da unidade em função da demanda local” (MMA, 2019, p. 51).

Após problematizar as dificuldades para implantação de UCs, cabe agora compreender a realidade do Rio Tibiri e a criação da APA municipal que visa proteger suas características ambientais relevantes. Daí que, primeiramente, deve-se conhecer os aspectos geofísicos da região e seus recursos naturais, prosseguindo, enfim, para a discussão sobre as fases para criação e implementação da unidade ambiental.

2.4 RIO TIBIRI (SANTA RITA-PB): CARACTERÍSTICAS GEOFÍSICAS E PROTEÇÃO AMBIENTAL

2.4.1 Características geofísicas

2.4.1.1 Vegetação e clima

Territorialmente, o Bioma Mata Atlântica é caracterizado pela fragmentação do ambiente natural, por causa da dominância do uso alternativo do solo. No âmbito das políticas públicas, destinadas a proteger remanescentes de vegetação, recursos hídricos e espécies endêmicas existentes no bioma, foi instituída a Lei Federal nº 11.428/2006, que disciplina a conservação, regeneração e a utilização desse patrimônio nacional. A concomitância entre função socioambiental e respeito ao direito de propriedade é um dos princípios legais, além da gestão democrática, da gratuidade dos serviços administrativos prestados ao pequeno produtor rural e às populações tradicionais (Brasil, 2006b).

Em relação às características naturais, a Mata Atlântica abrange mangues, restingas e formações florestais com "árvores altas (25/30 m), copas largas, troncos com grande diâmetro, folhas perenes e sempre verdes, muitos cipós e epífitas (orquídeas, bromélias, etc.)" (Rodriguez, 2002, p. 34), como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Remanescentes de Mata Atlântica na APA do Rio Tibiri, Santa Rita-PB

Fonte: Acervo da autora.

Já os principais aquíferos brasileiros estão inseridos no Bioma Cerrado, cuja distribuição territorial "está preferencialmente ligada a determinados tipos de solos, na sua maioria profundos, álicos e distróficos, arenosos lixiviados e mesmo litólicos, desenvolvidos a partir de terrenos de idade pré-cambriana até quaternária ao nível do mar" (IBGE, 2004, p. 1). Ademais, o Cerrado "é provavelmente a maior savana do mundo, ocupando aproximadamente 2.000.000 km^2 no Brasil central, mais áreas disjuntas nos outros biomas adjacentes" (Henriques, 2005, p. 75).

De fato, há remanescentes do Cerrado que coexistem com outros biomas, como a Mata Atlântica (IBGE, 2023a). A principal hipótese é que as áreas disjuntas são testemunhas do passado, um período de clima seco e com maior distribuição espacial do Cerrado pelo Brasil: "as atuais áreas disjuntas seriam remanescentes desta distribuição original. Com a mudança do clima para mais úmido, as áreas com cerrados ficaram isoladas em outros biomas" (Henriques, 2005, p. 76).

Na Paraíba há ocorrências de áreas disjuntas, a exemplo de regiões com altitude elevada no Tabuleiro Costeiro. Trata-se de áreas com predominância de solos mal drenados, camadas arenosas espessas e "formação vegetal que apresenta um manto herbáceo, constituído principalmente por gramíneas (capim do tabuleiro, etc.), e arbustos de troncos e ramos tortuosos, folhas largas, córtex espesso e fendido, como a mangaba, a lixeira, o cajuí" (Rodriguez, 2002, p. 34). E essas características estão atreladas ao relevo e a litologia da região:

> Os solos originados de rochas areníticas são, em sua maioria, mais pobres em nutrientes, arenosos, sem presença de ferro e revestidos por uma vegetação menos exuberante, com características savânicas. Nas áreas de relevo mais plano e suavizado, nas linhas de divisão de drenagens, é comum, na maioria dos locais, a ocorrência de Savanas (IBGE, 2019, p. 44).

Neste contexto, é importante salientar que tanto a mata úmida retarda a evaporação da água após a chuva (Brady; Weil, 2013), quanto às raízes da vegetação savânica (seja as raízes superficiais e adensadas das gramíneas, seja as raízes profundas das lenhosas) facilitam a percolação da água pelo subsolo (Franco, 2005). E ambos existem no território do Rio Tibiri, principal fonte do abastecimento público de Santa Rita. Por isso que a perenidade do manancial é mantida pelas águas minerais que surgem de olhos d'água, assim como pela alta

pluviosidade na região, justificando o reconhecimento como manancial de águas minerais (PMSR, 2023a).

Por fim, esclarece-se que o clima tropical quente-úmido é caracterizado por "chuvas abundantes (média anual de 1.800 mm) no outono-inverno (abril, maio, junho), temperatura média anual de 26º C e umidade relativa do ar de 80%" (Rodriguez, 2002, p. 33).

2.4.1.2 Relevo e litologia

Do ponto de vista geomorfológico, as cidades litorâneas da Paraíba estão localizadas sob o Tabuleiro Costeiro. Conceitualmente, tabuleiro é uma "formação topográfica de terreno que se assemelha a planaltos, terminando geralmente de forma abrupta" (Guerra, 2011, p. 594). A topografia plana e a litologia sedimentar são peculiaridades dos tabuleiros nordestinos (Guerra, 2011), tal como ocorre no litoral paraibano: "A partir das falésias, a leste, onde os topos apresentam altitude média de 40 metros, o baixo planalto costeiro vai aumentando a altura de sua superfície em direção ao oeste, alcançando 100 metros, no geral" (Rodriguez, 2002, p. 29).

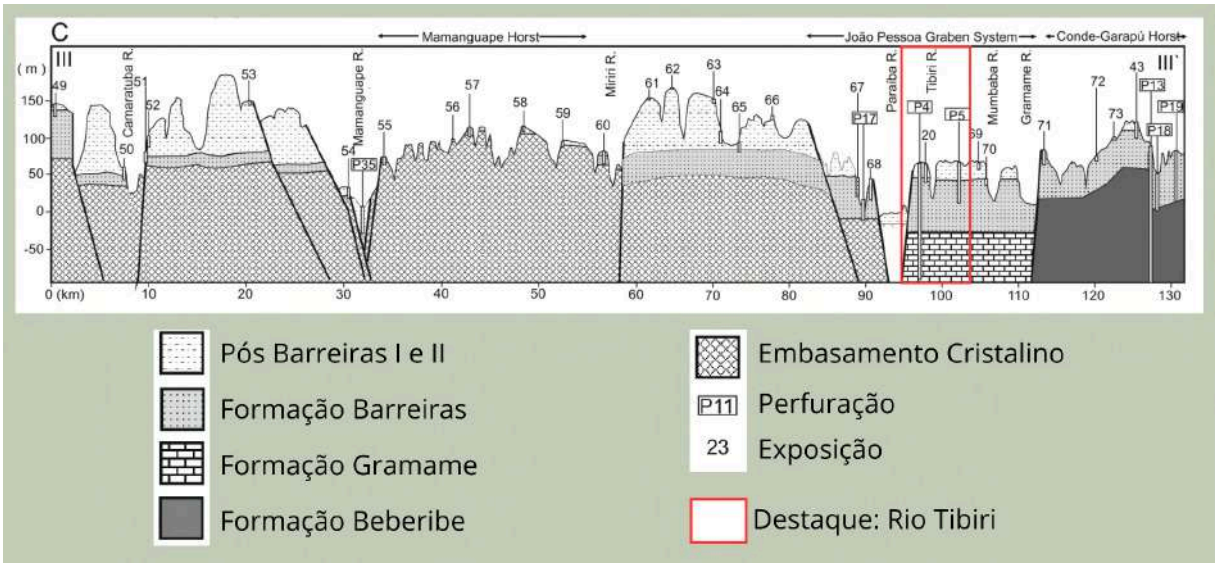
Esculpido nas encostas do relevo tabular, o Rio Tibiri percorre um vale de vertentes heterogêneas e sua calha fluvial acompanha as feições do relevo. A altitude varia da cota máxima de 85 m no alto curso até a cota mínima de 2 m na planície de inundação (Apêndice A). Assim, a força gravitacional atua no escoamento das águas, a partir da nascente, situada em altitude mais alta, e percorre o município de Santa Rita. Especificamente, o rio apresenta "extensão de 17,5 km, da nascente, às margens da PB 016, até a foz, onde deságua no Rio Paraíba, o seu trecho urbano tem aproximadamente 10 km de extensão, atravessando os bairros do Alto das Populares, Tibiri, Centro, Tibiri Fábrica e Várzea Nova" (PMSR, 2023a, p. 7).

A pesquisa sobre a Bacia Sedimentar Paraíba, realizada por Dilce Rossetti e Ana Góes[3], elucida a litologia do território onde fica o Rio Tibiri (Apêndice D), que foi um dos *lócus* avaliado (Ochoa, 2010; Rossetti *et al.*, 2012; Andrades-Filho; Rossetti; Bezerra, 2021). No perfil geológico (Figura 9), observa-se as camadas superiores compostas pelos sedimentos do

[3] As pesquisas realizadas pelas geólogas, juntamente com estudantes e colaboradores, são exemplos das contribuições que as mulheres proporcionam para o avanço científico brasileiro. Além de comprovar a hipótese de que a Formação Barreiras sofreu influência marinha na sua constituição sedimentar (Pivetta, 2013), demonstraram que a Formação Beberibe (depósito sedimentar arenítico da época Cenozóica) não aflora no litoral da Paraíba, antes sim está subjacente à Formação Barreiras (Ochoa, 2010; Rossetti *et al*., 2012).

Pós-Barreira I e II. Conforme Ochoa (2010) e Rossetti *et al*. (2012), o primeiro está sobreposto à Formação Barreiras e se trata de arenitos conglomeráticos, com matriz caulinítica, de cores variadas (avermelhada a rósea, amarronzada, amarelo-clara a branca), geralmente maciço e mal selecionado, com fragmentos de lateritas[4], com espessura máxima de 20 m perto do litoral. Já o Pós Barreira II é constituído por grãos de areia friável, cores claras (cinza, creme e, por vezes, amarelo), elevado teor de quartzo e, territorialmente, se sobrepõe de modo discordante sobre as camadas subjacentes, com espessura menor que 7 m.

Figura 9 – Perfil geológico na região do Rio Tibiri, Santa Rita-PB



Fonte: Rossetti *et al.* (2012, p. 320).

Nota-se também as camadas inferiores, que são: a Formação Barreiras (sedimentos areno-argilosos e conglomerados, com laterização ferruginosa *in situ*), a Formação Gramame (rochas calcáreas com vestígios de fósseis) e, por fim, a Formação Beberibe, que está sobrejacente ao embasamento cristalino (Ochoa, 2010).

Como evidenciou a ilustração acima, o tempo geológico para formação de rochas sedimentares é longo e ocorre mediante processos complexos: sedimentação de rochas pré-existentes, acúmulo de sedimentos e de biomassa decomposta, soterramento e litificação

[4] Conforme o dicionário geológico, a laterização é um "processo característico das regiões intertropicais de clima úmido e estações chuvosa e seca alternadas, acarretando a remoção da sílica, e o enriquecimento dos solos e rochas em ferro e alumínio. (...) Quando o processo se completa, temos solos transformados em rochas (laterito)." (Guerra, 2011, p. 384-385). A coloração avermelhada do laterito é proveniente do acúmulo de ferro e, no caso da Formação Barreiras, a laterização *in situ* significa que o processo ocorreu no interior do depósito sedimentar (Rossetti *et al.*, 2021). Todavia, há regiões onde a laterização ocorreu no topo da Formação Barreiras e, assim, faz fronteira com a camada superior (Pós Barreira I), onde encontram-se pedaços de lateritos dispersos na rocha, indicando transformações geológicas complexas (Ochoa, 2010).

(Guerra, 2011). Além disso, rochas são sistemas heterogêneos, formados por diferentes tipos de minerais, isto é: substâncias de "ocorrência natural, sólida, cristalina, geralmente inorgânica, com uma composição química específica" (Grotzinger; Jordan, 2013, p. 58).

Um exemplo é a classe de silicatos, aliás, o mais abundante grupo de minerais existente na crosta terrestre: a combinação de oxigênio (O) e silício (Si) gera o íon silicato, que "tem uma carga negativa, frequentemente se liga a cátions (...) como sódio (Na^{+}), potássio (K^{+}), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e ferro (Fe^{2+}). Alternativamente, ele pode compartilhar íons oxigênio com outros tetraedros de sílica" (Grotzinger; Jordan, 2013, p. 65). E tal classe predominou na composição mineralógica do Pós-Barreira I e na Formação Barreiras, constituídos por quartzo, caulinita e resquícios de mica e de feldspato (Ochoa, 2010).

Em suma, a litosfera é uma das dimensões da natureza que exerce funções ambientais devido ao dinamismo com a biosfera, hidrosfera, atmosfera, etc. E a relação dinâmica entre tais dimensões são complexas, pois variam na realidade de cada bioma e influenciam a segmentação das rochas que, por sua vez, constituem os materiais de origem dos solos: estes podem "herdar uma textura arenosa a partir de um material constituído de partículas grosseiras e rico em quartzo, como o arenito ou o granito. (...) A natureza do material de origem influencia os tipos e argilas que se formam quando o solo se desenvolve" (Brady; Weil, 2013, p. 36).

Daí se compreende a ocorrência de solos arenosos no topo do tabuleiro, onde se desenvolve a biota típica do Cerrado e há ocorrência da Formação Pós Barreira II. Já as encostas são cobertas por remanescentes de Mata Atlântica e vegetação secundária, devido à maior fertilidade proporcionada pelos sedimentos areno-argilosos e laterizados da Formação Barreiras. Isso porque solos "ricos em nutrientes, argilosos e com teores férricos propiciam um revestimento vegetal de maior exuberância e características florestais" (IBGE, 2019, p. 44). Mas, o que é o solo? E qual sua influência na relação ser humano-natureza? A elucidação científica para tais questionamentos é apresentada a seguir, contextualizada na realidade do Rio Tibiri.

2.4.1.3 Solos

Conceitualmente, solos são sistemas heterogêneos formados pela associação de minerais, água, ar e matéria orgânica (Grotzinger; Jordan, 2013). E a formação do solo

depende da correlação de fatores: material de origem, clima, biota, relevo e tempo (Brady; Weil, 2013). Especificamente: “material de origem e o relevo são considerados fatores ambientais passivos, que se modificam pela atuação dos outros fatores. (...) clima e organismos – são considerados ativos. O clima age sobre as rochas, transformando-as em solos e sedimentos” (Reatto; Martins, 2005, p. 49). Por isso que a observação dos solos é o passo inicial para compreender as interações que mantém as funções ambientais dos ecossistemas:

> Solos podem lhe dar pistas para compreender como funcionam os fenômenos naturais que ocorrem ao seu redor. Se estiver passeando ao longo de um riacho, preste atenção no seu fundo ou nos bancos arenosos e use uma lupa de bolso para examinar a areia neles depositada. Ela pode conter minerais não encontrados em rochas e solos locais, mas que se originaram de muitos quilômetros rio acima. (....) Considere que você tem boas oportunidades para observar o solo tanto sob escalas maiores, com sensores remotos, até as menores e microscópicas. À medida que aprender mais sobre o solo, você irá, sem dúvida, ser capaz de perceber mais exemplos de como ele está presente em várias situações de sua vida. (Brady; Weil, 2013, p. 19).

Por ser uma interface ambiental, os solos são como “fotografias” das mudanças que ocorrem nas feições terrestres. No caso em tela, observam-se fragmentos de rochas imersos na água, misturados no solo arenoso que formam o leito do Rio Tibiri, configurando-se como depósito aluvionar de areias, cascalhos e argilas. O acúmulo destes sedimentos na planície de inundação forma o neossolo flúvico, um “solo estratificado com variação de textura e do teor de carbono orgânico em profundidade. (...) Utilizado como substrato para agricultura (...) e pastagem, pecuária extensiva e preservação ambiental das margens dos rios (mata ciliar)” (Marques *et al.*, 2014, p. 4).

Conforme Dompieri *et al*. (2015), às variações de argissolos do litoral nordestino se originaram da Formação Barreiras. Por conseguinte, as jazidas de areia no alto curso do Rio Tibiri são provenientes dos argissolos acinzentados que, por sua vez, formaram-se dos sedimentos do Pós Barreiras II: “No geral estes depósitos apresentam forma tabular, recobrindo grandes extensões de terreno, mas com espessura variando entre 2 a 5 metros de cobertura arenosa” (Ferreira Neto *et al.*, 2021, p. 38).

Além disso, no médio curso do rio existem os argissolos vermelho-amarelos, que se originaram do intemperismo físico-químico na litologia do Pós Barreiras I e da Formação Barreiras (Rossetti *et al.*, 2011; Dompieri *et al.*, 2015). E ambas possuem matriz intersticial

caulinítica[5]: "Na Formação Barreiras, o material argiloso (28%) é essencialmente pós-deposicional (...). No Arenito Pós-Barreiras I, o material argiloso (49%) é proveniente de atividade biogênica e injeção de argilas" (Ochoa, 2010, p. 116-117).

Figura 10 – Exemplos de solos existentes na região do Rio Tibiri, Santa Rita-PB

Fonte: Acervo da autora.

Por isso que se prefere utilizar o termo "solos" (Figura 10) no plural para denotar a diversidade desse sistema: "Cada paisagem é composta por um conjunto de diferentes solos, cada um com sua própria maneira de influenciar os processos ecológicos" (Brady; Weil, 2013, p. 31). Neste contexto, compreende-se que diferentes tipos de solos na região do Rio Tibiri (Apêndice C) fornecem os recursos minerais que são extraídos da sub-bacia hídrica, quais sejam: a areia no entorno da cabeceira do rio e a argila na planície de inundação.

A areia localizada em cotas altas do Tabuleiro Costeiro apresenta elevado "grau de pureza, coloração esbranquiçada a cinza-clara, rica em quartzo" (Ferreira Neto *et al*., 2021, p. 38) e servem como matéria-prima para construção civil. E a análise química da argila extraída em Santa Rita[6] mostrou tanto a presença de caulinita, quanto o teor de óxido de ferro acima de

[5] A caulinita é um dos principais argilominerais da Terra, com "fórmula $Al_2Si_2O_5(OH)_4$, que tem a estrutura em folhas (...) e constitui matéria-prima essencial para a fabricação de cerâmica" (Grotzinger; Jordan, 2013, p.67).

[6] A equipe técnica da CPRM avaliou amostras coletadas na região da Bacia Hídrica do Rio Paraíba (a qual o Rio Tibiri é um dos afluentes), localizada em Santa Rita, assim como na Bacia Hídrica do Rio Mamanguape

4%, sendo “esta é uma importante característica para as argilas de uso cerâmico, uma vez que no mercado brasileiro prevalece a opção por cores fortes, desde o alaranjado até o vermelho” (Ferreira Neto *et al*., 2021, p. 53). Por conseguinte, a mineração desses recursos minerais contribui para diversificar os setores produtivos da cidade, além de gerar oportunidades de trabalho e arrecadação para o Poder Público.

2.4.2 APA do Rio Tibiri

A implementação de UCs é uma das ações do Poder Público que visam concretizar os direitos socioambientais e, assim, respeitar o princípio constitucional da defesa intransigente dos Direitos Humanos no Brasil (Brasil, 1988, 2000). Na cidade de Santa Rita-PB, tal desafio é enfrentado para consolidar a APA do Rio Tibiri (Figura 11), no sentido de elaborar as orientações de funcionamento da UC (Plano de Manejo), organizar as atividades do Conselho Gestor e envolver a comunidade local para efetiva implementação da APA que preserva o rio intermunicipal.

Figura 11 – Localização da APA do Rio Tibiri

Fonte: PMSR (2023c).

A APA do Rio Tibiri está nos seus dois primeiros anos de existência, sendo que a fase inicial é imprescindível para que a UC tenha efetividade na conservação ambiental (Quadro

(municípios de Mamanguape e de Rio Tinto). Em relação ao território santarritense, os resultados mostraram que a argila é altamente plástica e que obtém coloração vermelho-amarronzado após a queima (Ferreira Neto *et al.*, 2021).

4). Neste sentido, o decreto municipal que criou a unidade determina que a proteção da bacia de drenagem é um dos objetivos da APA, assim como promover a qualidade de vida da comunidade local, através do controle de atividades sociais, econômicas e culturais desenvolvidas no local, aliada a restauração de áreas degradadas e a elaboração de critérios de uso e ocupação da região (PMSR, 2023c). O quadro a seguir esquematiza as etapas para formalização da unidade em tela, organizado de acordo com a data em que foi realizado cada fase:

Quadro 4 – Fases de criação da APA do Rio Tibiri

DATA	FASE	DESCRIÇÃO
2022-2023	Estudo prévio sobre as condições ambientais, sociais e econômicas da área	Servidores públicos da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMMA), em parceria com a Polícia Militar Ambiental, o Instituto Federal da Paraíba (IFPB) e a Águas do Nordeste (ANE), realizaram o levantamento técnico-científico da área, para obter informações sobre características físico-química da água, estrutura geográfica, tipos de intervenção antrópica e situações que ameaçam a preservação do ecossistema local.
Mar/2023 (dia 14)	Divulgação da audiência pública	Etapa essencial para criação de UCs, porque tem a finalidade de alcançar o maior número possível de participantes, além de ser uma estratégia para chamar a atenção da comunidade local sobre a importância de preservar recursos naturais mediante a contribuição coletiva.
Mar/2023 (dia 22)	Realização da audiência pública	Realizou-se uma audiência pública, na Câmara Municipal de Vereadores, no centro da cidade. Durou por duas horas e trinta minutos e teve a presença de 63 pessoas. Com relação aos grupos sociais representados, havia mineradores de areia, agricultores, piscicultores, trabalhadores que coletam reciclagem, defensores de direitos humanos e alguns representantes de órgãos públicos: AESA, PROCON e Batalhão Ambiental.
Abr/2024	Decreto	O Poder Público Municipal institui a APA do Rio Tibiri.
Dez/2024 a Dez/2025	Elaboração do Plano de Manejo	Fase atual da unidade, em que a elaboração do documento está sob a responsabilidade de uma organização social sem fins lucrativos, contando com a colaboração da SEMMA.

Fonte: Elaborado pela autora com base em PMSR (2023a, b, c) e DOE-PB (2024b).

Foi durante a execução de estudos sobre a área ambiental que autoridades públicas de Santa Rita-PB constataram as principais intervenções antrópicas que debilitam as funções ambientais do Rio Tibiri:

> Na área da cabeceira da bacia é apropriado por agricultura, com foco nos cultivos de abacaxi e cana-de-açúcar, além de grande exploração de areia, em areeiros. A região do entorno, no rio principal possui sua Área de Preservação Permanente (APP) em partes preservadas, porém nos dias atuais, se encontra submetida a ações ilegais de

> desmatamento e com captação de água a partir de pequenos barramentos desproporcionados. (...) A Sub-bacia vem sofrendo uma expressiva pressão antrópica nos últimos anos. Além de concorrer com: a produção agrícola de abacaxi e cana-de-açúcar, com rodovias estaduais e federais, onde sofrem justamente a intensa influência da contínua expansão urbana (PMSR, 2023a, p. 8-9).

A realidade do Rio Tibiri descrita por esse documento oficial norteou a pesquisa de campo e a análise das imagens de satélite desenvolvidas neste trabalho, com a finalidade de compreender a importância da APA e do Plano de Manejo para orientar produções agrícolas e atividades de mineração de areia.

Dando continuidade ao processo de formalização da APA, o Poder Público Municipal promoveu uma audiência pública com o objetivo de apresentar à comunidade local as conclusões obtidas pelo estudo prévio e, primordialmente, promover o debate democrático das constatações descritas no levantamento territorial (Quadro 5).

Quadro 5 – Problematizações levantadas durante a audiência pública para criação da APA Tibiri

GRUPOS SOCIAIS	EXPOSIÇÕES
Secretários municipais e vereadores	1. As mobilizações para proteger o rio ocorrem desde a década de 1990. 2. Desmatamento da vegetação ripária e assoreamento do rio devido à práticas agrícolas (cana-de-açúcar). 3. Problemas advindos de intervenções antrópicas: desmatamento, riscos de erosão, saneamento deficiente e contaminação da água. 4. Há espécies da Mata Atlântica no entorno do Rio Tibiri. 5. A equipe técnica é reduzida para enfrentar muitas problemáticas. 6. Defesa da criação da APA como estratégia pública para superar os desafios ambientais. 7. Em relação aos rios Mumbaba e Marés, algumas ações são realizadas para monitorar nascentes, mapear as áreas e identificar tratamentos para os rios. 8. Há parcerias com algumas escolas que promovem ações de Educação Ambiental.
Representantes de alguns órgãos públicos	1. Ressaltam a importância de proteger o rio. 2. Elogios a iniciativa da gestão municipal. 3. Afirmam estar à disposição para ajudar na concretização da APA. 4. Também enfrentam a dificuldade referente aos recursos humanos (equipe técnica reduzida).
Sociedade	1. Propõe a criação de um comitê permanente para apresentar soluções e monitorar a APA. 2. Valoriza a população enquanto agentes de transformação socioambiental. 3. Afirmam que o acesso à água integra os Direitos Humanos. 4. Solicitam atenção especial, por parte dos agentes públicos municipais, para preservar os rios Mumbaba e Marés, além do distrito de Forte Velho. 5. Defendem a Educação Ambiental nas escolas.

Fonte: Elaborado pela autora com base em PMSR (2023b).

De fato, a análise textual da ata da audiência revelou que os problemas ambientais não estão restritos ao Rio Tibiri, apesar da sub-bacia hídrica ser o foco da APA. Além do

manancial manter o abastecimento público de água, trata-se de um rio intermunicipal, tendo o Chefe do Executivo de Santa Rita-PB a autonomia para instituir a APA na circunscrição municipal. Devido a função democrática da reunião, sente-se a ausência de pronunciamentos em autodefesa, no que se refere a alguns grupos sociais presentes na audiência (donos de canaviais e mineradoras), tendo em vista que durante a reunião se enfatizou impactos ambientais decorrentes de tais atividades, como desmatamento, erosão e assoreamento. Deste modo, no Quadro 4 (terceira linha do quadro), optou-se pelo termo "presença" ao invés de "participação", pois muitas pessoas estavam presentes, mas poucas se pronunciaram.

Além disso, a realização de uma única audiência pública para abordar a criação de UCs é insuficiente diante das diversas situações que ameaçam a preservação do Rio Tibiri, como mostrou o próprio Estudo Prévio. Por exemplo, um questionamento que poderia ser levantado se refere ao potencial da APA para amenizar os efeitos das intervenções antrópicas e, assim, suscitaria uma nova pergunta: quais são as outras alternativas de UCs adequadas à realidade local? De fato, o pensar coletivo tende a ser mais eficaz para propor soluções que, por sua vez, seriam apreciadas pelo Poder Público quanto à viabilidade da UC no Rio Tibiri. Mas isso não ocorreu no caso em tela.

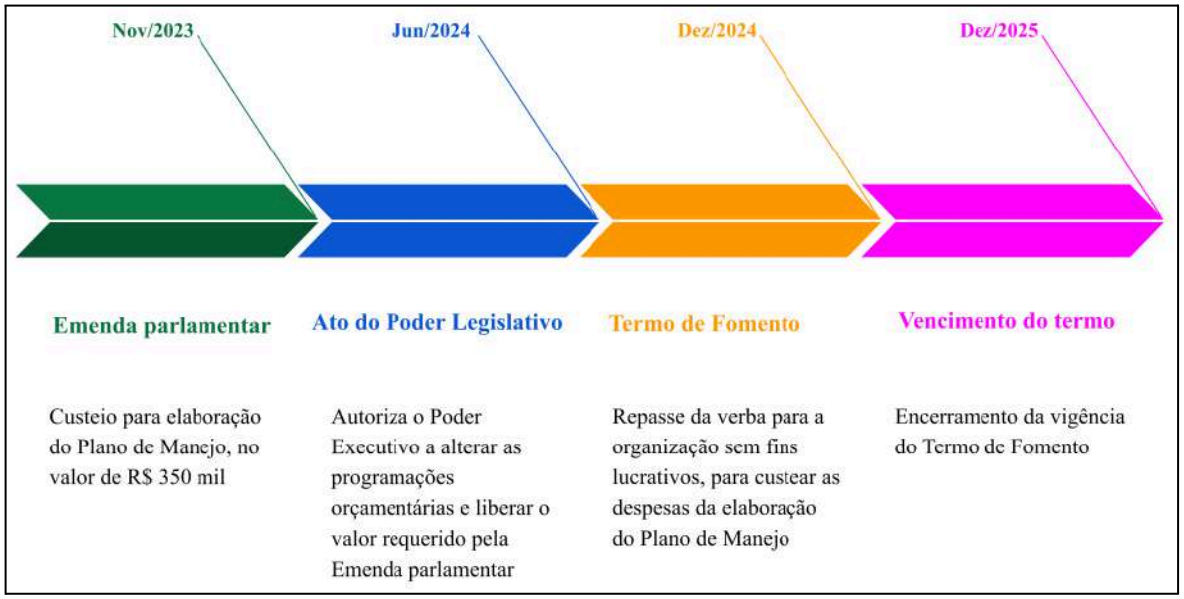
No que tange à realidade ambiental de outros corpos hídricos, deve-se esclarecer que o Rio Mumbaba está localizado nos municípios paraibanos de Santa Rita, Pedras de Fogo e João Pessoa, o que demonstra a necessidade de trabalho conjunto entre as prefeituras para sanar os impactos ambientais no corpo d'água. Contudo, as reivindicações expostas na audiência requerem o apoio do Poder Público de Santa Rita para proteger o trecho do rio dentro do município, que corresponde a maior parte do Rio Mumbaba. Tal demanda popular se estende ao caso do Rio Marés, cujo alto curso percorre a divisa entre Santa Rita, João Pessoa e Bayeux. Já o distrito de Forte Velho é uma região com vários recursos hídricos que sustentam famílias de pescadores e produtores rurais.

Diante da importância de conservar o rio intermunicipal, ratificado durante a audiência pública, o passo seguinte foi a aprovação do Decreto Municipal nº 29/2023, que instituiu a APA do Rio Tibiri. E a atual fase é a elaboração do Plano de Manejo, um documento fundamental para evitar a ineficiência na implantação de UCs e, assim, concretizar sua existência de acordo com o texto legal que criou a unidade.

A formulação de planos para nortear políticas públicas exige tempo e, por lei, o prazo máximo para redação do Plano de Manejo são cinco anos (Brasil, 2000, 2002). Neste ínterim,

a legislação determina que todas atividades desenvolvidas na UC sejam restritas àquelas que garantam a integridade dos recursos naturais (Brasil, 2000). Consequentemente, na fase de elaboração do Plano de Manejo (Figura 12), os gestores públicos e o comitê participativo que direcionam a APA possuem embasamento legal para implantar a unidade.

Figura 12 – Linha do tempo referente ao Plano de Manejo para APA do Rio Tibiri



Fonte: Elaborado pela autora com base em ALPB (2023) e DOE-PB (2024a, b, c).

A linha do tempo acima mostra que fazem, aproximadamente, oito meses que o plano está em fase de elaboração, um valor aceitável se comparado ao longo prazo permitido pela lei da SNUC. Mas antes da publicação do Termo de Fomento em dezembro de 2024, houve um processo administrativo mais demorado: a Emenda Parlamentar foi proposta sete meses após a criação legal da APA, mas o Poder Executivo Estadual liberou o financiamento em meados do ano seguinte. Também é preciso destacar que o governo estadual designou dois servidores públicos para gerir e fiscalizar o Termo de Fomento durante sua vigência (DOEPB, 2024c). A equipe responsável pela redação textual faz parte do Instituto Incubação e Aceleração (IA), uma organização sem fins lucrativos, especializada em projetos socioambientais e com várias experiências de parceria com o Poder Público (IA, 2025).

Por fim, cabe ressaltar que a gestão de recursos hídricos no Brasil organiza-se de modo democrático: “Se a água é um bem de domínio público, todas as pessoas que moram na área de uma bacia hidrográfica também devem ser consultadas (...). E o fórum para esses debates participativos se dá no chamado Comitê de Bacia Hidrográfica” (CNPq; Fundação Roberto

Marinho, 2011, p. 68). No estado paraibano, a região metropolitana de João Pessoa insere-se no Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, que abrange o corpo hídrico principal e seus afluentes, tal como o Rio Tibiri, em Santa Rita.

Na cidade das águas minerais, a gestão da APA do Rio Tibiri é responsabilidade do Comitê Municipal, formado por três representantes da SEMMA, um representante da Secretaria Municipal de Agricultura, Pecuária, Pesca e Abastecimento (SEAPPA), um representante da empresa concessionária pelo abastecimento de água (atualmente, é a ANE), e um representante da sociedade civil (PMSR, 2023c). Além disso, há o Conselho Municipal de Desenvolvimento do Meio Ambiente (CODEMA), um órgão colegiado, de caráter consultivo e deliberativo no âmbito de sua competência (isto é, a conservação do patrimônio histórico, cultural e ambiental de Santa Rita), que conta com a participação de diversos setores da sociedade, como representantes da Universidade Federal da da Paraíba (UFPB) e do Instituto Federal da Paraíba (IFPB), o que evidencia o envolvimento das instituições de ensino superior nas questões socioambientais do município (PMSR, 2025).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

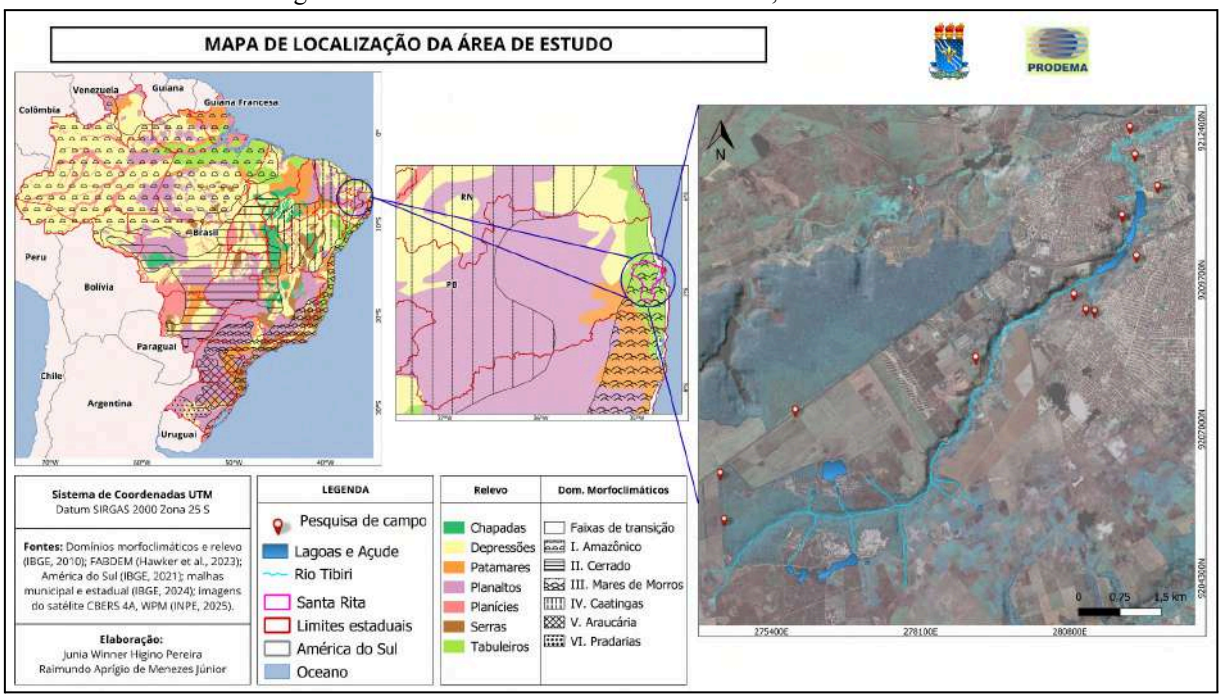
Com extensão territorial de 718,6 km² e população estimada em mais de 160 mil habitantes (IBGE, 2025), a cidade paraibana de Santa Rita se destaca por suas belezas naturais e riqueza cultural. Conhecida como cidade dos canaviais, é o quarto município no ranking paraibano de produção agrícola: em 2023, foram produzidas 949 mil toneladas de cana-de-açúcar, com rendimento médio de 65 mil kg/ha (IBGE, 2023a).

A agricultura é o principal setor que movimenta a economia da cidade, contrastando com os remanescentes de Mata Atlântica que ainda resistem ao desenvolvimento econômico. E nem mesmo o solo arenoso onde floresce a vegetação típica do Cerrado é exceção, devido às técnicas de adubação e a escolha de espécies adaptadas ao substrato.

Historicamente, a monocultura canavieira é hegemônica, mas existem outros cultivos que se destacam na economia da cidade de Santa Rita-PB: o abacaxi (IBGE, 2023a). Terra para plantar e colher, terra para extrair recursos minerais de alto consumo na construção civil:

a areia. De fato, o Tabuleiro Costeiro paraibano possui várias regiões com solo arenoso exposto, a exemplo do manancial santarritense.

Figura 13 – Área de estudo: APA do Rio Tibiri, Santa Rita-PB



Fonte: Elaborado pela autora.

Por isso, escolheu-se a APA do Rio Tibiri como área de estudo (Figura 13) e avaliou-se a estrutura territorial que agrega flora, solos, corpos d'água e modificações ocasionadas pela mineração de areia e pelas monoculturas de abacaxi e de cana-de-açúcar.

3.2 COLETA DE DADOS

3.2.1 Pesquisa documental

3.2.1.1 Bases de dados públicos sobre Mineração

Obteve-se informações oficiais sobre atividades minerárias na região do Rio Tibiri mediante consulta aos acervos digitais da ANM (2025c, d, e). O SIGMINE disponibiliza arquivos *shapefiles* com os polígonos que delimitam as áreas de mineração, assim como identifica o título minerário, o nome do titular e o recurso mineral prospectado e/ou extraído

(ANM, 2025c). Salienta-se que se resguardou a privacidade dos empreendimentos minerários e das propriedades agrícolas, por isso não se expôs os nomes dos titulares e nem das fazendas, optando-se por utilizar termos genéricos para identificação. Por exemplo: a Mineradora n° 1 é a principal responsável pela lavra de areia no *lócus* de estudo.

Ampliando o detalhamento dos dados, o Serviço Eletrônico de Informação (SEI) apresenta alguns documentos de acesso livre: pareceres técnicos, ofícios, registros e publicação dos regimes minerários no Diário Oficial da União (ANM, 2025e). Porém, há informações que não são abertas ao público, a exemplo do Relatórios Anual de Lavra e do Plano de Fechamento de Mina. Diante dessa restrição, recorreu-se aos pareceres técnicos disponíveis no sistema (Anexo A). Esse documento público aborda o funcionamento da atividade, cita os órgãos públicos que expediram licenças ambientais e autorizações, fala sobre o pagamento de impostos e taxas pela mineradora, descreve o tipo e prazos do título minerário.

E quando os documentos são submetidos no SEI, então se atualiza o *status* no Cadastro Mineiro (ANM, 2025d), servindo como uma linha do tempo que mostra as fases do processo minerário, até o fim de sua vigência. O Cadastro Mineiro também apresenta os processos minerários correlacionados, facilitando a pesquisa. Além disso, o *status* no sistema confirma ou não se impostos concernentes à mineração foram pagos, ou se há multas e sanções ao empreendimento.

3.2.1.2 Bases de dados públicos sobre Agricultura

Para avaliar os canaviais e os abacaxizeiros no entorno do Rio Tibiri, foi necessário consultar informações sobre propriedades rurais e sua situação fundiária, nos sistemas eletrônicos do INCRA (2025) e do MMA (2025b). O nome do município e a localização do Rio Tibiri foram utilizados para refinar a pesquisa nas bases de dados supracitadas. Inicialmente, consultou-se o Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR), para identificar as áreas agrícolas da região (MMA, 2025b).

Notou-se que quatro propriedades estão localizadas na zona urbana e ficam nas redondezas do baixo curso do rio. Como a APA protege o alto e médio curso, as quatros propriedades supracitadas foram excluídas da pesquisa. Deste modo, os critérios de seleção das propriedades foram: I. intersecção territorial entre imóveis rurais e a UC; II. o principal

cultivo na propriedade é cana-de-açúcar e/ou abacaxi; III. existência de elementos naturais da sub-bacia hídrica dentro da propriedade (nascente, olhos d'água, lagoas, mata ripária e cortes topográficos que se conectam ao vale do rio). Ao aplicar os critérios, selecionou-se cinco propriedades (Quadro 6). Destaca-se que a Propriedade n° 5 é um dos maiores latifúndios canavieiros da cidade de Santa Rita-PB.

Quadro 6 – Propriedades rurais avaliadas nesta pesquisa

N°	DATA DE INSCRIÇÃO NO CAR	DATA DE RETIFICAÇÃO DO CADASTRO	MÓDULOS FISCAIS	ÁREA (km²)
1	05/05/2016	—	10,00	1
2	15/06/2016	17/10/2019	18,83	1,88
3	25/05/2018	—	19,29	1,92
4	26/08/2022	15/07/2024	5,14	0,51
5	04/05/2016	08/02/2023	786,61	78,66

Fonte: Elaborado pela autora com base em MMA (2025b).

Após a seleção das propriedades, verificou-se se estão regularizadas no Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF) e os resultados foram positivos (INCRA, 2025). Por conseguinte, avaliou-se as tabelas de atributos dos arquivos *shapefiles*, obtendo-se informações referentes aos APPs (proteção do rio, lagoas e mata ripária), Reservas Legais, cobertura do solo, áreas rurais consolidadas e limites do imóvel. Também foi analisado o Demonstrativo da Situação das Informações Declaradas no CAR. Esse documento apresenta informações sobre módulos fiscais, situação da Reserva Legal (averbada, proposta, passivo e excedente) e se há pendências ambientais no cadastro, isto é, áreas de vegetação que precisam ser recompostas na Reserva Legal e/ou APP (MMA, 2025b).

3.2.2 Pesquisa de campo

A investigação sobre o manancial santarritense começou pela observação de macrófitas no baixo curso do rio, popularmente conhecido como Rio Preto, devido a carga elevada de sedimentos e de poluição oriundas de ações antrópicas. Durante a primeira fase da pesquisa de campo, realizada no ano de 2024 (Quadro 7), chamou a atenção três aspectos referentes à ocupação territorial e a dinâmica com as macrófitas, quais sejam: a existência de imóveis

rurais no centro da cidade, a expansão urbana no entorno do rio e a cobertura do espelho d'água pelas macrófitas.

Quadro 7 – Fases da pesquisa de campo

FASE	PERÍODO	LOCAIS DE PESQUISA	OBSERVAÇÕES	OBRAS QUE ORIENTARAM A PESQUISA DE CAMPO
1°	out-nov. 2023 jun-jul. 2024	Baixo curso do rio	Poluição advindas de esgotos domésticos, descarte de lixos e resíduos originários da agropecuária familiar para subsistência. Macrófitas sob o rio (flutuantes), enraizadas no leito (submersas) e nas margens (emergentes).	Pompêo e Moschini-Carlos (2003). Esteves (2011).
2°	nov-dez. 2024 jan-fev. 2025	Açude Tibiri Médio curso do rio	Observações no entorno do Açude Tibiri (macrófitas e a barragem) e no médio curso do rio (olhos d'água e litologia).	Molle e Cadier (1992). Grotzinger e Jordan (2013)
3°	mai-jun. 2025	Alto curso do rio	Canaviais e abacaxizeiros que ocupam vários terrenos (alternância entre solo ocupado e em preparação para novo cultivo). Remanescentes de vegetação nativa.	Mendes e Cirilo (2013). Barbosa, Novo e Martins (2019).

Fonte: Anotações da pesquisa de campo.

Diante disso, a ideia inicial era desenvolver alguma tecnologia para fotodegradação da biomassa vegetal, mediante tratamento com radiação ultravioleta, e reaproveitá-la para confeccionar baterias ecológicas. Essa proposta tinha a finalidade de reutilizar a biomassa, respeitando o ciclo biológico da planta: crescer, desenvolver, filtrar impurezas da água e ser abrigo para várias espécies de organismos aquáticos. Isso porque as ações de limpeza do Rio Preto, executadas por órgãos municipais, são pautadas no manejo de coletar lixos, entulhos e as macrófitas do rio (independente da fase de vida da planta), descartando os resíduos em locais adequados, mas com baixo reaproveitamento de materiais orgânicos coletados.

Contudo, na segunda fase da pesquisa de campo, a partir de novembro de 2024, mais dois fatos redirecionaram os objetivos do trabalho. Ao observar macrófitas no Açude Tibiri, sobressai o aroma forte de água salobra, devido ao acúmulo de sedimentos no sopé da barragem. A água rica em sais minerais, junto com materiais poluentes dissolvidos, é um ambiente propício para proliferação das macrófitas, que absorvem os nutrientes por meio de suas raízes. Daí que ocorreu o segundo fato: durante a pesquisa no médio curso do rio,

observou-se olhos d'água e a litologia no entorno do manancial. Sabe-se que o fluxo de água movimenta sedimentos e demais substâncias dissolvidas a jusante, enquanto a barragem acumula esses materiais a montante.

Assim, percebeu-se a importância de conhecer a interação entre ocupação territorial e a dinâmica ambiental do rio, pois esses fatores influenciam a flora existente na área, como as plantas aquáticas. Por conseguinte, a terceira fase da pesquisa foi a observação de canaviais e abacaxizeiros nas proximidades do rio, especialmente no alto curso. Mas como o território é muito extenso, sentiu-se a necessidade de ter algum instrumento que permite-se observar a região por cima, abrangendo o espaço amplo, ao mesmo tempo que permitisse avaliar detalhes do uso do solo e suas repercussões no Rio Tibiri.

Enquanto isso, a pesquisa bibliográfica mostrou que a instituição da APA do Rio Tibiri ocorreu recentemente e o estudo realizado pela PMSR evidenciou que monoculturas e mineração ocasionam impactos ambientais. Logo, notou-se a pertinência de avaliar o uso alternativo do solo e o potencial da UC para disciplinar as atividades econômicas realizadas na região. E o sensoriamento remoto se destacou como “instrumento” tão necessário para alcançar grandes espaços em curto espaço de tempo. De fato, os primeiros aspectos que sobressaíram nas imagens de satélite foram várias ocorrências de macrófitas ao longo do rio e as modificações no solo devido a mineração de areia, ratificando que a escolha é adequada às finalidades deste trabalho acadêmico.

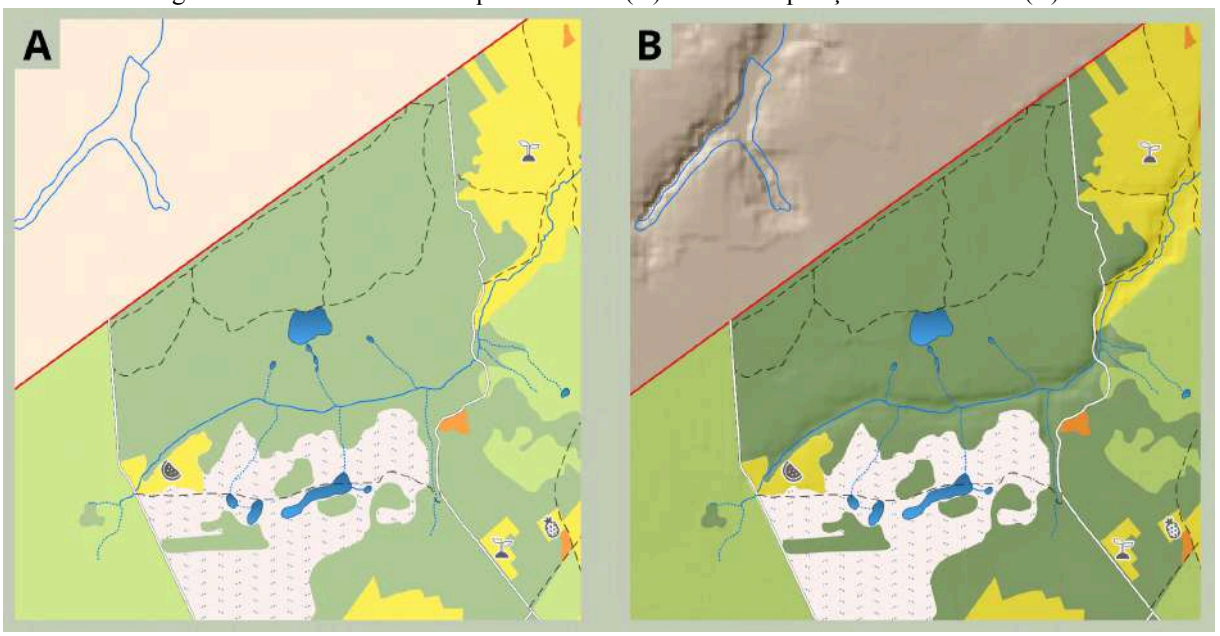
3.2.3 Modelo Digital de Elevação (MDE)

Para confecção dos mapas de hipsometria e de declividade (Apêndice A e B), utilizou-se o FABDEM (*Forest and Buildings removed Copernicus DEM*), um modelo que mantém as características essenciais do projeto Copernicus DEM (resolução espacial de 30 m), com o diferencial de minimizar os efeitos de florestas e de edificações nas cotas de elevação terrestre. O esforço dos pesquisadores da Universidade de Bristol foi desenvolver um Modelo Digital de Terreno (MDT) mediante técnicas de *machine learning*, cujos algoritmos removerem distorções decorrentes de elementos altos e densos que existem na superfície global, especialmente em áreas florestadas (Hawker *et al.*, 2023), como nos biomas Mata Atlântica e Amazônia.

Um estudo que comparou os principais MDEs utilizados em sensoriamento remoto (SRTM, ALOS, NASADEM, ASTER, Copernicus DEM e FABDEM) mostrou que os dois últimos se destacam como modelos que apresentam maior nível de confiabilidade referentes à altimetria, declividade e rugosidade (Bielski *et al.*, 2024).

Neste sentido, a Figura 14-A mostra o produto final da vetorização da carta topográfica da SUDENE (1974), um dos documentos analisados nesta dissertação. Ao comparar a superfície lisa dos polígonos e a sobreposição dos *shapefiles* no FABDEM (Figura 14-B) é perceptível como o MDE proporciona uma sensação de profundidade nos vales fluviais, destaca o entorno das lagoas e torna mais realista as feições representadas pelos vetores (areia, solo exposto, estradas, etc.).

Figura 14 – Contraste entre arquivo vetorial (A) e sua sobreposição no FABDEM (B)



Fonte: Elaborado pela autora.

Outrossim, o FABDEM foi aplicado para confecção dos mapas temáticos referentes aos solos, litologias e vegetação da área de estudo. Isto é, foi utilizado como a superfície em que foram dispostos os *shapefiles* dos arquivos sobre os aspectos geofísicos da área de estudo. E ao aplicar uma transparência de 60% na imagem de satélite e projetá-lo no MDE (ver a Figura 13), foi possível perceber os efeitos da rugosidade do relevo nas encostas do Rio Tibiri. Essa escolha metodológica facilitou o processo de interpretação dos dados geoespaciais e organizou as informações contidas nos mapas.

3.2.4 Imagens de satélite

Diante dos objetivos de pesquisa, a escolha da constelação de satélites artificiais foi baseada na estratégia de aplicar, coerentemente, as especificidades de cada satélite (Quadro 8): explorar as potencialidades de dispor de imagens em alta resolução (OrbView e CBERS) e com ampla faixa espectral e radiométrica (Landsat).

Quadro 8 – Número de bandas, comprimentos de onda e sensores orbitais da constelação de satélites

LANDSAT 1 e 2	**LANDSAT 5 e 7**	**LANDSAT 8 e 9**	**CBERS 4A**
MSS	*TM (B1 a B7)* *ETM+ (B1 a B8)*	*OLI (B1 a B9)* *TIRS (B10-11)*	***WPM***
—	B1: blue 0,45 a 0,52 µm	B1: coastal 0,43 a 0,45 µm	B1: blue 0,45 a 0,52 µm
—	B2: green 0,52 a 0,60 µm	B2: blue 0,45 a 0,51 µm	B2: green 0,52 a 0,59 µm
—	B3: red 0,63 a 0,69 µm	B3: green 0,53 a 0,59 µm	B3: red 0,63 a 0,69 µm
B4: green 0,50 a 0,60 µm	B4: NIR 0,77 a 0,90 µm	B4: red 0,64 a 0,67 µm	B4: NIR 0,77 a 0,89 µm
B5: red 0,60 a 0,70 µm	B5: SWIR 1,55 a 1,75 µm	B5: NIR 0,85 a 0,88 µm	—
B6: NIR 1 0,70 a 0,80 µm	—	B6: SWIR 1,57 a 1,65 µm	—
B7: NIR 2 0,80 a 1,1 µm	B7: MIR 2,08 a 2,35 µm	B7: MIR 2,11 a 2,29 µm	—
—	B8: PAN 0,52 a 0,90 µm	B8: PAN 0,50 a 0,68 µm	B0: PAN 0,45 a 0,90 µm
—	—	B9: cirrus 1,36 a 1,38 µm	—
—	B6: TIR 10,4 a 12,5 µm	B10: TIRS 1 10,6 a 11,19 µm	—
		B11: TIRS 2 11,5 a 12,51 µm	—

Fonte: Elaborado pela autora com base em INPE (2025) e USGS (2025b).

O imageamento feito pela família Landsat foi utilizado para avaliar a evolução histórica do uso alternativo do solo, ao passo que as imagens do satélite CBERS 4A fundamentaram a avaliação territorial da APA do Rio Tibiri. Já a imagem pancromática do OrbView 3, com alta resolução espacial (1 m), contribuiu para identificar escavações no entorno do maior afluente do rio: a Lagoa Paturi. O acervo digital mantido pelo serviço geológico dos Estados Unidos foi a fonte de dados para obter as imagens do Landsat e do OrbView 3 (USGS, 2025b).

No contexto contemporâneo das atividades econômicas na região da APA do Rio Tibiri, utilizou-se os dados fornecidos pelo sensor WPM, instalado no satélite CBERS 4A. De fato, a tecnologia sino-brasileira merece reconhecimento, devido a alta resolução espacial das imagens pancromáticas (2 m) e da média resolução das imagens multiespectrais (8 m). Apesar da disponibilidade de apenas quatro bandas (VNIR), ainda assim atendeu aos objetivos da pesquisa. As imagens foram obtidas no catálogo online do INPE (2025), selecionando-se os arquivos *raster* referentes à área de estudo. No total, obteve-se sete arquivos, uma para cada ano (2020-2024) e duas imagens para o ano vigente (Quadro 9).

Quadro 9 – Condições climáticas na data do imageamento pelo satélite CBERS 4A

DATA	NUVENS (%)	Clima (dia)		Pluviometria (mm)	
		🌧️ (mm)	🌡️ (°C)	Dia anterior	Acumulado (5 dias)
20/02/2025	30	1,9	28,5	0,6	29,1
20/01/2025	70	0,1	28,1	13,6	19,7
17/06/2024	20	4,7	25,8	32,5	80,6
11/05/2023	30	0,1	27,8	0,7	1,2
05/07/2022	40	7,8	26,0	36,3	132,2
30/10/2021	10	0,0	27,7	0,0	2,8
29/12/2020	30	0,0	27,2	0,0	5,6

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da AESA (2025), INMET (2025) e INPE (2025).

Deste modo, foi possível analisar os períodos anterior e posterior ao ano de criação da APA municipal (abril de 2023). E a pesquisa de campo contribuiu para validar e corrigir os dados oriundos do sensoriamento remoto, sendo uma fase fundamental desta pesquisa.

Outrossim, verificou-se as condições climáticas na data do imageamento, porque as nuvens encobrem o objeto que se pretende analisar, assim como “a umidade influencia na

interação da energia eletromagnética com os objetos, recomenda-se a análise de dados de precipitação do período de aquisição das imagens pelo sensor" (Florenzano, 2011, p. 63-64). Diante disso, considerou-se a pluviometria no dia anterior, no momento do imageamento e no acumulado de cinco dias, porque incidem diretamente no encharcamento dos solos, bem como a temperatura influência a evaporação da água superficial. Esse cuidado foi essencial para a interpretação das imagens referentes à mineração de areia.

Manter a atenção sob a data do imageamento também favoreceu a avaliação das monoculturas. Conforme se evidenciou na fundamentação teórica, existem fases para plantar, colher e preparar novamente os solos para nova safra: "Se o objetivo for o estudo de culturas agrícolas, na seleção da data das imagens temos que levar em consideração, entre outros fatores, o calendário agrícola das culturas" (Florenzano, 2011, p. 64).

3.3 PROCESSAMENTO, INTEGRAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

Neste estudo promoveu-se a integração entre dados históricos e geoespaciais. Por isso, realizou-se o georreferenciamento e a vetorização de cartas topográficas da SUDENE (1974). No ano de 1970 existia uma ampla cobertura vegetal na região do Rio Tibiri e foi retratado nesse mapa histórico oriundo de aerofotogrametria. Neste ínterim, a agricultura avançava do baixo curso em direção à cabeceira do rio.

Para avaliar esses dados, utilizou-se ferramentas de vetorização avançada disponíveis no QGIS, software livre desenvolvido na linguagem Python. O processo foi realizado com cautela para evitar falhas no traçamento manual de linhas e polígonos, além da execução de múltiplos nós (cliques no mouse) para criar traços mais suaves, tendo em vista que não se utilizou recursos de suavização para evitar distorcer o tamanho das áreas mapeadas. Após o cálculo de áreas e perímetros de cultivos agrícolas, solos expostos e vegetação (obtido pela calculadora de campo do QGIS), os arquivos *shapefiles* foram sobrepostos no FABDEM e, assim, obteve-se o mapa sobre uso alternativo do solo no ano de 1970 (Apêndice F).

Também se obteve alguns pontos de referência na carta georreferenciada. Isso porque dados geoespaciais devem ser contextualizados no tempo (quando?) e no espaço (onde?). Daí a ligação entre história e geografia nos estudos ambientais. Foram escolhidos vinte pontos, dos quais a maioria ainda existem: uns com nomenclatura diferente (Bairro dos Industriários equivale a Bairro das Indústrias, localizado na capital paraibana e faz divisa com Santa Rita),

outros com mesma denominação (a exemplo de Pinicho, Belei, comunidade rural de Tibirizinho e Aeroporto Castro Pinto), e alguns ampliaram o seu território (tal como a Usina São João, que incorporou antigos engenhos açucareiros).

No que se refere a metodologia de análise de dados, aplicou-se a fotointerpretação de imagens de satélite, mediante a análise da assinatura espectral dos objetos registrados nas imagens (Quadro 10), concomitante com a análise de documentos que descrevem as características das atividades econômicas de mineração e agricultura. Salienta-se que esses procedimentos são complementares. Enquanto a análise espectral contribui para identificar os tipos de objetos imageados pelos sensores ópticos, a análise documental possibilita o acesso a informações que elucidam a relação dinâmica entre os elementos registrados nas imagens.

Quadro 10 – Análise espectral mediante composições coloridas e índices físicos

SATÉLITES (sensores ópticos)	**COMPOSIÇÕES (RGB)**			**ÍNDICES FÍSICOS**
	Cor natural	**Falsa cor IR**	**Vegetação**	**Água e Vegetação**
Landsat 1 (MSS)	—	R7 G5 B4	R5 G7 B4	NDWI = $\frac{green - NIR}{green + NIR}$ NDVI = $\frac{NIR - red}{NIR + red}$
Landsat 5 e 7 (TM e ETM+)	R3 G2 B1	R4 G3 B2	R5 G4 B3	
Landsat 8 e 9 (OLI)	R4 G3 B2	R5 G4 B3	R6 G5 B4	
CBERS 4A (WPM)	R3 G2 B1	R4 G3 B2	R3 G4 B2	—
OrbView-3	Banda pancromática			—

Fonte: Elaborado pela autora.

Consequentemente, o procedimento de fotointerpretação torna-se mais assertivo, porque ambos são registros específicos no tempo e no espaço. Ou seja, as imagens de satélite atestam que aconteceu determinado evento, ao passo que os documentos históricos relatam o dinamismo do evento. No caso em tela, trata-se da interação entre o espaço geofísico e o uso alternativo do solo.

Diante da constelação de satélites artificiais utilizados neste trabalho, escolheu-se imagens do Landsat com correções geométricas, radiométricas e atmosféricas (coleção 2, nível 2). Em relação ao CBERS, obteve-se imagens de nível 4 (correções geométricas,

radiométricas e ortorretificação), que já “estão prontas para uso, sem necessidade de procedimentos adicionais por parte dos usuários” (INPE, 2022, p. 1).

Essas imagens são úteis para fotointerpretação de formas, texturas, profundidades, padrões e identificação de feições superficiais: corpos d'água, talhões de cultivos agrícolas, escavações a céu aberto, etc. Para tanto, aprimorou-se a resolução espacial dos dados mediante a técnica de *pansharpening*: “é um processo de fusão de imagens multiespectrais de baixa resolução espacial com imagens pancromáticas de alta resolução espacial para criar uma única imagem colorida de alta resolução” (Zanotta; Ferreira; Zortea, 2019, p. 143).

Cabe ressaltar que todos os arquivos (*raster* e *shapefile*) foram reprojetados para coordenadas geográficas UTM, zona 25 S, SIRGAS 2000. Além de padronizar o georreferenciamento e evitar erros de localização, as coordenadas planas são adequadas para cálculo de áreas e perímetros, que são informações úteis para quantificar as modificações na área de estudo.

4 RESULTADOS

4.1 USO ALTERNATIVO DO SOLO NO CONTEXTO DO RIO TIBIRI: MINERAÇÃO E MONOCULTURAS

4.1.1 Documento e mapa histórico

O marco inicial desta pesquisa é um relatório governamental datado de 1958, referente aos canaviais estabelecidos nas terras de massapê e irrigados pelas águas de afluentes do Rio Paraíba, a exemplo do Rio Tibiri. No documento, Andrade (1959) relata as características de lagoas cíclicas e suas relações com a biota típica do Cerrado, com as capoeiras (vegetação secundária) e com as zonas de transição para a Mata Atlântica, além da coexistência com o solo arenoso:

> Capeados são estes por uma camada de areia de variável espessura, do que resultam necessariamente diferentes graus de drenagem dos solos e de que dependem, por certo, as variações às vezes bruscas da composição florística. Aqui e ali a pequena espessura da camada de areia denuncia-se na superficialidade do lençol hidrostático: pequenas lagoas que se formam na estação das chuvas e que são esgotadas por evaporação durante as estiagens (Andrade, 1959, p. 75).

O relato de Andrade (1959) também alertava sobre os impactos da monocultura canavieira, tais como desmatamento, erosão do solo, assoreamento e contaminação dos rios pelos efluentes de destilarias. E não apenas a cana-de-açúcar na várzea, mas também existiam os roçados de mantimentos (mandioca, abacaxi e pomares) nas encostas do Tabuleiro Costeiro: "Roçados, aliás, que escalam o tabuleiro na faixa da antiga mata do rebordo e fazem recuar as capoeiras uns 300 m para dentro (...) passando então gradualmente para a típica vegetação (...) de cerrado" (Andrade, 1959, p. 75). É importante frisar que os roçados serviam para abastecer o mercado local, assim como famílias de arrendatários obtinham seu sustento da agricultura.

No que se refere ao mapeamento territorial, o marco inicial é a carta topográfica elaborada pela SUDENE (1974), que mostra a organização espacial ao longo do Rio Tibiri, no ano de 1970 (Apêndice F). Nesse período, o rio possuía duas nascentes ativas em meio a vegetação de cerrado e um pouco de mata no centro. Percebe-se que o ponto de afloramento das nascentes localiza-se próxima a curva de nível auxiliar (cota 65) que limita uma área plana, porém íngreme, e as águas das duas nascentes escorrem até encontrar a cota mais baixa (ponto inicial do leito do rio, com cota 60), ou seja, onde começa o vale do Rio Tibiri. Portanto, as nascentes afloram onde ocorre um desnível topográfico e formam um único rio porque a declividade converge para o vale.

Observa-se também que as nascentes possuem alguns trechos de fluxo intermitente, antes de alcançar o vale. O clima tropical favorece as precipitações e, após a chuva, o solo permanece úmido por mais tempo. Isso porque o dossel da vegetação diminui a incidência de radiação solar sob o solo e, assim, contribui para retardar o processo de evaporação da água. Contudo, após certo tempo de escoamento superficial, percolação e consumo de água pela vegetação, esses processos diminuem a quantidade de água disponível e as nascentes entram na fase de intermitência, até a próxima chuva, que no litoral paraibano nunca tarda a aparecer novamente.

Outrossim, nota-se três lagoas cíclicas e com maior extensão se comparado às cinco lagoas menores, porém perenes, sendo que esse conjunto de corpos d'água lêntico convergem para o Rio Tibiri, servindo-lhe como afluentes. A Lagoa Paturi está protegida pela Mata Atlântica, enquanto a Lagoa Tibiri está cercada por solos expostos, com ocorrência de alguns fragmentos de mata.

Em relação ao uso alternativo do solo, é perceptível as plantações de mandioca e abacaxi no alto curso do rio, enquanto os canaviais se concentram nas planícies de inundação. Uma análise minuciosa evidencia um pequeno pomar na cabeceira do rio, misturando-se junto à mata, o que demonstra intervenção antrópica no local. E é notório a substituição do Cerrado e da Mata Atlântica pelos cultivos agrícolas na transição do alto para o médio curso. A cidade de Santa Rita também se destaca, assim como a BR-230 que foi construída durante a Ditadura Civil-Militar (1964-1985), especificamente na década de 1970.

4.1.2 Imagens de satélite e pesquisa documental

A avaliação temporal do uso alternativo do solo evidencia os principais modos de aproveitamento dos recursos naturais (Apêndice E), além de mostrar a disposição espacial das forças produtivas e suas modificações. Neste sentido, avaliou-se o território onde o Rio Tibiri está inserido, mediante análise de imagens captadas pelo Landsat e pelo OrbView-3 (USGS, 2025b), no período entre 1976 a 2006 (Apêndices G, H, I e J).

Geograficamente, os achados da pesquisa são divididos conforme a margem do Rio Tibiri e seu principal afluente, quais sejam: I. região entre a BR-230 e uma das margens do rio, onde fica a Lagoa Paturi; II. a margem oposta que é local da Lagoa Tibiri. Assim, de forma didática, foi possível compreender a conexão socioambiental entre ser humano e natureza, pois se observou os seguintes aspectos:

I. Região onde fica a Lagoa Paturi:

1. O desmatamento no alto curso do rio já é evidente desde 1976.
2. Mesmo assim, a Lagoa Paturi permaneceu em seu formato original, semelhante ao registro feito pela SUDENE (1974). Em 1976, é notório que o formato circular achatado e o espelho d'água contínuo demonstram a resistência da lagoa ao desmatamento.
3. Porém, em 1985, o formato da Lagoa Paturi mudou: está fragmentada em duas partes. E há uma terceira parte mais abaixo, possivelmente devido à união de três pequenas lagoas perenes, ou o aprofundamento de algumas delas. E essa fragmentação é mais visível em 2001 (Landsat 7, sensor ETM+, *pansharpening*, resolução espacial de 15 m).

4. Assim, houve alguma intervenção antrópica, para além do desmatamento que ocorreu na década de 1970. Isto é, escavaram o solo da circunvizinhança da Lagoa Paturi.
5. E as terras desmatadas foram ocupadas por canaviais.
6. A imagem pancromática de 2006 mostra o aprofundamento das ranhuras no solo e a consequente descaracterização do território, ao ponto de modificar a estrutura do espelho d'água, quase inexistente. E a brancura do solo é indício de material que reflete intensamente a REM, a exemplo da areia que compõem o argissolo acinzentado existente na região (Apêndice C).

II. Região onde fica a Lagoa Tibiri:

1. Na imagem de 1976 não é possível visualizar a Lagoa Tibiri, e nem as pequenas lagoas perenes na circunvizinhança. Possivelmente, isso ocorreu devido a diferença de área, pois a Lagoa Tibiri (0,09 km^2) é menor que a Lagoa Paturi (0,12 km^2). Assim, dificultou o imageamento pelo Landsat 1 (resolução espacial de 60 m, sensor MSS). Entretanto, através dos índices físicos NDWI e NDVI, é possível destacar o solo úmido na área da lagoa, que está recoberto por vegetação rasteira.
2. Na imagem de 1985 (Landsat 5, resolução espacial de 30 m, sensor TM) também é perceptível as marcas de solo úmido nas áreas da Lagoa Tibiri e dos corpos d'água lênticos adjacentes.
3. Porém, em 2001, o NDWI indicou a existência de água. E tal constatação é ratificada pelas composições coloridas, porque os recursos hídricos são representados por manchas extremamente escuras. Nas composições, observa-se a tonalidade escura do Açude Reis, do fragmento da Lagoa Paturi e da área onde está a Lagoa Tibiri.
4. Além disso, quinze anos após o imageamento da SUDENE (1974), ainda existe o solo exposto no território da Lagoa Tibiri, como mostram as imagens de 1985 e de 2001. Com dois adendos: o primeiro é o formato de ranhuras superficiais, que originam dunas recobertas por vegetação secundária, popularmente conhecida como capoeira. E o segundo é que a agricultura se aproximou das encostas que formam o vale do rio (compare os Apêndices A, B, H e I). Porque os talhões no terreno demonstram o preparo do solo para cultivo.

5. No que se refere ao primeiro adendo, há indícios de erosão natural do solo arenoso. Isto é, erosão laminar ocasionada pelo escoamento de água em direção a encosta, somada às intervenções agrícolas existentes na área.
6. Em 2006, mediante imagem de alta resolução espacial captada pelo satélite Orbview-3 (banda PAN, resolução espacial de 1 m), ratificou-se a ocorrência de erosão laminar no solo exposto: há manchas de areia em direção a declividade elevada (Apêndice J).

No que se refere a atividade econômica de mineração, a CPRM realizou o cadastramento dos recursos minerais não-metálicos na Paraíba, em parceria com a empresa Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul, na segunda metade da década de 1970 (Scheidt; Munis, 1976). Mas não há registros de garimpos, jazidas ou minas de areia no entorno do Rio Tibiri, apenas lavra de argila no baixo curso. O registro mais próximo são duas minas de areia em fazendas localizadas no município de Cruz do Espírito Santo-PB.

E no levantamento realizado em 1982 não houve registro de exploração de areia em ambos os municípios (Wanderley, 1983), possivelmente devido ao exaurimento das minas localizadas nas fazendas supracitadas. Tal possibilidade é evidente nas imagens de satélite, pois não há indícios de extração de areia no alto curso do Rio Tibiri. Contudo, essa realidade mudou em 1985, conforme os argumentos apresentados anteriormente, e as modificações no solo são explícitas nas imagens de 2001 e de 2006.

Neste contexto, a CPRM realizou novo estudo na Paraíba em 2002. E constatou que no Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, atualmente é a ANM) estavam protocolados 47 registros de licenciamento para mineração de areia, sendo 15 processos oriundos de Santa Rita (Santos; Ferreira; Silva Junior, 2002). No ano seguinte, foi aberto o processo para concessão de lavra na região, sendo expedido a autorização em 2008 (ANM, 2025d), como mostra a subseção 4.2.2 deste trabalho.

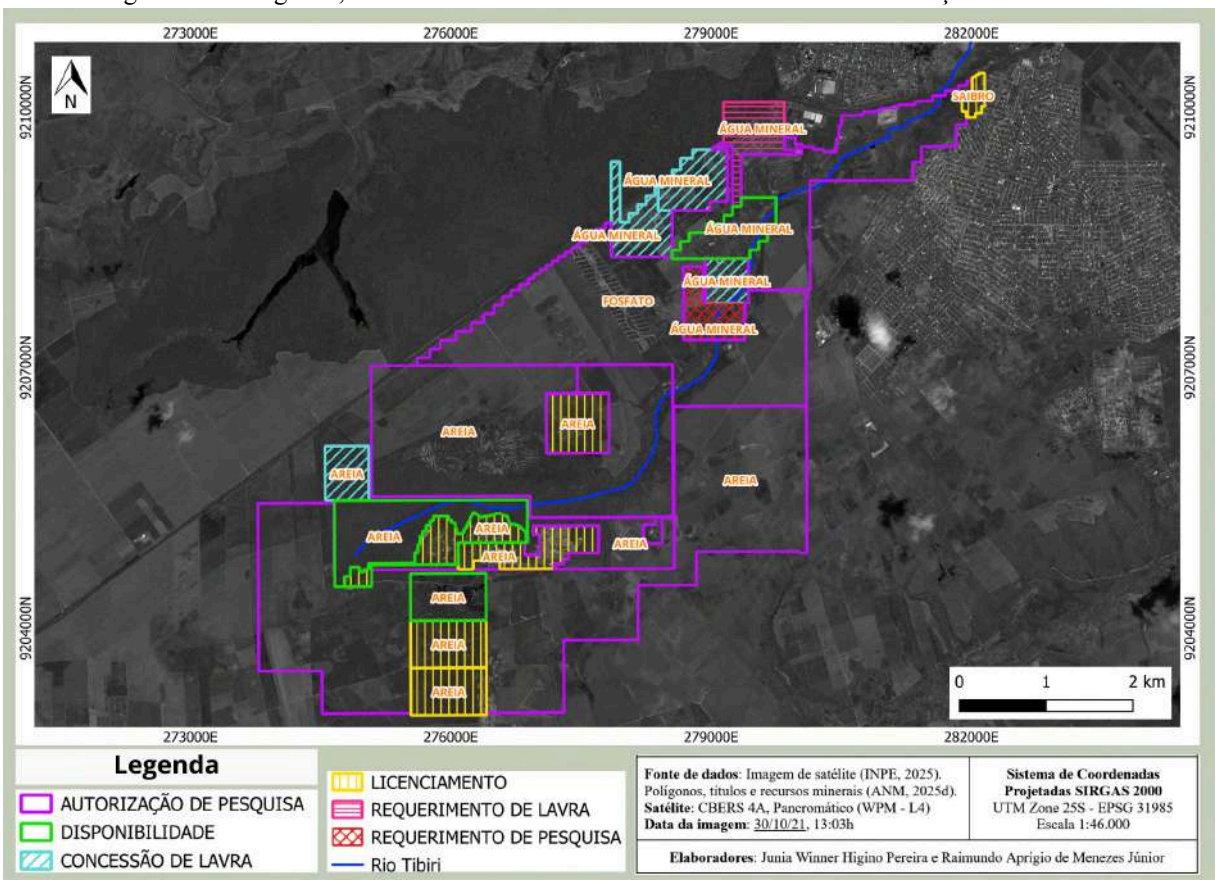
Justifica-se que esse resgate histórico e análise territorial são importantes porque há remanescentes da Mata Atlântica no entorno do Rio Tibiri, principalmente no alto curso, conforme o estudo realizado pela PMSR (2023). E as imagens de satélite mostram que alterações no solo, na vegetação e nos afluentes do rio foram anteriores ao título minerário aprovado em 2008. Nas subseções seguintes, esses fatos são detalhados, especialmente no contexto da APA do Rio Tibiri.

4.2 MINERAÇÃO

4.2.1 Imagens de satélite e pesquisa de campo

A figura abaixo mapeia todos os regimes minerários no entorno da APA do Rio Tibiri. E é perceptível a dominância de títulos para pesquisa e extração de areia no alto curso, ao passo que há diversificação de recursos minerais no médio curso. Utilizou-se a imagem pancromática do CBERS 4A devido a alta resolução espacial (2 m), possibilitando a observação das características socioambientais da região, além da zona urbana na transição do médio para o baixo curso.

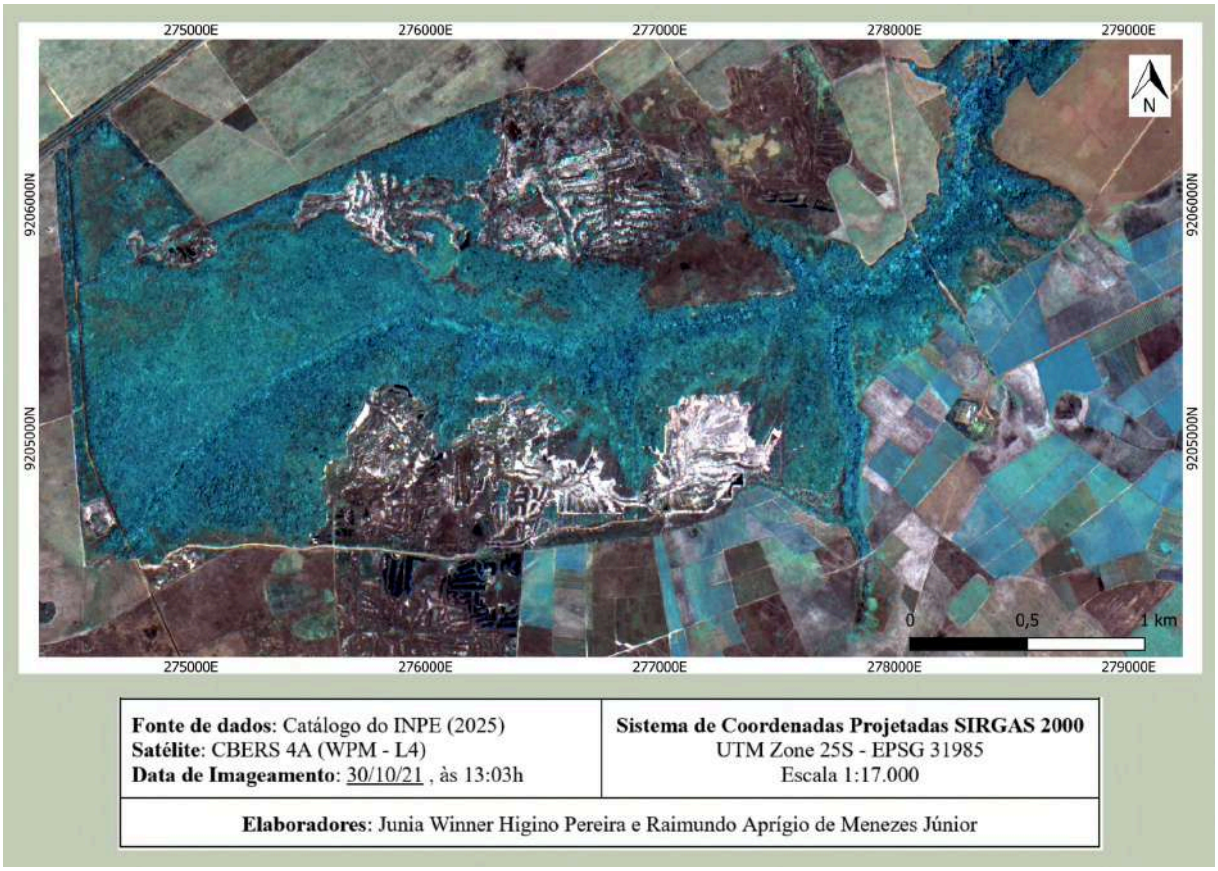
Figura 15 – Polígonos, títulos e recursos minerais existentes na circunvizinhança do Rio Tibiri



O relevo tabular ao redor do corpo hídrico tem uma extensão muito ampla. De fato, o vale do Rio Tibiri é um dos cortes topográficos que formam a rede fluvial existente no Tabuleiro Costeiro, ao passo que na várzea o território é relativamente plano (Apêndices A e

B). Da nascente até o médio curso do rio, o relevo suave ondulado forma fragmentos de ampla extensão, e cada fragmento do território apresenta cotas que diminuem paulatinamente. Alguns exemplos são as áreas de mineração de areia no entorno do alto curso do rio (Figura 16), onde as características facilitam a movimentação dos maquinários para extrair o recurso mineral existente na região. As pás carregadeiras conseguem raspar os areais encontrados nas camadas superficiais dos solos que foram decapeados, sem a necessidade de desvencilhar de obstáculos, como estruturas rochosas e declives íngremes.

Figura 16 – Áreas de mineração de areia na circunvizinhança do Rio Tibiri, Santa Rita-PB



As características geofísicas da região são adequadas ao tipo de lavra a céu aberto e que avança sob a superfície para extrair a camada arenosa do solo. A predominância de declividade inferior a 3% na superfície do tabuleiro explica a trajetória aplainada que facilita a lavra e o transporte do minério não metálico pelos caminhões basculantes, com destino às obras de construção civil, principais consumidores.

Além disso, ao comparar a Figura 17 com o mapa de declividade (Apêndice B), constata-se que o relevo se torna bastante acidentado em direção às encostas do vale do Rio

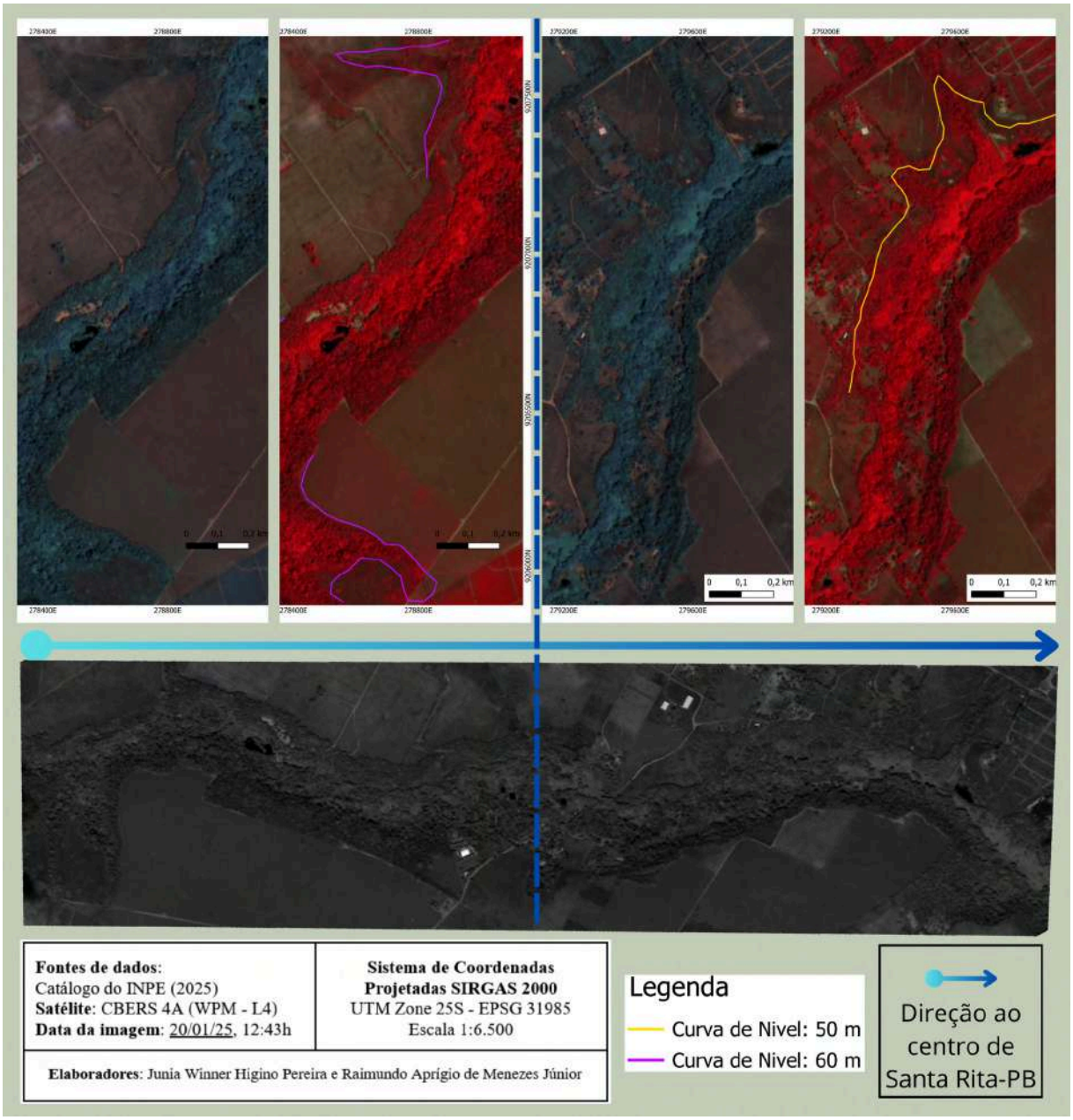
Tibiri. E é no sentido da declividade mais elevada que escorre quantidade significativa de água, como mostram as listas escuras nos solos, semelhantes a ramificações. Formam-se poças d'água ao final dos ramos, assim como os períodos chuvosos aumentam o escoamento superficial.

Figura 17 – Lagoas naturais versus acúmulo de água em solos modificados pela mineração de areia

As imagens do CBERS 4A mostram que há cortes naturais no relevo tabular, que se conectam perpendicularmente ao vale, similares a “braços” para os quais converge o escoamento de água e direciona-o para dentro do rio. Esses cortes topográficos aparentam ser profundos, estão recobertos pela vegetação e alguns possuem lagoas nas pontas. Trata-se das lagoas Tibiri, Paturi e algumas sem nomenclatura específica. Esses corpos d'água lênticos são formados naturalmente, devido a alta pluviosidade na região da sub-bacia. Prosseguindo a

jusante, evidencia-se mais cortes topográficos no médio curso. Também se observa solos expostos e algumas feições de propriedades rurais (Figura 18).

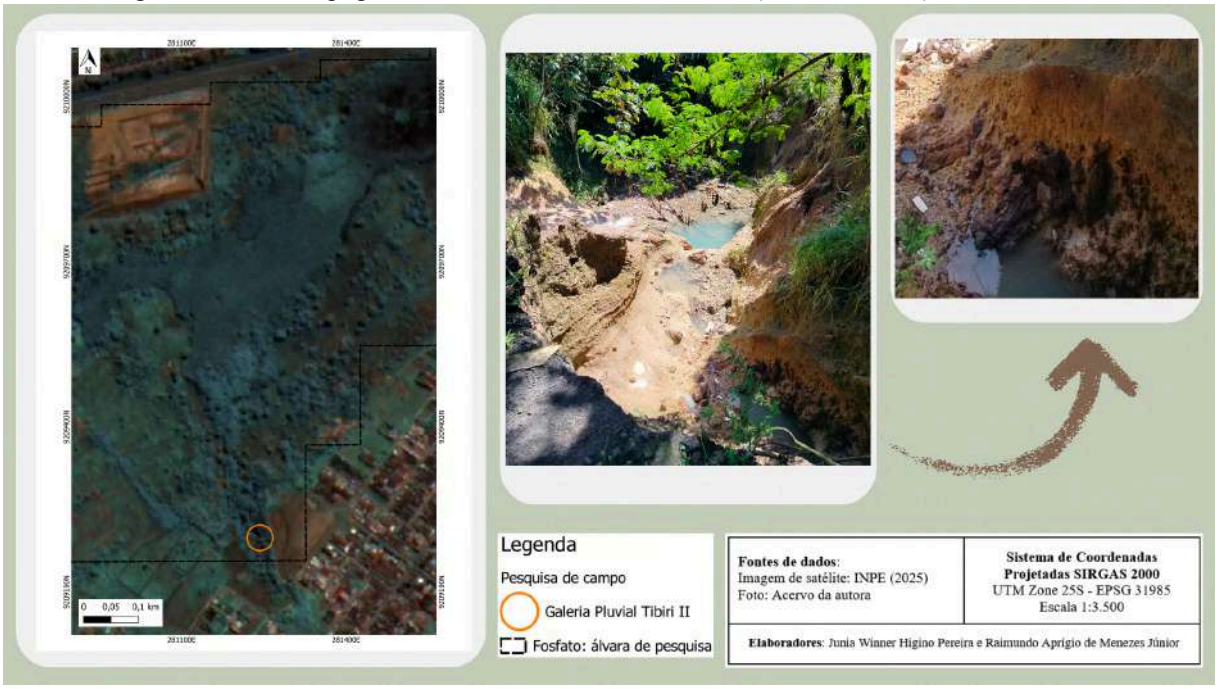
Figura 18 – Vegetação e cortes topográficos no médio curso do Rio Tibiri, Santa Rita-PB



Outros cortes no relevo cumprem a função ambiental de confluência das águas pluviais, mas não formam lagoas, como no ponto da pesquisa de campo localizado no médio curso e que integra a Galeria Pluvial de Tibiri II (Figura 19). Consequentemente, aumenta-se o volume de água que chega à sub-bacia para manter sua perenidade, pois formam a rede de

drenagem do rio. Na fotografia é possível observar as feições da encosta: a cobertura do solo é escura, mas a litologia tem tonalidade dourada a marrom claro, e no sopé da encosta há fragmentos de rochas com tons avermelhados, semelhante a “pilares”.

Figura 19 – Corte topográfico no médio curso do Rio Tibiri (Galeria Pluvial), Santa Rita-PB

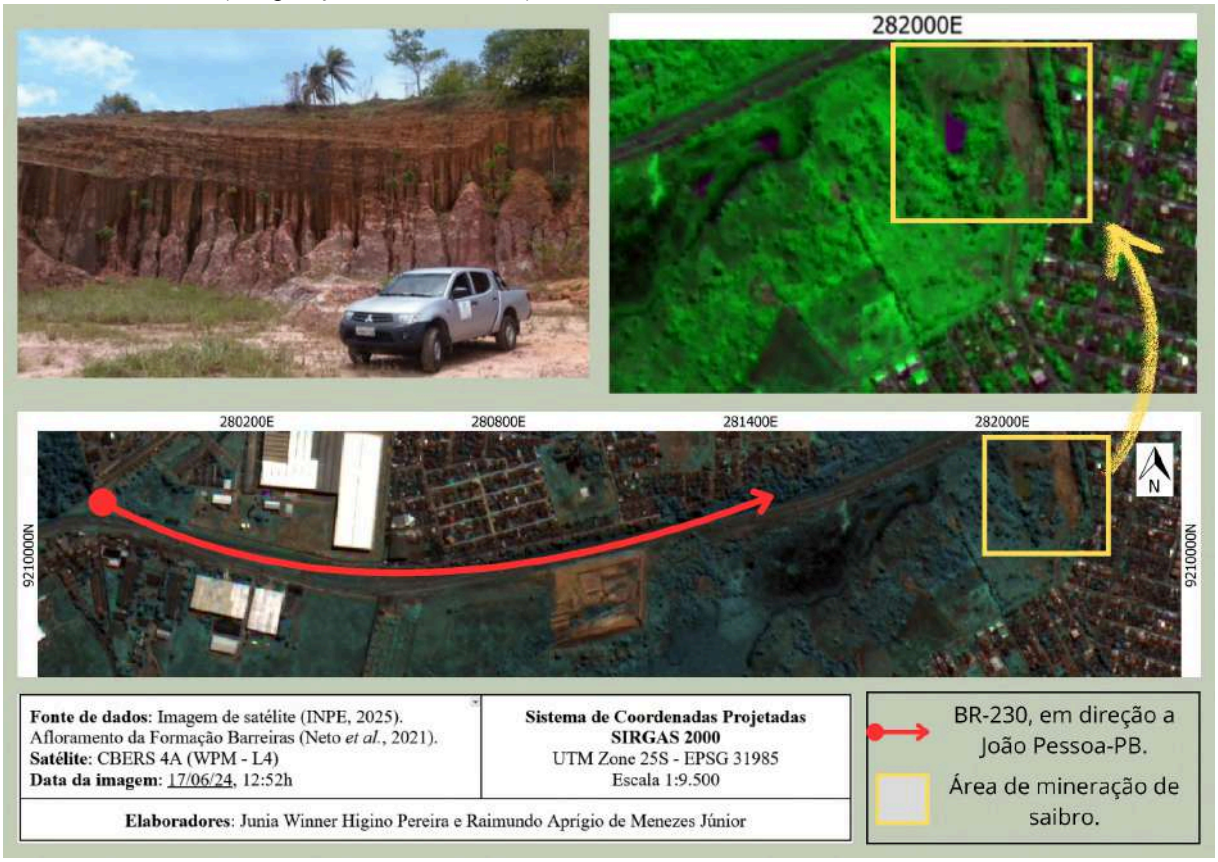


Enquanto no alto curso é evidente as atividades da extração de areia, no médio curso a mineração está direcionada a substâncias subterrâneas (fosfato e água mineral), por isso que as imagens do CBERS 4A não mostram modificações na zona central da APA do Rio Tibiri. Apesar de não aflorar na superfície, o ponto da pesquisa de campo está localizado no polígono que limita o título minerário para prospecção do fosfato (Alvará de Pesquisa). Devido ao corte natural no relevo, é possível observar as feições rochosas, a qual o titular almeja extrair o fosfato para produção de fertilizantes (ANM, 2025d).

Também existe uma mina de saibro na zona final da UC, onde há afloramento da Formação Barreiras. Assim, é possível notar modificações nas feições terrestres e mudanças nas tonalidades da água, mediante imagens de satélite (Figura 20**)**. O fluxo d'água é barrado quando chega próximo a BR-230, havendo uma galeria por onde a água escorre por debaixo da encosta, subjacente à rodovia. Assim, acumula-se sedimentos carreados pelo Rio Tibiri, somado a matéria orgânica de macrófitas que cobrem o espelho d'água. Ao avaliar a

composição colorida 342, é possível perceber a tonalidade violeta da água, pois os sedimentos em suspensão refletem a REM e diminuem a absorção pela água.

Figura 20 – Local da mina de saibro (composição das bandas 321) e água com sedimentos em suspensão (composição das bandas 342), médio curso do Rio Tibiri, Santa Rita-PB



Em destaque nas imagens acima está uma lagoa, dentro do polígono de mineração de saibro. No mês de junho, período do imageamento, a pluviosidade no litoral é maior. E o escoamento superficial da água pelo afloramento da Formação Barreiras, cuja encosta está exposta, carrega sedimentos para o sopé, onde se localiza a lagoa. Deste modo, nota-se três tonalidades na imagem em destaque (composição colorida 342): água em cor violeta, encosta em cor cinza-amarronzado e vegetação na cor verde. Também é possível comparar a aparência da zona urbana e da água com impurezas: ambas possuem a mesma faixa de cor violeta, devido a alta reflectância da luz. Porém, áreas impermeabilizadas (como as cidades) apresentam textura rugosa e são organizadas em quadras, ruas, avenidas e loteamentos.

Em suma, do total de treze processos analisados sobre mineração de areia no alto curso, apenas cinco títulos minerários permanecem ativos: a Concessão de Lavra, um

Licenciamento, duas Disponibilidades e há um Alvará de Pesquisa. E em relação ao médio curso, há sete regimes minerários concedidos ao longo da APA do Rio Tibiri (saibro, fosfato e água mineral), que passam pelo centro dos polígonos que delimitam as zonas de mineração (Figura 21).

Figura 21 – Pictográfico: regimes minerários, prazo de vigência e tipo de substância

Fonte: Elaborado pela autora com base em ANM (2025c, d).

No médio curso, destaca-se três Concessões de Lavra para atuar com engarrafamento de água mineral, além de um Requerimento de Lavra[7], um Alvará de Pesquisa e uma área em Disponibilidade. Salienta-se que a Agência Nacional das Águas (ANA) integra a rede governamental que regula a extração e comercialização de água mineral. Outrossim, o Alvará de Pesquisa outorgado para substância fosfato (aplicação para fertilizantes) também inclui a água mineral. Mas o proponente ainda não cadastrou o relatório final de pesquisa e o título já venceu desde o ano de 2019. Por fim, o único Licenciamento é para lavra de saibro, com aplicação na construção civil e a mineradora possui licença ambiental (ANM, 2025c, d).

A seguir, realizou-se a integração de dados fornecidos pela INPE (2025) e pela ANM (2025c, d, e), com a finalidade de evidenciar maiores detalhes sobre as atividades de

[7] O Requerimento de Lavra não foi concedido, por isso não foi considerado no gráfico.

mineração de areia, em período anterior e pós-criação da APA do Rio Tibiri. Isso porque o uso alternativo do solo ocorre na região onde existem lagoas naturais, mata ripária e cortes topográficos laterais ao curso d'água.

4.2.2 Integração de dados

Os registros governamentais sobre mineração de areia, no alto curso do Rio Tibiri, remontam ao ano de 2008, quando foi outorgada a primeira Concessão de Lavra, protocolada em 2003 (ANM, 2025c). Ao consultar o Cadastro Mineiro, constatou-se que esse título minerário permanece ativo desde a outorga e, em 2025, foi cadastrado o Relatório Anual de Lavra. Trata-se de um documento obrigatório para mineradoras (sujeito a multas), em que se descreve procedimentos técnicos de lavra, mão-de-obra, produção e comercialização exercida no ano anterior (ANM, 2025d).

Essa constatação é importante porque, conforme os dados do SICAR (MMA, 2025b), a área possui remanescentes de vegetação nativa, ratificado pelas imagens do CBERS 4A: a copa da vegetação é heterogênea e densa, compatível com as características de mata. E, conforme consta no Cadastro Mineiro, a mineradora possuí licença ambiental (ANM, 2025d).

Em relação aos seis títulos de Licenciamento, o levantamento na base de dados da ANM (2025c, d, e) resultou nos seguintes achados de pesquisa:

1. Todos os títulos foram expedidos para a mesma pessoa jurídica, que é uma empresa especializada no setor e seus principais colaboradores possuem formação acadêmica em Engenharia de Minas.
2. Para avaliar a composição química do mineral e o potencial econômico da jazida, a empresa obteve o título minerário que permitiu a realização de pesquisas na área (Alvará de Pesquisa), outorgado pela ANM.
3. E para realizar a lavra da areia, a mineradora possuía a licença para instalar maquinários expedido pela SUDEMA e a licença ambiental expedida pela SEMMA. Além de obter o título minerário Licenciamento, outorgado pelo Poder Público Municipal e que foi cadastrado no sistema da ANM. Logo, os órgãos competentes (federal, estadual e municipal) autorizaram a realização da atividade econômica e a empresa atuava de forma regular.

4. Utilizava-se maquinários para execução da atividade, evitando o trabalho manual e exaustivo.
5. A empresa firmou acordos com proprietários rurais, com o objetivo de obter autorização para lavrar as minas de areia existentes nessas propriedades.
6. Por fim, a mineradora pagou taxas e tributos, conforme consta nas confirmações de pagamento do Cadastro Mineiro, descritas nas fases processuais de obrigações financeiras. Um exemplo foi o pagamento da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM).

A sobreposição entre os *shapefiles* do SIGMINE, do SICAR e a imagem do CBERS 4A (Apêndice K) mostra que quatro Licenciamentos minerários ocorreram em áreas de cultivos agrícolas, ao passo que os outros dois títulos coincidem com a área de vegetação. E essa última constatação também se aplica à Concessão de Lavra. Diante disso, levantou-se dados sobre a disposição espacial (área e localização) e as características dos regimes minerários concedidos à mineradora de areia.

Apesar dos polígonos limitarem a área do regime minerário, isso não significa que toda a extensão do território poderá ser lavrada. O polígono que limita a Concessão de Lavra (Processo nº 846.070/2003) é um exemplo: nota-se que no local existe vegetação densa e não houve interferência na mata protegida pela Reserva Legal, conforme mostram as imagens de satélite. Essa constatação é estendida para o polígono do Registro de Licença nº 258/2010 (Processo n° 846.190/2009), onde foi removido o canavial e se lavrou apenas a areia existente nessa área.

Em relação ao Processo nº 846.191/2009, foi concedido o Alvará de Pesquisa nº 6866/2016 e o resultado da prospecção de areia foi negativa. As imagens de satélite, captadas no ano de 2006 (Apêndice J), mostram que o local se encontra modificado antes da autorização de pesquisa emitida em 2016 (Quadro 11). Os solos no entorno da Lagoa Paturi foram escavados e a mata ripária era escassa, contrastando com a realidade levantada por entes governamentais em anos anteriores, como a SUDENE (1974). Possivelmente essa realidade influenciou o resultado negativo da prospecção. E, desde 2002, existiam 15 processos com pedidos de licenciamento para lavrar areia na cidade de Santa Rita, como foi exposto na subseção 4.1.1.

Quadro 11 – Mineração de areia no alto curso do Rio Tibiri, Santa Rita-PB

PROCESSO	ÁREA (ha)	TÍTULO MINERÁRIO	REGISTRO DA AUTORIZAÇÃO	DATAS	
				Outorga	Vencimento
846.070/2003	31,39	Concessão de Lavra	Portaria de Lavra nº 409/2008	02/01/2008	Válido
846.190/2009	49,58	Licenciamento	Registro de Licença nº 258/2010	07/07/2010	28/05/2019
846.191/2009	515,37	Autorização de Pesquisa	Alvará de Pesquisa nº 6866/2016	04/07/2016	04/07/2018
846.043/2009	155	Autorização de Pesquisa	Alvará de Pesquisa nº 6865/2016	04/07/2016	04/07/2018
846.082/2016	48,88	Requerimento de mudança de regime: Licenciamento	Registro de Licença nº 442/2017	04/05/2017	01/04/2026
300.422/2016	106,12	Disponibilidade	Aprovado	31/10/2016	—
846.284/2011	808,51	Autorização de Pesquisa	Alvará de Pesquisa nº 6867/2016	04/07/2016	04/07/2018
846.300/2011	47,27	Licenciamento	Registro de Licença n°304/2012	08/03/2012	02/01/2023 (prorrogado)
846.301/2011	47,09	Licenciamento	Registro de Licença n°305/2012	08/03/2012	02/01/2023 (prorrogado)
846.302/2011	47,51	Licenciamento	Registro de Licença n°306/2012	08/03/2012	02/01/2023 (prorrogado)
846.096/2018	49,79	Licenciamento	Registro de Licença n°509/2019	07/11/2019	05/07/2022 (prorrogado)

Fonte: Elaborado pela autora.

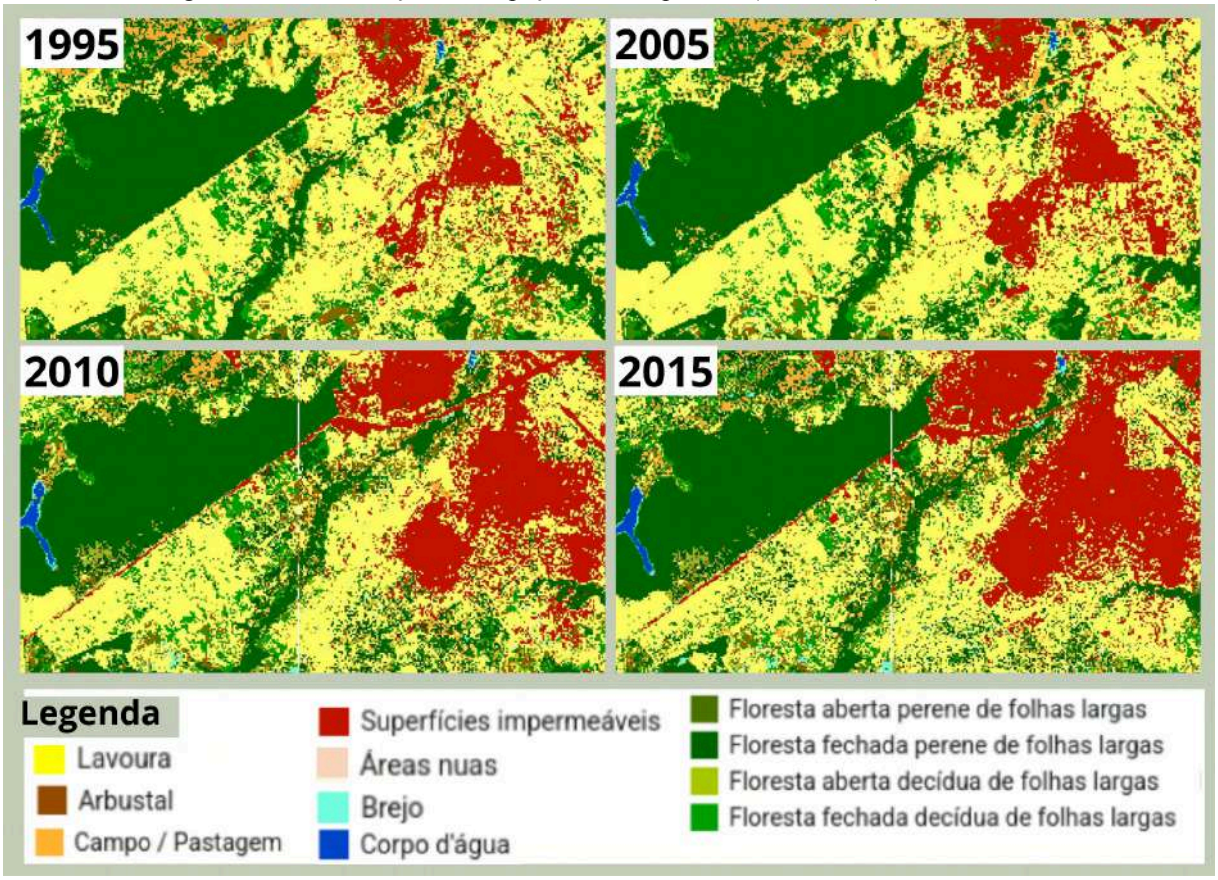
Por fim, é necessário esclarecer que alguns Licenciamentos foram prorrogados devido a Pandemia de COVID-19, com exceção do Registro de Licença n°509/2019, que foi prorrogado a pedido da mineradora. E a área desse regime minerário deve ser inferior a 0,50 km^2, por isso existem vários polígonos vizinhos.

4.3 AGRICULTURA: CANA-DE-AÇÚCAR E ABACAXI

4.3.1 Imagens de satélite e pesquisa de campo

A divisão territorial entre zonas rural e urbana evidencia a fronteira entre uso do solo para cultivo agrícola e a impermeabilização da superfície (Apêndice E). No caso em tela, com intervalo de cinco e cinco anos (1995 a 2015), observa-se que o núcleo urbano que existia no baixo curso do Rio Tibiri se expandiu em direção ao sul do município, como demonstra o aumento da área de solo impermeabilizado (Figura 22).

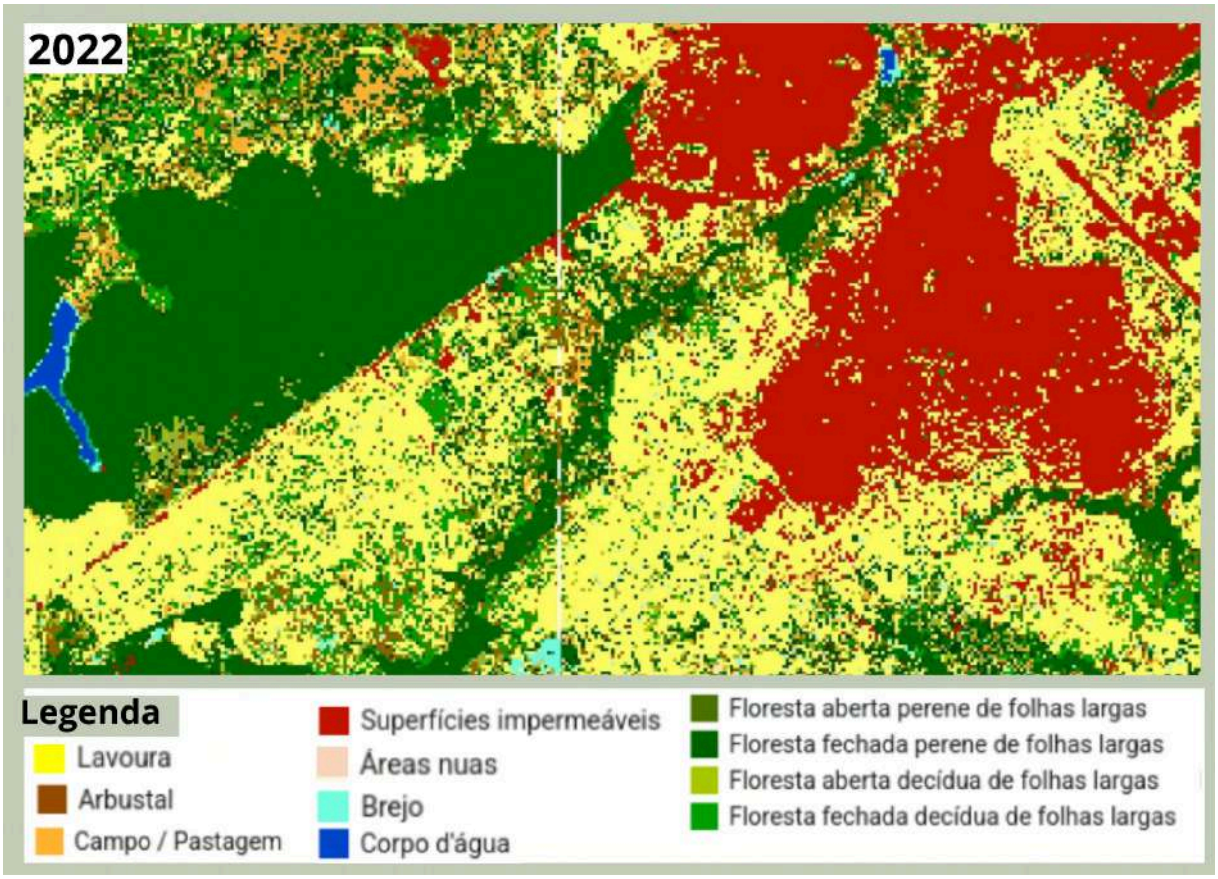
Figura 22 – Classificação da ocupação do solo por ano (1995-2015), Santa Rita-PB



Mesmo assim, a área urbana não se aproximou das encostas do médio curso do rio, porque se expandiu paralelamente ao corpo hídrico, e essa tendência permanece no ano de 2022 (Figura 23). Esses dados obtidos por imagens de satélite, que foram classificadas de acordo com a cobertura do solo, mostram que há lavouras próximas ao manancial, ocupando o território propício ao desenvolvimento agrícola, devido à presença de água. Trata-se das monoculturas de abacaxi e cana-de-açúcar, que são produções agrícolas com firmes alicerces socioeconômicos no município de Santa Rita-PB, por causa das condições geofísicas da terra,

aliada ao fundamento histórico da produção de recursos primários baseados na monocultura e latifúndios.

Figura 23 – Classificação da ocupação do solo no ano de 2022, Santa Rita-PB



Diante disso, o setor agrícola está consolidado no entorno do Rio Tibiri e a zona urbana ocupa o território vizinho às lavouras. E ainda chama atenção as áreas dentro das propriedades rurais que estão ocupadas por floresta e vegetação secundária, representadas nas imagens como pontuações de tonalidade esverdeada, algumas com extensão mais ampla. Essas áreas correspondem às Reservas Legais, que protegem a biodiversidade existente em propriedades rurais. Logo, esses dados ratificam a relevância dos instrumentos de tutela ambiental, pois mesmo antes da criação da APA do Rio Tibiri, as Reservas Legais já protegiam os remanescentes de vegetação nativa, assim como a APP contribuiu para conservar a mata ripária.

As imagens do CBERS 4A mostram que alguns solos modificados pela mineração ocorrem em áreas de cultivo de cana-de-açúcar e de abacaxi. E tanto a organização espacial

quanto às cores de cada espécie influenciam o modo como são representados nas imagens (Figura 24). Na composição colorida, os canaviais aparecem com tonalidades esverdeadas, a textura da copa é lisa e com formato uniforme, separados por segmentos de solos expostos (carreadores) na tonalidade marrom escuro.

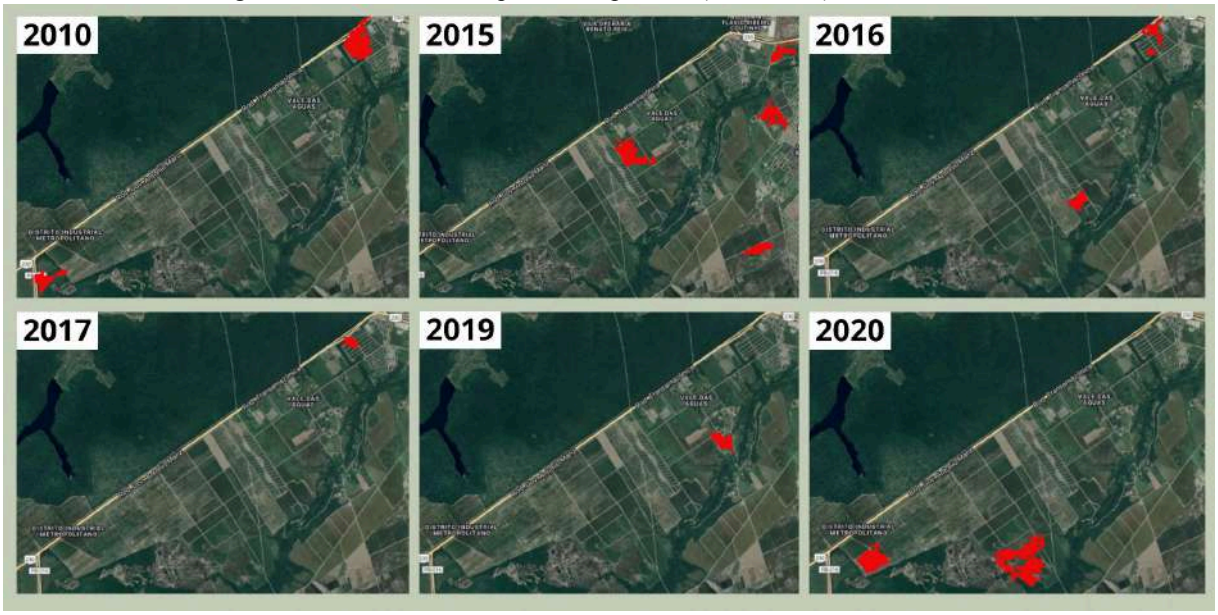
Figura 24 – Canaviais e abacaxizeiros no alto curso do Rio Tibiri, Santa Rita-PB

Já os abacaxizeiros apresentam tonalidades fortes de verde-azulado, em decorrência da pigmentação verde escuro da folha e da cerosidade que aumenta a reflexão da luz, assim como a textura da copa é salpicada, devido a disposição das folhas no formato de roseta. Se o cultivo é recente, então é possível notar os solos expostos dos corredores que separam as linhas de cultivo. Caso contrário, a área de plantio parece um “tapete” que recobre o solo.

Também se nota a estratégia de alternar os terrenos para cultivo em diferentes fases: enquanto um talhão está ocupado com plantas viçosas, o outro foi cultivado recentemente e, assim, garantirá o funcionamento da produção agrícola após a colheita da área vizinha.

Em ambas monoculturas, a composição de falsa cor com infravermelho mostram a alta densidade de plantas que cobrem o solo devido ao adensamento das linhas cultivadas, que tanto amplia a colheita por hectare, quanto favorece a proliferação de doenças e de queimadas (Figura 25).

Figura 25 – Incidência de queimadas por ano (2010-2020), Santa Rita-PB



Por fim, sobressai os plantios no entorno da lagoa natural, servindo como fonte de água para irrigação dos cultivos e, portanto, cumprem a função ambiental referente ao bem-estar humano, uma das atribuições legais de APPs. Apesar da maioria serem lagoas efêmeras, ainda assim contribuem para a agricultura local, como mostra o cultivo verdejante, um indício de plantio saudável.

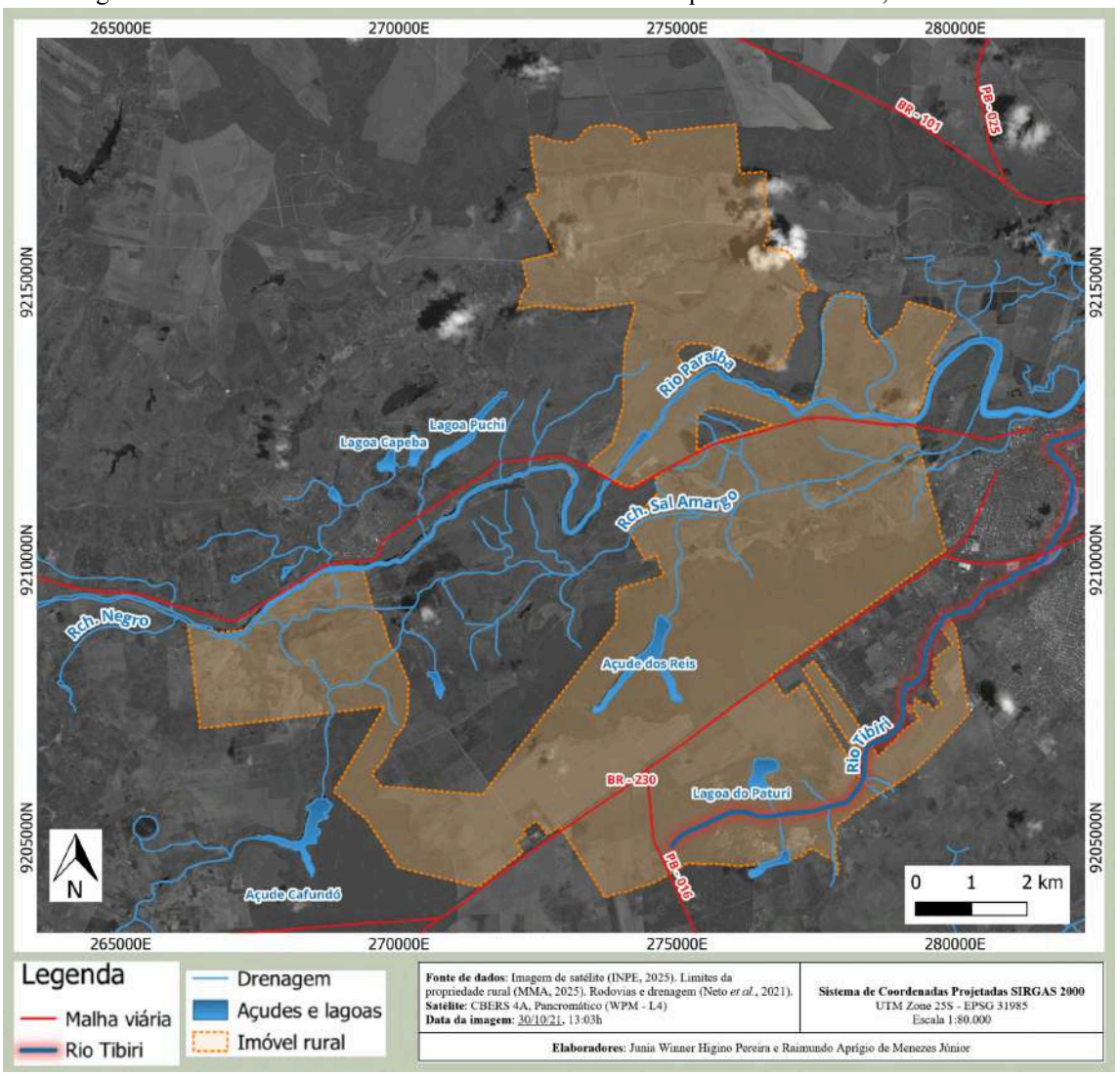
4.3.2 Integração de dados

Ao sobrepor os limites da unidade de conservação com os dados cadastrados no SICAR (MMA, 2025b), constatou-se que a APA municipal é cercada por propriedades rurais. Além disso, os polígonos que delimitam os títulos minerários também se fazem presentes na região. Isso demonstra que a propriedade privada e o uso alternativo do solo compõem, majoritariamente, o território da APA do Rio Tibiri, pois apenas as APPs integram o território

público, tendo em vista que a conservação das Reservas Legais são de responsabilidade privada.

Neste sentido, o SIGEF mostrou que as propriedades rurais citadas neste trabalho possuem certificação e estão regularizadas (INCRA, 2025). Além disso, obteve-se informações sobre a extensão territorial e os componentes abióticos tutelados legalmente. Ratificou-se, então, que a Reserva Legal e as APPs que protegem a nascente e a mata localizadas no alto curso do rio fazem parte de um grande latifúndio (Figura 26). E essas zonas ambientais, por sua vez, integram a APA municipal.

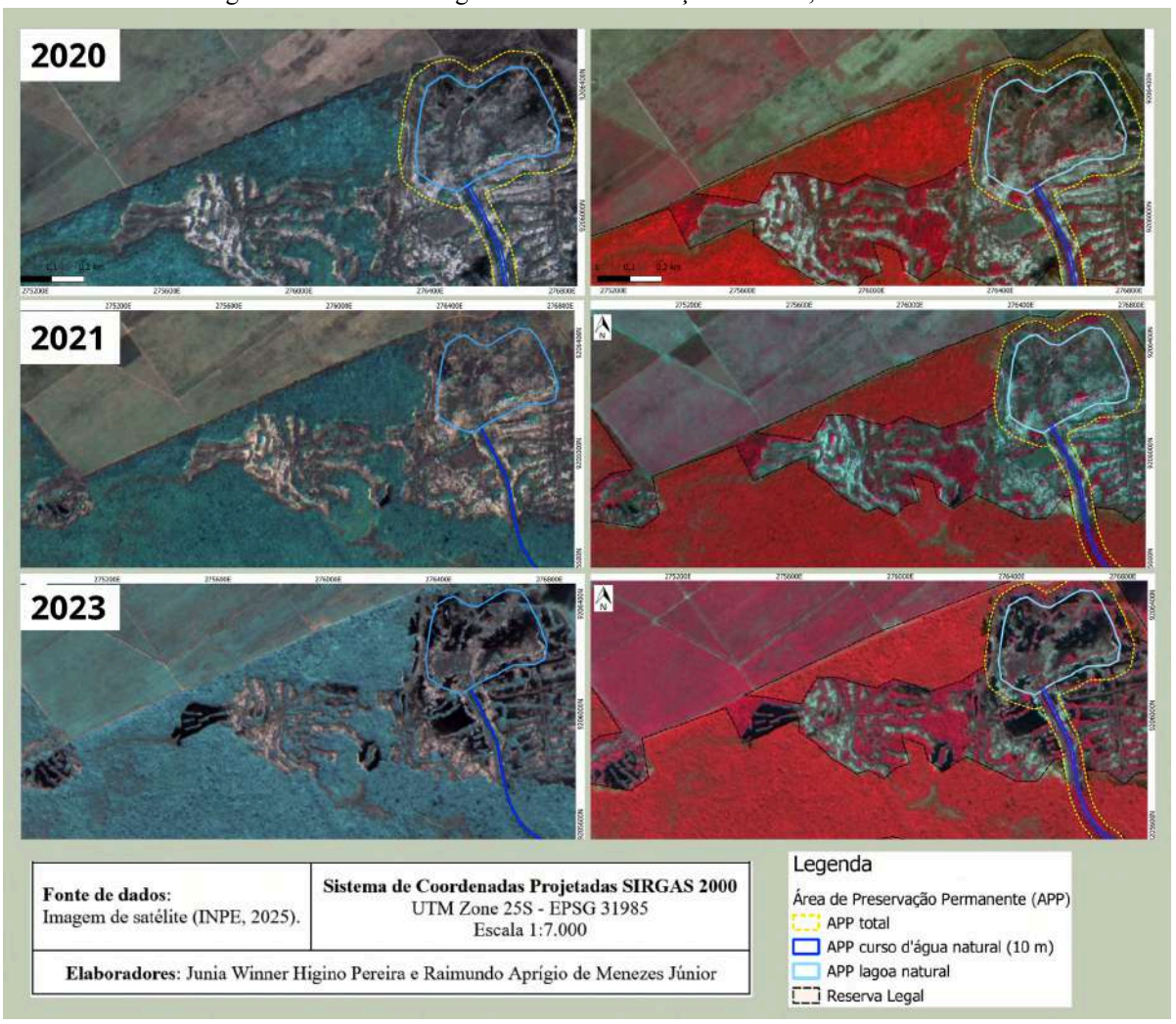
Figura 26 – Alto e médio curso do Rio Tibiri dentro da Propriedade rural nº 5, Santa Rita-PB



Atualmente, a Lagoa Paturi integra a APA municipal e é um dos recursos hídricos existentes no território do latifúndio supracitado, conforme mostram as imagens

multitemporais do CBERS 4A (Figura 27). Na região, os solos arenosos (Apêndice C) conseguem absorver bastante água, em decorrência aos poros maiores se comparado ao silte e à argila. Por isso que apresentam tons escuros nos locais úmidos. Já os solos arenosos e secos, que estão situados em locais com maior hipsometria (Apêndice A), aparecem em tons claros devido a reflexão da luz visível e do infravermelho próximo.

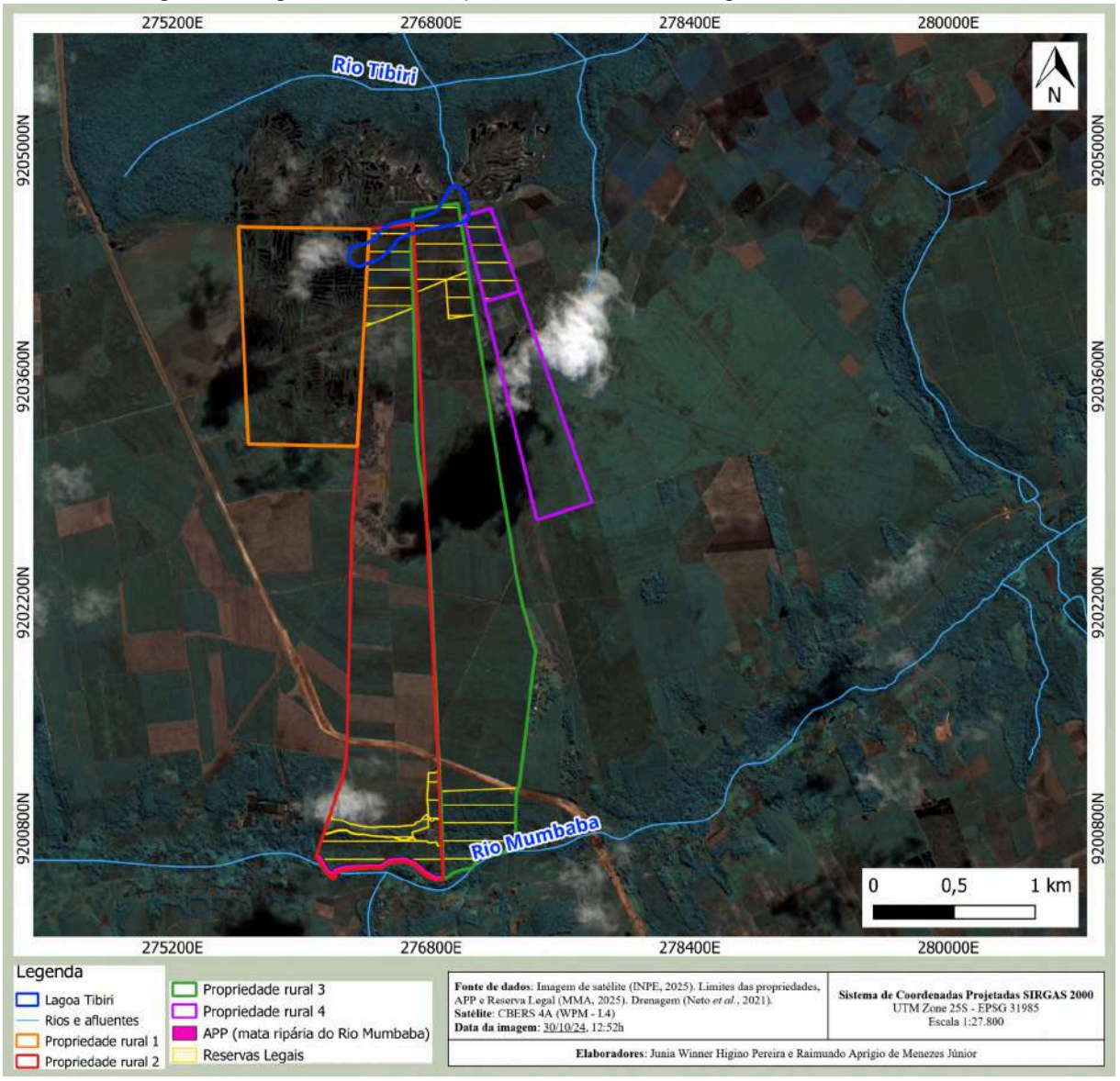
Figura 27 – Local da Lagoa Paturi e modificações no solo, Santa Rita-PB



Tal fato é evidente ao comparar as condições climáticas nas datas de captura das imagens, referente aos anos de 2020, 2021 e 2023. Quando choveu um dia antes e no momento do imageamento (ano de 2023), então há registros de grandes poças d'água onde o solo foi modificado, acumulando-se nas depressões. E é notório as ranhuras na superfície arenosa, assim como a diminuição da cobertura vegetal.

Também se recorreu aos dados do SICAR (MMA, 2025b) para obter informações sobre a Lagoa Tibiri porque, semelhante à lagoa anterior, a maior parte do recurso hídrico está localizado em quatro propriedades rurais e uma porção está dentro dos limites da APA (Figura 28).

Figura 28 – Agricultura e mineração de areia no local da Lagoa Tibiri, Santa Rita-PB



Nota-se que a maior parte do território está ocupado pela agricultura (Propriedades rurais n° 2, 3 e 4), enquanto que a ponta da lagoa coincide com área de mineração de areia (Propriedade rural n° 1). A imagem mostra que foram abertos depressões na área de mineração (onde se acumula água), ao passo que os terrenos ao lado permanecem planos e

cultivados. De fato, por ser uma lagoa cíclica, o corpo d'água é mais suscetível às intervenções antrópicas, que ocorrem há muito tempo. E nem mesmo as lagoas perenes, que cercavam a Lagoa Tibiri, resistiram às modificações ocasionadas pelo uso alternativo do solo.

5 DISCUSSÕES

5.1 PROTEÇÃO AMBIENTAL NO RIO TIBIRI: MARCAS DO PASSADO QUE AINDA ESTÃO PRESENTE

5.1.1 Recursos hídricos

A carta topográfica da SUDENE (1974) é um dos poucos registros que detalha as configurações do Rio Tibiri, especialmente no alto curso, onde ficavam as nascentes e seus principais afluentes. O verbo está no passado, “ficavam”, porque muitas situações ao longo do tempo modificaram a sub-bacia hídrica. Em relação a cabeceira do rio, até meados de 1950, existiam sete nascentes que confluiam para o vale central e, vinte anos depois, quatro delas foram obstruídas pelas construções de rodovias federal BR-230 e estadual PB-016 (Santana, 2006).

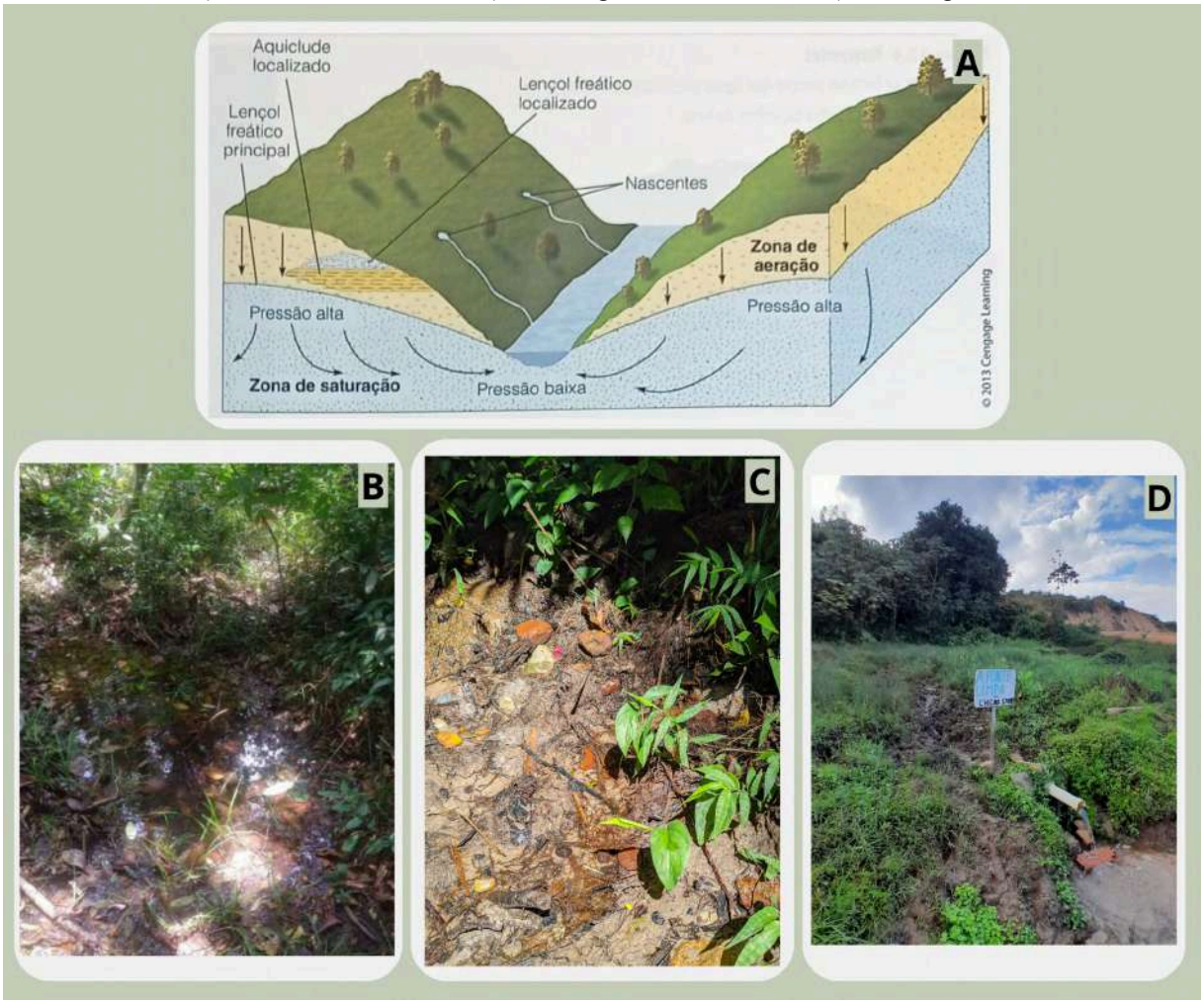
Por isso que há poucas nascentes no levantamento feito pela SUDENE (1974). Atualmente, uma nascente ressurge de forma natural e “está inserida em uma porção de mata fechada com vegetação densa e solo arenoso, apresentando pontos de encharcamento e umidade com grande quantidade de serrapilheira” (Pereira, 2023, p. 59).

Na verdade, há o encadeamento de processos geofísicos que originam nascentes e olhos d'água, a começar pela chuva, seguida pelo movimento descendente da água no solo (percolação) e “a taxa desse movimento está diretamente relacionada à condutividade hidráulica do solo” (Brady; Weil, 2013).

E quando encontra uma descontinuidade pedológica e/ou litológica (isto é, camadas impermeáveis como: fragipã; solos rasos com apenas horizonte A; rochas areníticas mal selecionadas e enrijecidas por cimento), então a água subterrânea passa “a escorrer lateralmente dentro do solo, em subsuperfície” (Guerra, 2011, p. 243). Esse movimento lateral é favorecido em terreno inclinado, cujos desníveis podem formar interceptações em algumas

áreas do terreno (por exemplo, as encostas), pelo qual a água jorra e gera os fluxos d'água supracitados (Wicander; Monroe, 2017), como mostra a Figura 29:

Figura 29 – Nascente e olhos d'água no Rio Tibiri: A) Processos geofísicos que originam afloramentos de água subterrânea; B) Nascente no alto curso; C) Olho d'água no médio curso; D) Olho d'água no baixo curso



Fonte: Ilustração A obtida em Wicander e Monroe (2017, p. 267); fotografia B obtida em Pereira (2023, p. 60); e fotografias C e D integram o acervo da autora.

A realidade também mudou nos casos das lagoas Paturi e Tibiri. Em 2011, um levantamento florístico em remanescentes de Mata Atlântica constatou a presença da espécie *Comolia ovalifolia* nas proximidades da Lagoa Paturi: "a espécie foi encontrada em áreas de tabuleiro com solo úmido e bastante arenoso. (...) Este é o primeiro registro da espécie para a Paraíba" (Araújo, 2013, p. 34-35). Tal fato demonstra a resiliência da vegetação e do corpo d'água contra o desmatamento e a mineração de areia (Figura 30).

E na base de dados do SICAR há registro sobre a lagoa Paturi no ano de 2023, pois as regiões da nascente do rio e da lagoa são APPs e computam na Reserva Legal de um imóvel rural (MMA, 2025). Já o território onde fica a lagoa Tibiri é utilizado para cultivos agrícolas, conforme mostrou as imagens de satélite, e não se obteve mais informações sobre esse recurso hídrico, nem sequer em publicações da PMSR.

Figura 30 – Lagoa Paturi após décadas de intervenções antrópicas e exemplo de flora local

Fonte: Araújo (2013, p. 92, 95).

Outrossim, a carta da SUDENE (1974) as classifica como lagoas cíclicas. Na literatura especializada, isso significa lagoa efêmera, que existe nos períodos chuvosos e, quando ocorrem em solos arenosos (poros grandes), a evaporação da água é retardada pela proteção vegetal, que também usufruir da proximidade com a lagoa para obter a água necessária ao funcionamento do seu metabolismo (Whitford; Duval, 2019). Diante da efemeridade que depende das condições climáticas, da flora e das mudanças na estrutura do território, tais lagoas podem variar no formato e na disponibilidade hídrica, "transformando-se em pastos por ocasião da seca. A tendência natural dessas lagoas é o seu enchimento, isto é, sua colmatagem" (Guerra, 2011, p. 373).

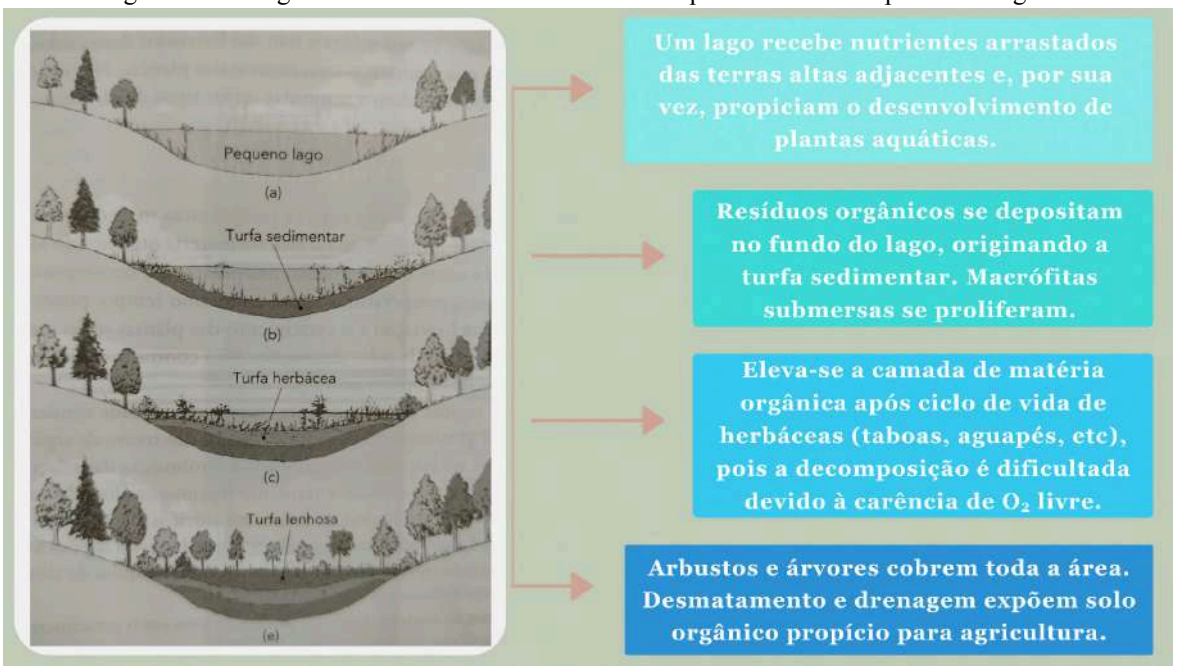
Esses acúmulos de água em depressões são muito sensíveis a intervenções antrópicas, por isso que a LPVN institui APP para proteger o entorno de lagos e lagoas[8] (Lehfeld *et al.*, 2025). Já a colmatagem é o "atulhamento ou enchimento realizado pelos agentes naturais ou

[8] Conceitualmente, ambos são "depressões no solo produzidas por causas diversas e cheias de água confinada (...) As lagoas podem ser definidas como lagos de pequena extensão e profundidade" (Guerra, 2011, p. 370, 373).

pelo homem, em zonas deprimidas" (Guerra, 2011, p. 146) e, deste modo, há possibilidades de ser intensificada pelo uso alternativo do solo: "A maior parte da destruição de terras úmidas ocorre quando agricultores as convertem em terras agrícolas, utilizando meios artificiais de drenagem" (Brady; Weil, 2013, p. 236).

Contudo, não se deve subestimar as forças naturais e os seres vivos que promovem mudanças nas feições terrestres, como gravidade, chuva e microrganismos decompositores (Figura 31). Isso porque "a intervenção humana nos solos responde por complexas e sutis variações na fisiologia de uma determinada paisagem, imitando até certo ponto os acontecimentos de maior intensidade e extensividade, relacionadas às variações climáticas quaternárias" (Ab'Sáber, 1969, p. 2).

Figura 31 – Estágios do desenvolvimento da turfa e o aplainamento de depressões alagadas



Fonte: Brady e Weil (2013).

Um exemplo é a colmatagem de plantas aquáticas e de elementos da vegetação ripária que caem dentro de lagoas, ou são arrastadas pela chuva, acumulando-se no fundo e, paulatinamente, originam os sedimentos lacustres. Isto é, "depósitos detríticos ou de restos orgânicos acumulados em antigos lagos" (Guerra, 2011, p. 369). Do ponto de vista pedológico, a formação sedimentar denomina-se turfa, que é um "material de solo não consolidado, constituído em grande parte de material orgânico ligeiramente decomposto e não

decomposto; ou apenas matéria orgânica acumulada em condições de umidade excessiva" (Brady; Weil, 2013, p. 666).

Esse conjunto de fatores são possíveis causas para a Lagoa Tibiri não acumular água na contemporaneidade. Todavia, mantém a capacidade de umedecer sobremaneira o solo dentro do seu limite territorial, ao ponto das imagens de satélite evidenciar coloração escura, textura lisa e mancha no solo com formato da lagoa.

Primeiro porque a matéria orgânica retarda a percolação da água e mantém a umidade do solo: "As cargas na superfície do húmus, como as da argila, atraem e mantêm tanto os íons de nutrientes como as moléculas de água. No entanto, grama por grama, a capacidade do húmus em reter nutrientes e água é muito maior do que a da argila" (Brady; Weil, 2013, p. 20). E segundo porque a quantidade de húmus no solo influência o imageamento mediante sensor óptico: quanto mais matéria orgânica estiver presente, então "maior será a absorção de energia incidente e menor a reflectância espectral" (Jensen, 2009, p. 512). Consequentemente, a área da lagoa fica mais escura e bem delineada, fato intensificado pela umidade, pois a água também escurece a tonalidade do solo.

O cariz cíclico da lagoa possibilita a vegetação secundária se expandir no território durante a estiagem e submergir durante as cheias. A cada ciclo novas camadas de matéria orgânica se formam gradualmente, somado ao assoreamento que carreia sedimentos minerais para o interior do corpo d'água. Sem a flora nativa para proteger o espelho d'água, a tendência é o desenvolvimento da turfa, que ocasiona o aplainamento da depressão e origina solos férteis para a agricultura.

5.1.2 Desmatamento para uso alternativo do solo

A análise temporal do uso alternativo do solo mostrou mandiocais, abacaxizeiros e um pomar no alto e médio curso do Rio Tibiri, no ano de 1970. E tal realidade não se restringia ao manancial santarritense. Na verdade, os canaviais ocupavam as terras férteis da planície de inundação das bacias do Rio Paraíba e de Mamanguape, enquanto os solos arenosos e com menor teor nutricional (localizados no interior do Tabuleiro Costeiro) "eram utilizados com lavoura de subsistência e coco-da-baía, ou eram ocupados pela vegetação natural de floresta e cerrado, constituindo até o fim dos anos 60 um limite ecológico à expansão da cana" (Moreira; Targino, 1997, p. 81).

E a concentração de terras pelos latifundiários foi ao extremo devido a formação das Usinas açucareiras[9]: "Consta no Registro de Imóveis de Santa Rita, que entre 1926/27 e 1930/45 vários Engenhos foram adquiridos pelos proprietários das Usinas Santa Rita (Flávio Ribeiro Coutinho) e São João (João Úrsulo e Renato Ribeiro Coutinho)" (Santana, 1990, *apud* Moreira; Targino, 1997, p. 81). De fato, a começar da nascente e seguindo a jusante, boa parte do Rio Tibiri está localizado no interior das terras da Usina São João (Propriedade rural n° 5, ver Figura 26), como atestam os resultados desta pesquisa.

Neste contexto, a barreira ecológica constituída pelo relevo íngreme das encostas e pela baixa fertilidade do solo foi superada pelos incentivos fiscais do Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL), implementado pelo Governo Federal em 1975, que financiou a "fundação ou ampliação de lavouras (preparo do solo, plantio e tratos culturais até a primeira safra) e financiamento de custeio para despesas relativas às socas ou às ressocas" (Moreira; Targino, 1997, p. 143).

Por isso, o mapeamento da SUDENE (1974) mostra que não existiam canaviais no alto e médio curso do Rio Tibiri no ano de 1970, apenas cultivos de subsistência. Mas essa realidade mudou de 1976 em diante, conforme mostram as imagens do satélite Landsat. Ou seja, a mata densa e a vegetação do cerrado foram substituídas pelos canaviais, condizente com o período em que foi implantado os incentivos governamentais do PROÁLCOOL. Portanto, os achados desta pesquisa são ratificados pelo estudo da geógrafa Emília de Rodat Moreira, que também utilizou o sensoriamento remoto para avaliar a expansão agrícola na Paraíba:

> As fotografias aéreas de 1985 permitem identificar o novo percurso seguido pela cana, a qual, em sua passagem, substituiu grande parte da vegetação natural e importantes trechos tradicionais produtores de alimentos, inclusive de abacaxi e de coco-de-praia. Observando mais em detalhes o caso específico do município de Sapé, constata-se que a cana-de-açúcar, entre 1974 e 1985 tanto substituiu grande parte da vegetação de cerrado e mata ali encontrada, como culturas alimentares e o abacaxi, produto comercial de grande peso na economia municipal. No início dos anos 90, a Paraíba colocava-se como quarto maior produtor de cana no ranque nacional, com uma participação de 4,8% do total produzido (Moreira, 1996, *apud* Moreira; Targino, 1997, p. 148).

[9] Implementada durante o século XX, "a Usina é um estabelecimento voltado para a produção de açúcar. Trata-se de uma empresa fabril que exerce também a atividade agrícola. (...) O impulso inicial dado pelo poder público para a implantação das primeiras Usinas foi vigoroso. Algumas Usinas foram isentas dos impostos estaduais por períodos que variavam de 5 a 15 anos a partir do seu funcionamento (Usinas Espírito Santo, Mamanguape e Bonfim); outras tiveram abatimento no imposto de transmissão por compra, o que facilitou o processo de concentração (Usinas São João e Santana)" (Moreira; Targino, 1997, p. 77).

Na contemporaneidade, o estudo do MapBiomas (2025) mostrou que as UCs contribuem para amenizar os índices de desmatamento. Mesmo assim, a situação é alarmante no caso de APAs: “Para todos os biomas, com exceção do Pantanal - que não registrou nenhum desmatamento em UCs, as APAs são responsáveis pela maior parte dos desmatamentos” (p. 83). Em APAs municipais, no ano de 2024, foram detectadas 662 ha de áreas desmatadas e, desse total, 85,35% ocorreram no Cerrado (565 ha) e 5,44% foram na Mata Atlântica (36 ha), sendo primeiro e terceiro lugar no ranking de desmatamento, respectivamente.

5.2 MINERAÇÃO E SUSTENTABILIDADE: ELEMENTOS OPOSTOS OU PROJETO DE LONGO PRAZO?

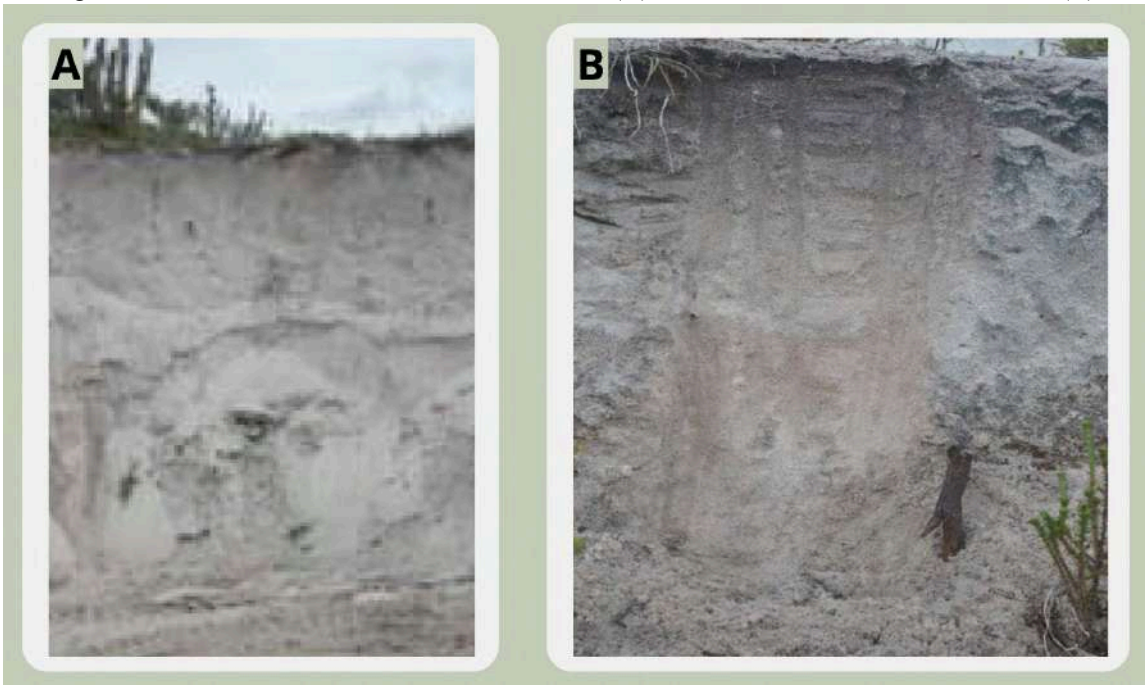
5.2.1 Dimensões técnicas e socioambientais: repercussões na APA do Rio Tibiri

O funcionamento de minas a céu aberto para extração de areia, na região metropolitana de João Pessoa-PB (que inclui municípios como Santa Rita, Cruz do Espírito Santo e a capital), apresenta particularidades referentes às rochas sedimentares do Tabuleiro Costeiro (Ferreira Neto *et al.*, 2021).

Algumas áreas da região, com cotas entre 20 a 100 m, apresentam cobertura superficial de areia, soltas ao tato e levadas ao vento (inconsolidada), e com menor ocorrência de matéria orgânica (se comparada com a areia extraída de leitos fluviais), o que confere a coloração cinza a creme claro (Ochoa, 2010; Rossetti *et al*, 2011). Trata-se de areias que formam os argissolos acinzentados e são originários dos Depósitos Colúvio-eluvial (Ferreira Neto *et al.*, 2021), também conhecido como Pós Barreira II (Rossetti *et al.*, 2011), como mostra a Figura 32-A.

A coloração cinza no topo que transaciona para a cor creme na base é evidente na Figura 32-B. Trata-se de uma exposição dos horizontes que constituem o solo arenoso, localizado no alto curso do Rio Tibiri. Do ponto de vista comercial, a equipe técnica da CPRM constatou que “essas areias atendem às especificações para fabricação de argamassa pré-fabricada para assentamento de revestimentos cerâmicos, por serem mais finas e arredondadas, terem boa distribuição granulométrica, baixas proporções de argila e reduzida salinidade” (Ferreira Neto *et al*., 2021, p. 38).

Figura 32 – Solo arenoso oriundo do Pós Barreira II (A) e ocorrência no entorno do Rio Tibiri (B)



Fonte: Ochoa (2010, p. 40) e Silva (2023, p. 66).

Na dimensão ambiental, esse perfil arenoso é suscetível à erosão laminar devido a má consolidação, ou seja, a "remoção bastante uniforme da camada mais superficial do solo pela água de escoamento superficial" (Brady; Weil, 2013, p. 650). A depender da intensidade da chuva, da declividade e de interferências na estrutura do solo (como sulcação para o plantio, irrigação, remoção da flora e escavações), é possível a formação de vários canais pequenos na terra (erosão em sulcos) que, progressivamente, evoluem para cortes profundos no solo (erosão em voçorocas), e tais processos formam um ciclo mediante o transporte e a deposição dos sedimentos removidos do solo (Brady; Weil, 2013).

Por isso que o termo erosão representa um ciclo geofísico, conforme esclarecimento formulado por Brady e Weil (2013). Isto é, a erosão inicia com o desgaste da superfície do terreno, ocasionado por agentes geológicos (precipitação, insolação, escoamento da água, ventania, etc.) associados a processos naturais, como a dilatação térmica da superfície. A consequência de tal desgaste é a separação de segmentos do solo ou das rochas, seguido pelo movimento desses elementos, que podem ser transportados pela água, vento, força gravitacional, etc.

Esse ciclo natural é denominado de erosão geológica e “o fato de o solo ser constituído por perfis já é uma comprovação do acúmulo do solo e da eficácia dos recursos naturais vegetais para proteger a superfície da terra da erosão” (Brady; Weil, 2013, p. 552).

Contudo, há influências antrópicas nas transformações da superfície terrestre, em áreas onde se desenvolvem atividades socioeconômicas e culturais, como agricultura, mineração, urbanização e monumentos esculpidos nas rochas. Por isso, os seres humanos são considerados agentes geológicos que atuam intensamente na modificação do meio ambiente (Guerra; Cunha, 2019). Com o passar do tempo, a natureza consegue se adaptar aos efeitos de eventos naturais extremos, como abalos sísmicos e chuvas intensas. Entretanto, às intervenções antrópicas se diferenciam porque são contínuas e progridem para extrair o máximo de recursos naturais, caracterizando um desequilíbrio sistemático (Guerra; Cunha, 2019).

Daí surge o conceito de erosão acelerada: um processo “muito mais rápido do que o normal, natural e geológico; ocasionada principalmente devido aos resultados das atividades antrópicas ou, em alguns casos, de animais” (Brady; Weil, 2013, p. 650). E entre as consequências desse processo estão o assoreamento de rios, o desgaste da superfície fértil do solo (horizonte O) e o afloramento de camadas subsuperficiais e impermeáveis, ou seja: a “degradação da estrutura do solo muitas vezes deixa uma crosta densa em sua superfície que, por sua vez, reduz a infiltração da água e aumenta o escoamento superficial” (Brady; Weil, 2013, p. 650).

Neste sentido, um levantamento da Agência Executiva de Gestão das Águas (AESA) mostrou que a zona sul do Tabuleiro Costeiro tem solos mais resistentes à percolação da água, devido a sub-horizontes impermeáveis. Consequentemente, são áreas com menor potencial para recarga do Aquífero Barreiras (AESA, 2024), um aquífero livre que ocorre nos sedimentos da Formação Barreiras (CPRM, 2019). Em compensação, são mais suscetíveis a formação de olhos d'água que, por sua vez, descarregam o aquífero e mantém a perenidade dos corpos hídricos da região, a exemplo do Rio Tibiri.

A associação entre erosão geológica e intemperismo físico-químico são mecanismos que possibilitam a interação entre águas subterrâneas e componentes de solos e rochas, carregando a mistura de água, argila, sais minerais e matéria orgânica dissolvida (Wicander; Monroe, 2017). Esses componentes formam o leito dos rios e se acumulam na planície de inundação (Grotzinger; Jordan, 2013). Ao passo que águas pluviais escoam superficialmente e

provocam, paulatinamente, a erosão das rochas à margem do corpo hídrico, rolando seixos e grãos de areia (Grotzinger; Jordan, 2013).

Em contraposição está a erosão acelerada provocada pelo desenvolvimento econômico, como é o caso da mineração de areia no alto curso do Rio Tibiri (Figura 33), onde os pesquisadores da CPRM constataram a "modificação da topografia original do terreno, a qual pode estar associada à interceptação do nível freático ou das águas subterrâneas, acarretando em impactos como a desestabilização geotécnica do terreno" (Ferreira Neto *et al*., 2021, p. 66).

Figura 33 – Afloramento de água subterrânea após a lavra de areia

Fonte: Ferreira Neto *et al.* (2021, p. 65).

Essa constatação não deve ser negligenciada, pois somada a outros fatores, como impermeabilização do solo pela expansão urbana e transformações na estrutura do território devido a agricultura, reduz-se ainda mais a recarga do Aquífero Barreiras na região. O Rio Tibiri é responsável por 80% do abastecimento público de Santa Rita-PB (Figura 34) e 20% é suprido pelos Centros de Produção de Água Subterrânea (CPAs), que realizam a captação no Aquífero Beberibe (ANE, 2024).

Logo, conservar os solos e disciplinar atividades econômicas que intervém na litologia é fundamental para manter o equilíbrio ecológico dos aquífero, pois o processo de recarga

apresenta variações na velocidade de movimento da água: “250 m por dia, em um material extremamente permeável, a menos que alguns poucos centímetros por ano, em material quase impermeável. Nos aquíferos mais comuns, a velocidade média da água subterrânea é de poucos centímetros por dia” (Wicander; Monroe, 2017, p. 264).

Figura 34 – Captação de água às margens do Rio Tibiri: abastecimento público de Santa Rita-PB

Fonte: Acervo da autora.

Destaca-se que a areia é um exemplo de recurso mineral não renovável, assim como as águas percolam lentamente no subsolo para formar aquíferos. Dependendo da intensidade que se retira a areia e dos modos de interferência nos lençóis freáticos, mais rápido esses recursos tendem a ser extintos.

Ademais, as bacias sedimentares, que formam o Tabuleiro Costeiro, foram gestados por longo período de tempo, em um processo evolutivo complexo. Com a expansão da construção civil, aumenta-se a demanda por materiais primários. Mas a previsão dos limites de restauração ambiental é influenciada pelo ecossistema. E considerando a intervenção humana, acrescenta-se a influência das relações sociais, econômicas e culturais. Portanto, o tempo para a estrutura geológica retornar ao equilíbrio é longo, comparado a imediaticidade da sociedade moderna.

5.2.2 Dimensão jurídica aplicada a APA do Rio Tibiri

Diante dos fatos analisados, é possível afirmar que “a mineração, se comparada com as demais atividades econômicas, goza de algumas prerrogativas, a exemplo da possibilidade de ser exercida em Áreas de Preservação Permanente” (Ataíde, 2025, p. 53). Tal fato pode ser estendido às UCs de Uso Sustentável, com exceção das RESEXs e das RPPNs (Souza; Pimenta, 2023), pois apenas às áreas ambientais de proteção integral se caracterizam como zonas bloqueantes para execução de atividade minerária (ANM, 2025a). Apesar da existência de “impactos inerentes à atividade, a adoção de práticas que visem à minimização dos danos causados pela mineração e o uso sustentável dos recursos minerais são cada vez mais proeminentes, tanto pelos empreendedores quanto pelo Estado” (Souza; Pimenta, 2023, p. 213).

A legislação também determina que o título minerário será recusado ou revogado se a atividade minerária for considerada prejudicial ao bem público (Brasil, 2018), como os espaços ambientais protegidos. Isso porque “inexiste extração mineral sem o uso dos recursos naturais, de modo que os impactos ao meio ambiente são ínsitos ao desenvolvimento da atividade” (Souza; Pimenta, 2023, p. 213). Por conseguinte, é obrigatório que o responsável pela mineração tome as devidas providências para prevenir, mitigar e compensar impactos ambientais, inclusive aqueles relativos ao bem-estar da comunidade local e ao desenvolvimento sustentável no entorno da mina, além de elaborar e implantar o plano de contingência (Brasil, 2022).

E a fiscalização do cumprimento da determinação legal é responsabilidade do Poder Público: “a fiscalização merece ser acurada, pois que os efeitos da prática se fazem presentes por tempo indeterminado, posteriormente ao encerramento do estabelecimento” (Gandara, 2023, p. 172). No contexto do Rio Tibiri, a PMSR afirma que ações conjuntas com a empresa concessionária de abastecimento público contribuiu para monitorar algumas áreas de mineração:

> Em levantamentos de campo, fornecido pela ANE (...), verificou-se areeiros, que no momento encontrava sem PRAD – Plano de Recuperação de Áreas Degradadas, porém em levantamentos nos dias atuais, encontramos que já se estabelecem um PRAD em uma das áreas e que próximo ao curso do rio não existem mais extrações (PMSR, 2023, p. 13).

O meio ambiente é um bem público inalienável e intransferível, ao passo que o título minerário é concedido pelas autoridades competentes, por tempo determinado e passível de

prorrogação (Ataíde, 2025). Deste modo, ações para recuperar os recursos naturais atingidos pela atividade minerária devem fazer parte de todo ciclo econômico. E o fechamento de mina é uma fase do "planejamento estratégico, que deve envolver tanto o empreendedor como o ente público, (...) de modo que a sociedade receba o estado da arte em fechamento de mina, na forma de um empreendimento ambientalmente salubre, estável e sustentável (Gandara, 2023, p. 168).

É do ecossistema que os seres humanos obtêm as matérias-primas para construir habitações, como a argila nas telhas e tijolos, a brita no alicerce e o calcário no cimento. E do ponto de vista econômico, a atividade minerária e a comercialização de imóveis movimentam a economia da cidade, geram arrecadação para o governo e oportunidades de trabalho para a sociedade. Porém, a problemática se acirra diante da especulação imobiliária que aumenta o número de habitações ociosas, em expansão nas proximidades de território ambientalmente protegido, além da mineração sustentável ser uma atividade de médio a longo prazo, tendo em vista a necessidade de recuperação de áreas degradadas.

Essa é a realidade no médio curso do rio, onde a expansão urbana alcança locais de encostas, afloramentos rochosos e fontes de água mineral, que são explorados por algumas mineradoras. Tal realidade apresenta o potencial de "ocasionar conflitos com as diferentes formas de ocupação do solo, sendo necessário, portanto, a elaboração de um ordenamento territorial" (Ferreira Neto *et al*., 2021, p. 31). Daí a saraiva de desafios para o Conselho Gestor da APA do Rio Tibiri e demais órgãos públicos afins, porque disciplinar a ocupação territorial e promover o desenvolvimento das forças produtivas também requer políticas públicas de longo prazo.

5.3 LIMITES E POTENCIALIDADES DA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

5.3.1 Dimensões técnicas e socioambientais: repercussões na APA do Rio Tibiri

A realidade do manancial santarritense segue a tendência social, econômica e ambiental do bioma Mata Atlântica, a qual está inserido. A ocupação histórica do litoral paraibano mediante a supressão da Mata Atlântica e o estabelecimento de canaviais nas terras de massapê reverberam na organização territorial. Atualmente, é marcado pelos conflitos ambientais em torno do usufruto privado da terra e as funções sociais da propriedade: "O

exercício do direito de propriedade condiciona-se à regularidade da exploração dos recursos naturais pelo proprietário ou possuidor do bem imóvel, caracterizada pelo respeito às limitações ambientais determinadas pelo Código Florestal e legislação pertinente" (Lehfeld *et al*., 2025, p. 45).

Essa realidade suscita reflexões porque "a maior parte do território da Mata Atlântica é ocupado por terras privadas (78%). Terras públicas ocupam outros 6,3%, enquanto 9,8% são terras não cadastradas ou de situação fundiária desconhecida" (Faria *et al*., 2021, p. 16). Por conseguinte, a estrutura fundiária no bioma Mata Atlântica "é diferente do restante do Brasil, principalmente da Amazônia, onde há uma proporção maior de terras públicas. O predomínio de terras privadas reforça a importância dos instrumentos legais que regulamentam a proteção da vegetação nativa" (Faria *et al*., 2021, p. 16). Daí se destaca o aspecto protetivo da APA, através de medidas de reflorestamento do território:

> Se a floresta aí não estiver, ela deve ser aí plantada. A ideia da permanência não está vinculada só à floresta, mas também ao solo, no qual ela está ou deve estar inserida, e à fauna (micro ou macro). Se a floresta perecer ou for retirada, nem por isso a área perderá sua normal vocação florestal (Machado, 2018, p. 871).

De fato, há inúmeros desafios enfrentados por produtores rurais para conciliar desenvolvimento e sustentabilidade em suas terras. Levando em consideração a dinâmica das monoculturas, sabe-se que o máximo aproveitamento de terras cultiváveis ampliam o retorno financeiro que, posteriormente, pode ser aplicado para melhorias na produção agrícola. Além disso, quanto maior o número de plantas cultivadas, menor é o espaço ocioso propício à ocupação de plantas daninhas, facilitando a manutenção da lavoura.

Em relação às queimadas, sabe-se que atividades interventivas fragilizam a vegetação, diminuindo a resistência contra eventos extremos, como aumento da temperatura em dias ensolarados. Conforme informações divulgadas pela Energisa, algumas queimadas em canaviais (localizados em municípios como Santa Rita, Cruz do Espírito Santo e Sapé) atingem a rede elétrica, mediante as altas temperaturas e provocam curto-circuitos, prejudicando o fornecimento de energia (A União, 2024). E cabe salientar que as queimadas estão intimamente relacionadas a diminuição do estoque de carbono do solo:

> Dentre as razões para a continuidade dessa prática está a facilitação da colheita em locais onde não é possível realizar-se a colheita mecanizada e o fato de que as cinzas produzidas são ricas em nutrientes minerais, principalmente fósforo e potássio,

> prontamente disponíveis para a safra subsequente. Todavia, a diminuição no estoque de matéria orgânica compromete a fertilidade desses solos a médio e longo prazo (Barros *et al.*, 2018, p. 7).

No que se refere ao decapeamento do solo para mineração de areia, que removeu plantios de cana-de-açúcar e de abacaxi, chama-se atenção para o fato de que as raízes das plantas estabilizam os solos contra erosão, choque contínuo das gotas de água durante precipitações e amenizam o processo de evaporação devido a cobertura do solo, ao mesmo tempo em que formam biotubos que auxiliam na percolação da água (Brady; Weil, 2013).

5.3.2 Dimensão jurídica aplicada a APA do Rio Tibiri

Diante do resgate histórico sobre a monocultura canavieira no entorno do Rio Tibiri, que foi o ponto inicial dos resultados desta pesquisa, cabe fazer a discussão sobre as modificações legais nos instrumentos de tutela que protegem o recurso hídrico, a saber: APP e Reserva Legal. Como exposto anteriormente, esses espaços protegidos integram a atual APA do Rio Tibiri.

A preservação de 20% dos solos cobertos por vegetação dentro de propriedades rurais era amparada pelo Código Florestal de 1965 (Brasil, 2004). Também foi nesse ordenamento jurídico que as Florestas de Preservação Permanente existiam por força da lei, cabendo às esferas federais, estaduais e municipais contribuírem para o cumprimento do dispositivo legal (art. 3º, § 1). O texto original não continha o termo "Área de Preservação Permanente" e a aplicabilidade protetiva se organiza de acordo com o território onde a vegetação estava situada, a exemplo de margens de rio, lagoas, nascentes e olhos d'água (art. 2º). Deste modo, a versão inicial de APP vinculava proteção à existência obrigatória de vegetação: "Se não houvesse floresta, e sim, um pasto ou uma lavoura, por exemplo, não seria enquadrado como APP" (Alencar, 2016, p. 79).

Além disso, o Código Florestal de 1965 apresentou as protoformas de algumas UCs de Proteção Integral, chamados de Parques e Reservas Biológicas (art. 5º, alínea a e parágrafo único) e uma UC de Uso Sustentável, as Florestas (art. 5º, alínea b). Cabe salientar que esse documento legal surgiu do ideário "de uma elite tecnocrática, que buscava modernizar o campo através da imposição de práticas de uso mais racionais dos recursos. (...) na realidade

rural brasileira, ainda dominada por famílias tradicionais de latifundiário" (Rajão *et al.*, 2021, p. 26-27).

Neste contexto estava em curso a chamada Revolução Verde, que começou a partir dos anos 1950: "a agricultura brasileira, que por séculos foi predominantemente dependente da fertilidade gerada pelo manejo do solo e pela queima de biomassa, passa a ser dependente dos produtos provenientes da indústria de agroquímicos" (Rajão *et al*., 2021, p. 26). Assim, conservar uma parcela da vegetação dentro da propriedade estava em consonância com o ideário de manter recursos naturais que contribuam para a continuidade das atividades agrícolas. Um exemplo é a proteção da mata ripária, devido a sua função de conservar o rio que disponibiliza água para irrigar os cultivos.

Mas foi apenas em 1989, na conjuntura de redemocratização do país, que o termo "Reserva Legal" e sua definição jurídica foram acrescentadas ao Código Florestal de 1965, permanecendo o percentual protetivo. Ou seja: "área de, no mínimo, 20% de cada propriedade, onde não é permitido o corte raso, deverá ser averbada (...), sendo vedada, a alteração de sua destinação, nos casos de transmissão, a qualquer título, ou de desmembramento da área" (Brasil, 2004, p. 25).

No ordenamento jurídico contemporâneo, a LPVN foi instituída em 2012 e também manteve o percentual supracitado (Brasil, 2012). Porém, o Novo Código Florestal inovou ao permitir o cômputo de APPs no cálculo do percentual da Reserva Legal (Lehfeld *et al*., 2025). Além disso, nos arts. 8º e 26º, a lei federal prevê algumas hipóteses em que é permitida a supressão da flora para uso alternativo do solo, seja no domínio público, seja em propriedade privada (Brasil, 2012).

Neste sentido, a legislação distingue dois atos: I. a supressão, que é o ato de cortar a vegetação, inclusive na modalidade de corte raso (corte total da árvore, retirando tronco e raízes, consequentemente, impede sua regeneração); II. e a extração de recursos oriundos da vegetação, que significa o "manejo da floresta, seu uso sustentável, podendo, assim, ser mantida sua regeneração" (Lehfeld *et al*., 2025, p. 228).

Pautado na LPVN, constata-se que o entorno da Lagoa Paturi, na faixa marginal de 50 m, é uma APP de recursos hídricos localizada em propriedade rural (art. 4°, inc. II, alínea a). E, conforme o art. 8°, a supressão da vegetação nativa em APP é passível de autorização do órgão competente, na hipótese de interesse social, a qual inclui a pesquisa e a extração de areia, argila, saibro e cascalho (art. 3°, inc. IX, alínea f).

No caso da Reserva Legal, a supressão implica a obrigatoriedade de tutelar outra área com vegetação (Lehfeld *et al.*, 2025, p. 228). Portanto, desde que cumprida as duas exigências legais, que são o cadastramento do imóvel no CAR e a prévia autorização do órgão competente, é possível ocorrer a supressão da flora para mineração de areia dentro de propriedade rural. Porque, legalmente, trata-se de uma modalidade de uso alternativo do solo, conforme o art. 3°, inc. VI (Brasil, 2012).

Possivelmente, o órgão público ponderou essa determinação legal antes de expedir a licença ambiental para a mineradora. Por conseguinte, os resultados desta pesquisa ratificam que a mineradora tinha autorização do Poder Público Municipal para realizar a atividade econômica, além do maior latifúndio canavieiro de Santa Rita-PB possuir dados atualizados no CAR, a qual consta as áreas remanescentes de vegetação que precisam ser recompostas.

6 RECOMENDAÇÕES PARA A APA DO RIO TIBIRI: DESAFIOS E ESTRATÉGIAS

Para fundamentar a proposta de criação da UC, é necessário que a área possua características ambientais relevantes, como: área coberta por remanescentes florestais; apresentar potencial para ecoturismo; disponibilidade de uso sustentável dos recursos naturais; e ter populações residentes na área (MMA, 2019). Além de cumprir esses pré-requisitos, o Rio Tibiri também fornece o serviço ecossistêmico de abastecimento público municipal.

Deste modo, é recomendável que os elaboradores do Plano de Manejo considerem as quatros dimensões que repercutem na efetividade do planejamento, na preservação das funções ambientais do recurso hídrico e na recuperação de áreas debilitadas pelas ações antrópicas:

1. Dimensão histórica das relações econômicas entre monocultura e mineração.
2. Dimensão institucional: quem está disputando pela ocupação e/ou permanência nas áreas de preservação em torno do rio (entes públicos, iniciativa privada, propriedades rurais e residências urbanas).
3. Dimensão jurídica: o que as legislações determinam e quais as intencionalidades socioeconômicas que norteiam a interpretação das leis ambientais, sendo que o embasamento legal deve orientar a redação do Plano de Manejo.

4. Dimensão socioambiental: as características geofísicas do Rio Tibiri e as formas como a sociedade santarritense interage com esse recurso natural: fonte de água potável, pesca, irrigação, balneários para recreação e canal para escoamento de águas pluviais.

Os resultados da pesquisa também apontam a necessidade de ampliar os limites territoriais da APA do Rio Tibiri. Conforme o MMA (2019), o processo institucional de ampliação é mais flexível se comparado ao sentido inverso, que é restringir a extensão da UC. E a pesquisa de Silva (2024) corrobora essa recomendação, principalmente devido a degradação do solo e a erosão provocadas pela mineração de areia, pois a "delimitação atual da APA não é condizente com os principais impactos da região, pois o polígono definido no decreto não abrange as áreas mais afetadas pelas atividades mais intensas" (p. 57).

No que se refere a implantação da APA, os argumentos apresentados demonstram que os obstáculos, isolados ou concomitantes, para superar as UCs de papel são:

1. Inexistência de documentos normativos (Plano de Manejo e Estatuto do Comitê de Gestão).
2. Caso as normas existam, há dificuldades financeiras e/ou falta de aperfeiçoamento técnico para os empreendimentos econômicos se adequarem às normativas da UC, especialmente pequenos produtores rurais, garimpeiros e MEIs.
3. A responsabilidade de preservar os recursos naturais é um processo contínuo e dispendioso, pois requer: dedicação de tempo, investimentos em equipamentos e insumos adequados à produção sustentável, além de cuidados para amenizar os impactos ambientais durante a realização de atividades econômicas.
4. Por isso, o Poder Público deve implantar estratégias para envolver a comunidade local, no sentido de contribuir para o funcionamento eficaz da UC, tais como: "programas de educação ambiental e no incentivo às propriedades que se destacam na preservação do meio ambiente, a exemplo de premiação pelos serviços ambientais prestados" (Alencar, 2016, p. 85).

Outrossim, a audiência pública realizada para criar a unidade de conservação apresentou algumas lacunas. Chama atenção que não foram repassados informações sobre a atuação do Poder Municipal para orientar, fiscalizar e coibir a lista de problemáticas ambientais expressas no Estudo Prévio para criação da APA. Isso porque, antes mesmo da criação da unidade, a mineração de areia é um exemplo de atividade econômica que vem obtendo duas licenças concedidas por órgãos municipais, a saber: licenciamento para mineração e licença ambiental.

Há muitas informações públicas que podem e devem ser de conhecimento da população santarritense, a exemplo dos dados da ANM que fundamentam este trabalho acadêmico. E, assim, difundir informações verídicas sobre a legalidade da mineração de areia na região, apesar dos impactos ambientais decorrentes da atividade. Conforme Gandara (2023), as audiências públicas são oportunidades essenciais para o Poder Público manifestar a sociedade os tipos de mineração executados e suas repercussões no meio ambiente, e acrescenta:

> Em vários Estados brasileiros, os órgãos deliberativos de licenciamento ambiental são manifestações da inter-relação entre a sociedade e o Estado, onde este traz os representantes da sociedade para o âmbito decisório e deliberativo, de modo a compartilhar a responsabilidade pela política ambiental e pelo licenciamento (Gandara, 2023, p. 174).

Tal realidade deve ser estendida à agricultura e sua importância para o desenvolvimento econômico do município. Deve-se ressaltar que os remanescentes de vegetação nativa, principalmente no alto e médio curso do rio, foram protegidas pelas Reservas Legais existentes nos imóveis rurais. Logo, a APA do Rio Tibiri é uma política pública para ampliar o fator protetivo.

De igual modo, é importante incentivar a divulgação, por parte de agricultores e mineradoras, sobre as ações realizadas em parceria com o Poder Público em prol da preservação do Rio Tibiri. E a realização de novas reuniões públicas são oportunidades essenciais para apresentar relatos, fotos e resultados das ações coletivas, fortalecendo a APA na esfera da realidade, e não apenas no papel.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração de dados provenientes do sensoriamento remoto e de sistemas públicos sobre a mineração e a agricultura (SIGMINE, Cadastro Mineiro e SICAR) contribuíram para evidenciar uma realidade encoberta por críticas a monocultura canavieira no Rio Tibiri, qual seja: a preservação de remanescentes da Mata Atlântica mediante Reservas Legais e APPs na zona rural que, atualmente, compõem o território protegido pela APA no entorno do corpo hídrico.

Por conseguinte, documentos históricos e levantamentos aerofotogramétricos são testemunhas de que o território já era ocupado por lavouras de mandioca e, posteriormente, os

canaviais foram implantados em áreas modificadas e avançaram sobre a mata e o cerrado. Durante a pesquisa de campo, verificou-se que há dominância de propriedades privadas na circunvizinhança do rio. Seguindo a montante, a ocorrência de imóveis rurais se sobressai, especialmente para plantios de abacaxi e cana-de-açúcar. Diante do exposto, os resultados ratificam a primeira hipótese desta pesquisa.

De igual modo, constatou-se que as atividades minerárias executadas na região da sub-bacia hídrica ocorrem de forma regular, com aval dos órgãos públicos competentes e com a prestação de contas, referentes tanto aos relatórios obrigatórios que são submetidos a ANM, quanto ao pagamento de taxas e impostos, pois apenas uma mineradora não submeteu o parecer sobre a prospecção de fosfato. Além disso, o título minerário Licenciamento sobressaiu entre as permissões de lavra, sendo responsabilidade do Poder Público local emitir o documento que, posteriormente, é cadastrado no sistema eletrônico da ANM. No caso em tela, a maioria das autorizações para mineração de areia e de saibro foram concedidas pela esfera municipal, assim como as mineradoras possuem licença ambiental.

Portanto, refuta-se a hipótese de que a mineração não regulamentada predomine na APA do Rio Tibiri. De fato, o mercado ilegal de extração de minérios é uma realidade que não deve ser negligenciada, antes sim é combatida pelas autoridades dos entes federados. Porém, na realidade do manancial santarritense, o uso alternativo do solo coincide com as áreas de mineração legalizadas, conforme mostrou a sobreposição entre imagens de satélite e polígonos que delimitam zonas de lavra.

Além disso, a análise dos documentos públicos disponíveis no SEI mostrou que a principal mineradora da região obteve a autorização dos proprietários rurais para extrair a areia existente em áreas de cultivo de cana-de-açúcar e de abacaxi. Isso porque, apesar dos recursos minerais pertencer à União, ainda assim a lei determina que os empreendedores formalizem acordos com os responsáveis pelo terreno onde há a jazida.

Do ponto de vista geofísico, os resultados da pesquisa ressaltam que o relevo plano e suave ondulado do Tabuleiro Costeiro não é imune aos impactos da descaracterização topográfica, pois a remoção da vegetação fragiliza os solos. As imagens de satélite mostraram ranhuras profundas nos solos e modificações na estrutura do território, referentes ao decapeamento da superfície e raspagem dos sedimentos arenosos.

A maior parte desse território fragilizado integra a APA do Rio Tibiri, que foi criada após o vencimento de sete títulos minerários referentes à prospecção e extração de areia.

Atualmente, há cinco títulos ativos para esse minério não metálico: uma Concessão de Lavra, um Licenciamento, duas Disponibilidades e um Alvará de Pesquisa. Ao passo que, no médio curso do rio, há uma Disponibilidade e três Concessões de Lavra para engarrafamento de água mineral, além de um Licenciamento para extração de saibro.

No que se refere aos fatores limitantes da pesquisa, a cobertura por nuvens restringe o campo de imageamento dos satélites e ocasionam sombras nas feições abaixo das nuvens. Isso afetou na qualidade dos dois arquivos *raster* referentes ao ano de 2025, em que foi possível aproveitar apenas uma parte das imagens, nos locais sem incidências de nuvens. De igual modo, no arquivo *raster* do ano de 2022, foi avaliado apenas a área da UC localizada no médio curso do Rio Tibiri.

Ademais, não foram realizadas entrevistas com servidores públicos municipais, colaboradores da mineradora e agricultores. Tal fato impossibilitou a obtenção de informações sobre os procedimentos que são realizados para recuperar as áreas degradadas. Entretanto, tomou-se a devida cautela em pesquisar documentos disponíveis pela PMSR, como o relatório prévio e a ata da audiência pública que criou a APA do Rio Tibiri, além dos objetivos da dissertação serem fundamentados em levantamentos territoriais via sensoriamento remoto.

Por isso que, apesar dos fatores limitantes supracitados, a pesquisa alcançou seus objetivos e foram analisadas a veracidade das hipóteses do trabalho, assim como elaborou-se recomendações para a APA do Rio Tibiri. No sentido de disciplinar atividades minerárias que são executadas na UC, devido a relevância para movimentar o mercado local e suprir demandas da construção civil, gerar oportunidades de emprego e contribuir para o orçamento municipal. Além disso, deve-se incentivar o manejo sustentável nas produções agrícolas, como a adubação orgânica e o reaproveitamento da palha da cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, Aziz. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia**, Instituto de Geografia da USP. São Paulo: 1969.

_____. **Os domínios de natureza no Brasil**: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 156 p.

ABRAMPA. Associação Brasileira dos Membros do Ministério Público de Meio Ambiente. **Paraíba**: mata atlântica. Brasília: ABRAMPA, 2023. Disponível em: https://abrampa.org.br/download/paraiba-mata-atlantica/. Acesso em: 12 mai. 2025.

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas. **Realização de estudos hidrogeológicos sobre as áreas de recarga no sistema Pernambuco-Paraíba com a elaboração do mapa de zonas de gerenciamento e elaboração de proposta de rede de monitoramento de águas subterrâneas do estado da Paraíba**. Relatório final. Consórcio IGNEO-NIP-PROFIL. João Pessoa: AESA, 2024. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/assets/uploads/2025/05/SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto07_REV03.pdf. Acesso em: 19 jan. 2025.

_____. **Chuvas**. João Pessoa: AESA, 2025. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/chuvas/. Acesso em: 08 abr. 2025.

AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS. **Proposta simplifica processo de pesquisa mineral no Brasil**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2025. Disponível em: https://www.camara.leg.br/noticias/1100869-proposta-simplifica-processo-de-pesquisa-mineral-no-brasil. Acesso em: 19 abr. 2025.

ALENCAR, Guilherme Viana de. **Novo Código Florestal Brasileiro**: ilustrado e de fácil entendimento. 2. ed. Vitória: Editora do Autor, 2016. 408 p.

ALPB - Assembleia Legislativa da Paraíba. **Projeto de lei n° 1.094/2023**. Estima a Receita e fixa a Despesa do Estado para o Exercício Financeiro de 2024 e dá outras providências. Comissão de Orçamento, Fiscalização, Tributação e Transparência. Disponível em: https://sapl3.al.pb.leg.br/media/sapl/public/materialegislativa/2023/112120/112120_texto_integral.pdf. Acesso em: 17 fev. 2025.

ANDRADE, Gilberto Osório de. **Os rios-do-açúcar do Nordeste Oriental**: o rio Paraíba do Norte. Imprensa Oficial. Recife: Instituto Joaquim Nabuco de Pesquisas Sociais, 1959. 154 p.

ANDRADES-FILHO, Clódis de Oliveira; ROSSETTI, Dilce Fátima; BEZERRA, Francisco Hilario Rego. The unsteady post-rift stage of the South American passive margin based on the tectono-sedimentary evolution of the onshore Paraíba Basin, NE Brazil. **Quaternary International**, v. 580, p. 100-119, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.10.051. Acesso em: 07 dez. 2024.

ANE - Águas do Nordeste. **Relatório anual de qualidade da água em 2023**. Santa Rita: ANE, 2024. Disponível em: https://ane.com.br/wp-content/uploads/2024/04/relatorio_agua_2023.pdf. Acesso em: 18 jun. 2025.

ANM - Agência Nacional de Mineração. **Permissão de Lavra Garimpeira**. Brasília: ANM, 2025a. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/exploracao-mineral/regimes-de-exploracao-mineral/permissao-de-lavra-garimpeira. Acesso em: 22 abr. 2025.

_____. **Observatório da CFEM**: estado da Paraíba. Brasília: ANM, 2025b. Disponível em: https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZDA5NGMyYmYtOWQyMi00NzA1LWFhOTQtNmU5NjEyMTI3ZDMxIiwidCI6ImEzMDgzZTIxLTc0OWItNDUzNC05YWZhLTU0Y2MzMTg4OTdiOCJ9&pageName=ReportSection7a43f884dc43352e5953. Acesso em: 22 abr. 2025.

_____. **Sistema de Informações Geográficas da Mineração** (SIGMINE). Brasília: ANM, 2025c. Disponível em: https://geo.anm.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=6a8f5ccc4b6a4c2bba79759aa952d908. Acesso em: 30 abr. 2025.

_____. **Painel do Cadastro Mineiro**. Brasília: ANM, 2025d. Disponível em: https://sistemas.anm.gov.br/scm/extra/site/admin/default.asp. Acesso em: 30 abr. 2025.

_____. **Serviço Eletrônico de Informação** (SEI). Brasília: ANM, 2025e. Disponível em: https://sei.anm.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md_pesq_processo_pesquisar.php?acao_externa=protocolo_pesquisar&acao_origem_externa=protocolo_pesquisar&id_orgao_acesso_externo=0. Acesso em: 30 abr. 2025.

ARAÚJO, Cínthia Menezes Lima Ramos. **A tribo melastomeae (melastomataceae juss.) na Mata Atlântica no nordeste oriental**. 2013. 105 p. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/12560. Acesso em: 07 jun. 2025.

ARAÚJO, Nailsa Maria Souza; MENDONÇA, Érica da Silva; COSTA, Jane Mara de Araujo; SILVA, Jociane Pinheiro da. Conflitos socioambientais no Nordeste brasileiro: tema de interesse para o Serviço Social. **Revista Katálysis**, v. 22, n. 02, p. 363-373, 2019. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rk/a/4FF9jm9Wgg8XQghrLPhGvNG/?lang=pt&format=pdf. Acesso em: 08 mar. 2025.

A UNIÃO. **Queimadas prejudicam o fornecimento de energia**. Jornal A União, 2024. Disponível em: https://auniao.pb.gov.br/noticias/geral/queimadas-prejudicam-o-fornecimento-de-energia. Acesso em: 10 jun. 2025

ATAÍDE, Pedro. **Direito minerário**. 6. ed. rev., atualiz. e ampl. São Paulo: Editora JusPodivm, 2025. 336 p.

BARBOSA, Claudio; NOVO, Evlyn; MARTINS, Vitor. **Introdução ao sensoriamento remoto de sistemas aquáticos**: princípios e aplicações. 1. ed. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2019. 161 p. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/labisa/livro/res/conteudo.pdf. Acesso em: 29 mar. 2025.

BARROS, Inácio de; THORBURN, Peter; BIGGS, Jody Scott; RESENDE, Ronaldo Souza; MARAFON, Anderson Carlos. **Uso eficiente de recursos naturais e insumos no cultivo da cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas**. Comunicado técnico n° 216. Aracaju: Embrapa, 2018. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1102890/1/COT216.pdf. Acesso em: 02 jun. 2025.

BERHRING, Elaine Rossetti; BOSCHETTI, Ivanete. **Política social**: fundamentos e história. Biblioteca Básica de Serviço Social. v. 2. São Paulo: Cortez, 2016.

BENJAMIN, Antonio Herman Vasconcelos. Função ambiental. *In*: BENJAMIN, Antonio Herman Vasconcelos (coord.). **Dano ambiental**: prevenção, reparação e repressão. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 1993. cap. 1, p. 9-82.

BIELSKI, Conrad; LÓPEZ-VÁZQUEZ, Carlos; GROHMANN, Carlos; GUTH, Peter; HAWKER, Laurence; GESCH, Dean; TREVISANI, Sebastiano; HERRERA-CRUZ, Virginia; RIAZANOFF, Serge; CORSEAUX, Axel; REUTER, Hannes; STROBL, Peter. Novel approach for ranking DEMs: Copernicus DEM improves one arc second open global topography. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, v. 62, 2024. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=10440392. Acesso em: 30 mar. 2025.

BORGES, Wellington. **Povos indígenas brasileiros**: a história lembrada de um povo esquecido. Brasília: HTC, 2011. 73 p.

BRADY, Nyle; WEIL, Ray. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 686 p.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 19 abr. 2025.

_____. **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. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: 10 fev. 2025.

_____. **Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002**. Regulamenta artigos da Lei no 9.985, de 18 de julho de 2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4340.htm. Acesso em: 10 fev. 2025.

_____. **Código Florestal de 1965.** Código florestal e normas correlatas. Coleção Ambiental, v. 4. Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2004. 146 p.

_____. **Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006**. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11326.htm. Acesso em: 05 mai. 2025.

_____. **Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011**. Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp140.htm. Acesso em: 08 jun 2025.

_____. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 17 jun 2025.

_____. **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. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/d9406.htm. Acesso em: 19 abr. 2025.

_____. **Lei nº 14.285, de 29 de dezembro de 2021**. Altera as Leis nos 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, 11.952, de 25 de junho de 2009, que dispõe sobre regularização fundiária em terras da União, e 6.766, de 19 de dezembro de 1979, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, para dispor sobre as áreas de preservação permanente no entorno de cursos d'água em áreas urbanas consolidadas. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2021/Lei/L14285.htm. Acesso em: 16 jun. 2025.

_____. **Decreto nº 10.965, de 11 de fevereiro de 2022**. Altera o Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018, que 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. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2022/Decreto/D10965.htm. Acesso em: 19 abr. 2025.

_____. **Lei nº 14.595, de 5 de junho de 2023**. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, de forma a regulamentar prazos e condições para a adesão ao Programa de Regularização Ambiental (PRA), e a Lei n° 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2023/Lei/L14595.htm. Acesso em: 05 mai. 2025.

CAMPOS, Maria Lúcia; MELLO, Lígia; ZANETTE, Dilson; SIERRA, Maria Marta de Souza; BENDO, Anderson. Construção e otimização de um reator de baixo custo para a fotodegradação da matéria orgânica em águas naturais e sua aplicação no estudo da especiação do cobre por voltametria. **Química Nova**, v. 24, n. 2, p.

257–261, 2001. Disponível em: https://www.scielo.br/j/qn/a/7kNyZ4qSj3Vj8kGZJC7Vyzq/. Acesso em: 19 nov. 2024.

CHAUÍ, Marilena. **Convite à filosofia**. 14.ed. São Paulo: Editora Ática, 2019. 256 p.

CHAÚQUE, Beni Jequicene Mussengue. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema de desinfecção solar de água em fluxo contínuo na inativação de cistos de Acanthamoeba castellanii e de bactérias**. 2020. 91 p. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Microbiologia Agrícola e do Ambiente) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/handle/10183/210402. Acesso em: 19 nov. 2024.

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico; Fundação Roberto Marinho. **Cidades sustentáveis**: caderno do professor. XXV Prêmio Jovem Cientista, 2011. Disponível em: https://estatico.cnpq.br/portal/premios/2018/pjc/premio.html. Acesso em: 12 dez. 2024.

COSTA, Vitória Cecchetti Gottardi. **Botânica do abacaxizeiro.** Portal da Toda Fruta, 2011. Disponível em: https://www.todafruta.com.br/botanica-do-abacaxizeiro. Acesso em: 02 jun. 2025.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Mapa Hidrogeológico do Estado da Paraíba**. Escala 1:500.000. Projeto de Disponibilidade Hídrica no Brasil. Recife: CPRM, 2019. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/21598. Acesso em: 04 dez. 2024.

CURI, Adilson. **Minas a céu aberto**: planejamento de lavra. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 232 p.

DEMATTÊ, José Luiz Ioriatti. Manejo e conservação de solos, na cultura da cana. **Visão agrícola**. USP ESALQ. Ano 1, v. 1, p. 8-17, 2004. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/Esalq-VA01-Cana-de-Acucar.pdf. Acesso em: 10 mai. 2025.

DOEPB - Diário Oficial do Estado da Paraíba. **Decreto legislativo nº 308, de 06 de junho de 2024**. Autoriza o Poder Executivo a alterar as programações orçamentárias relativas às Emendas de Apropriação/Impositiva constantes dos Anexos da Lei nº 13.041, de 15 de janeiro de 2024, e dá outras providências. Governo Estadual da Paraíba, 2024a. Disponível em: https://auniao.pb.gov.br/servicos/doe/2024/junho/diario-oficial-11-06-2024-portal.pdf. Acesso em: 17 fev. 2025.

_____. **Extrato de termo de fomento nº 0001/2024**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e da Sustentabilidade, 2024b. Disponível em: https://auniao.pb.gov.br/servicos/doe/2024/dezembro/diario-oficial-27-12-2024-portal.pdf. Acesso em: 17 fev. 2025.

_____. **Portaria nº 0022/2024/SEMAS**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e da Sustentabilidade, 2024c. Disponível em: https://auniao.pb.gov.br/servicos/doe/2024/dezembro/diario-oficial-17-12-2024-portal.pdf. Acesso em: 17 fev. 2025.

DOMPIERI, Márcia Helena Galina; RESENDE, Ronaldo Souza; BARRETO, Antônio Carlos; CRUZ, Marcus Aurélio Soares da; SILVA, Ana Alexandrina Gama da; NOGUEIRA JÚNIOR, Lauro Rodrigues; IVO, Walane Maria Pereira de Mello; SILVA, Marcos Aurélio Santos da; CUENCA, Manuel Alberto Gutierrez; FERNANDES, Marcelo Ferreira. **Delimitação da área foco de atuação da Embrapa Tabuleiros Costeiros e principais aspectos fisiográficos.** Documento n° 194. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 41 p.

ESTEVES, Francisco de Assis (coord.). **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciências, 2011.

ETENE - Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste. **Cenário Macroeconômico Estadual da Paraíba**. Ano V, nº 01, 2025. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/2110/1/2025_CMR_PB_01.pdf. Acesso em: 13 abr. 2025.

FARIA, Vinícius Guidotti de; MELLO, Kaline de; PINTO, Luís Fernando Guedes; BRITES, Alice; TAVARES, Paulo André; FERNANDES, Rafael Bitante; CHAMMA, Ana Letícia Sbitkowski; FRANSOZI, Aline Aparecida; GIUDICE, Roberta del; ROSA, Marcos; SPAROVEK, Gerd. O Código Florestal na Mata Atlântica. **Sustentabilidade em Debate**, n. 11, 2021. Disponível em: https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/prov0401.pdf. Acesso em: 12 mai. 2025.

FERREIRA NETO, Manoel Henrique; MENDES, Vanildo Almeida; LIMA, Maria Angélica Batista; LOPES, Angela Pacheco; GODOY, Michel Marques (orgs.). **Materiais de construção civil da região metropolitana de João Pessoa, Paraíba**. Recife: Serviço Geológico do Brasil, CPRM, 2021. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/21754. Acesso em: 04 dez. 2024.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 159 p.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. ed. ampl. e atual. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 128 p.

FORMAGGIO, Antonio Roberto; SANCHES, Ieda Del'Arco. **Sensoriamento remoto em agricultura**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 288 p.

GANDARA, Leonardo André. Plano de fechamento de mina e sua permeabilidade com os princípios de direito ambiental. *In*: FREIRE, William (org.). **Direito da Mineração**. 2 ed. ampl. Belo Horizonte: Editora Instituto dos Advogados de Minas Gerais, 2023. cap. 9, p. 161-186.

GRANELL-PÉREZ, María del Carmen. **Trabalhar geografia com as cartas topográficas**. 2. ed. Ijuí: Editora Unijuí, 2004. 128 p.

GROTZINGER, John; JORDAN, Thomas. **Para entender a Terra**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 738 p.

GUERRA, Antônio José Teixeira. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 9 ed. 2011.

_____; CUNHA, Sandra Baptista da (org.). **Geomorfologia e meio ambiente**. 14. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2019.

HARRIS, Daniel. **Análise química quantitativa**. Colaboração: Charles A. Lucy. Tradução: Júlio Carlos Afonso, Oswaldo Esteves Barcia. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

HAWKER, Laurence; NEAL, Jeffrey; UHE, Peter; PAULO, Luntadila; SOSA, Jeison; SAVAGE, James; SAMPSON, Christopher. **Forest And Buildings removed Copernicus DEM - FABDEM v1-2**. Reino Unido: Universidade de Bristol, 2023. Disponível em: https://data.bris.ac.uk/data/dataset/s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4ew3sn. Acesso em: 30 mar. 2025.

IA - Instituto Incubação e Aceleração. **Quem somos**. Disponível em: https://institutoia.org/. Acesso em: 27 fev. 2025.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas Nacional Digital do Brasil**. Brasília: IBGE, 2010. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/atlas_nacional/#/mapa/. Acesso em: 10 mai. 2025.

_____. **Produção Agropecuária na Paraíba**. Brasília: IBGE, 2023. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/pb. Acesso em: 13 abr. 2025.

_____. **Malhas territoriais**. Brasília: IBGE, 2024. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html. Acesso em: 10 mai. 2025.

_____. **Santa Rita-PB**. IBGE Cidades. Brasília: IBGE, 2025. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/santa-rita/panorama. Acesso em: 13 abr. 2025.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. **Panorama de mineração no Brasil**. Belo Horizonte: Public Projetos Editoriais, 2024. Disponível em: https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2024/09/PMB2024.pdf. Acesso em: 18 fev. 2025.

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Sistema de Gestão Fundiária** (SIGEF). Plataforma de Governança Territorial. Brasília: Ministério da Agricultura e Pecuária, 2025. Disponível em: https://sigef.incra.gov.br/. Acesso em: 07 abr. 2025.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Temperaturas diárias** (máxima, média, mínima) - estação João Pessoa (A320). Brasília: INMET, 2025. Disponível em: https://tempo.inmet.gov.br/Graficos/A320. Acesso em: 18 abr. 2025.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Níveis de processamento das imagens do CBERS 4A**. INPE, 2022. Disponível em: http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/catalogo-cbers-amz-1/niveis-de-processamento-cb4a-cb4-e-amz-1.pdf. Acesso em: 23 mar. 2025.

_____. **Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres** (CBERS): perguntas frequentes. INPE, 2024a. Disponível em: https://www.gov.br/inpe/pt-br/acesso-a-informacao/perguntas-frequentes/cbers. Acesso em: 25 mar. 2025.

_____. **Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres** (CBERS): infográficos. INPE, 2024b. Disponível em: https://www.gov.br/inpe/pt-br/programas/cbers/infograficos. Acesso em: 25 mar. 2025.

_____. **Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres** (CBERS): folder. INPE, 2024c. Disponível em: https://www.gov.br/inpe/pt-br/programas/cbers/folders. Acesso em: 25 mar. 2025.

_____. **Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres** (CBERS): catálogo de imagens. INPE, 2025. Disponível em: https://www.dgi.inpe.br/catalogo/explore. Acesso em: 27 mar. 2025.

JENSEN, John. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009.

LANDELL, Marcos Guimarães de Andrade; SILVA, Marcelo de Almeida. Melhoramento genético: as estratégias de seleção da cana em desenvolvimento no Brasil. **Visão agrícola**. USP ESALQ. Ano 1, v. 1, p. 8-17, 2004. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/Esalq-VA01-Cana-de-Acucar.pdf. Acesso em: 10 mai. 2025.

LEHFELD, Lucas de Souza; CONSOLETTI, Raul Miguel Freitas de Oliveira; FERREIRA, Olavo Augusto Vianna Alves; COELHO, Larissa de Castro (org.). **Código florestal comentado e anotado (artigo por artigo).** 6. ed. rev., atualiz. e ampl. São Paulo: Editora JusPodivm, 2025. 448 p.

LIU, William Tse Horng. **Aplicações de sensoriamento remoto**. 2. ed. ampl. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 908 p.

LOUREIRO, Francisco Lapido; MONTE, Marisa Bezerra de Mello; NASCIMENTO, Marisa. **Fosfato**. Rochas e Minerais Industriais. CETEM, 2005. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1043/3/07.%20Agrominerais-FOSFATO%20ok.pdf. Acesso em: 19 abr. 2025.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Direito ambiental brasileiro**. 26. ed. rev., atualiz. e ampl. São Paulo: Malheiros, 2018.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Roteiro para criação de unidades de conservação municipais**. 2. ed. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade, Departamento de Áreas Protegidas. Brasília: MMA, 2019. 84 p.

_____. **Painel de unidades de conservação brasileiras**. Brasília: MMA, 2025a. Disponível em: https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMGNmMGY3NGMtNWZlOC00ZmRmLWExZWItNTNiNDhkZDg0MmY4IiwidCI6IjM5NTdhMzY3LTZkMzgtNGMxZi1hNGJhLTMzZThmM2M1NTBlNyJ9&pageName=ReportSectione0a112a2a9e0cf52a827. Acesso em: 20 fev. 2025.

_____. **Sistema de Cadastro Ambiental Rural** (SICAR). Brasília: MMA, Sistema Florestal Brasileiro, 2025b. Disponível em: https://www.car.gov.br/#/. Acesso em: 02 abr. 2025.

MAPBIOMAS. **RAD2024**: Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2024. São Paulo: MapBiomas, 2025. 209 p. Disponível em: https://alerta.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/17/2025/11/RAD2024_28_10.pdf. Acesso em: 07 jul. 2025.

MARQUES, Flávio Adriano; NASCIMENTO, Alexandre Ferreira do; ARAÚJO FILHO, José Coelho de; SILVA, Ademar Barros da. **Solos do Nordeste**. Brasília: Embrapa Solos, 2014.

MATTIUZZO, Beatriz. **Áreas (des)protegidas**: unidades de conservação só no papel. Ecoa, Rede UOL, 2025. Disponível em: https://www.uol.com.br/ecoa/colunas/beatriz-mattiuzzo/2025/04/30/areas-desprotegidas-unidades-de-conservacao-so-no-papel.htm. Acesso em: 30 mai. 2025.

MENDES, Carlos André Bulhões; CIRILO, José Almir. **Geoprocessamento em recursos hídricos**: princípios, integração e aplicação. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: ABRH, 2013.

MOLLE, François; CADIER, Eric. **Manual do pequeno açude**: construir , conservar e aproveitar pequenos açudes no Nordeste brasileiro. 1. ed. Recife: SUDENE, 1992. 528 p.

MOREIRA, Emília de Rodat Fernandes; TARGINO, Ivan. Capítulos de geografia agrária da Paraíba. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 1997. 332p

NOVO, Evlyn de Moraes. **Sensoriamento remoto**: princípios e aplicações. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 388 p.

OCHOA, Felipe Lamus. **Análise de minerais pesados aplicada ao mapeamento geológico na Bacia Paraíba**. 2010. 186 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44141/tde-08012011-003004/pt-br.php. Acesso em: 07 dez. 2024.

OLIVEIRA SOBRINHO, Reinaldo de. **Terras de massapê**: um estudo sobre a civilização do açúcar na Paraíba. 2. ed. João Pessoa: Unigraf, 1986, 93 p.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. ONU, 2025. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 11 mar. 2025.

PARADELLA, Waldir Renato; MURA, José Claudio; GAMA, Fabio Furlan. **Monitoramento DInSar para mineração e geotecnia**: a tecnologia DInSar orbital na mineração e geotecnia no monitoramento do espaço deformações na superfície. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2021. 120 p.

PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba. **PERH-PB**: Plano Estadual de Recursos Hídricos: resumo executivo e atlas. Brasília:, 2006. 112p.

PEREIRA, Felipe Julião. **Crescimento urbano, impactos ambientais e percepção ambiental na sub-bacia do Rio Tibiri, Santa Rita, Paraíba**. 2023. 139 p. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2023. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/29547?locale=pt_BR. Acesso em: 10 nov. 2024.

PIMENTA, Pedro Pereira. Função ambiental da propriedade: um olhar a partir do art. 225, da Constituição Federal de 1988. **RIDB**, Ano 3, nº 8, p. 5906-5981, 2014.

PIVETTA, Marcos. A última grande alta do Atlântico. **Revista Pesquisa FAPESP**, ed. 212, 2013. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/a-ultima-grande-alta-do-atlantico/. Acesso em: 12 dez. 2024.

PMSR - Prefeitura Municipal de Santa Rita. **Criação de unidade e conservação**: estudo prévio para implantação da área de proteção ambiental do Rio Tibiri. Santa Rita: PMSR, SEMMA, 2023a. 75 p.

_____. **Ata da audiência pública de criação da APA do Rio Tibiri**. Santa Rita: PMSR, SEMMA, 2023b. 7 p.

_____. **Decreto Municipal nº 29, de 24 de abril 2023**. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Tibiri. Diário Oficial Eletrônico, nº 1947, Ano 11, 2023c.

_____. **Conselho Municipal de Desenvolvimento e Meio Ambiente de Santa Rita-PB**. Santa Rita, 2025. Disponível em: https://santarita.pb.gov.br/conselho-municipal/conselho-municipal-de-desenvolvimento-e-meio-ambiente-de-santa-rita/. Acesso em: 02 abr. 2025.

POMPÊO, Marcelo Luiz Martins; MOSCHINI-CARLOS, Viviane. **Macrófitas aquáticas e perifíton**: aspectos ecológicos e metodológicos. 1. ed. São Carlos: RiMa, 2003. 137 p.

PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir; KUPLICH, Tatiana Mora. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2 ed. atual. e ampl. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 197 p.

RAJÃO, Raoni; GIUDICE, Roberta del; HOFF, Richard van der; CARVALHO, Ely Bergo de. **Uma Breve História da Legislação Florestal Brasileira**: contém a Lei nº 12.651, de 2012, com comentários críticos acerca da aplicação de seus artigos. 1. ed. Ilustrado por Ananda Nahu. Florianópolis: Expressão, 2021. 192 p. Disponível em: https://observatorioflorestal.org.br/livro-uma-breve-historia-sobre-a-legislacao-florestal-brasileira/. Acesso em: 14 nov. 2024.

REINHARDT, Domingo Haroldo; CUNHA, Getúlio Augusto Pinto da Cunha; SOUZA, Luiz Francisco da Silva. Clima e solo. *In:* SANCHES, Nilton Fritzons; MATOS, Aristóteles Pires de. **Abacaxi**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. 2 ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. cap. 1, p. 15-24.

RIBEIRO FILHO, João. **Santa Rita (re)contada em fatos e fotos**: do engenho à emancipação. João Pessoa: Sal da Terra, 2012. 158 p.

RIBEIRO, Wagner Costa. **Guerras e meio ambiente, uma combinação que não se ajusta aos interesses da humanidade**. Jornal da USP, 2024. Disponível em: https://jornal.usp.br/atualidades/guerras-e-meio-ambiente-uma-combinacao-que-nao-se-ajusta-aos-interesses-da-humanidade. Acesso em: 03 mar. 2025.

RODRIGUEZ, Janete Lins (coord.). **Atlas escolar da Paraíba**. 3. ed. ampl. e atualiz. João Pessoa: Grafset, 2002. 112 p.

ROSSETTI, Dilce Fátima; GÓES, Ana Maria; BEZERRA, Francisco Hilario Rego; VALERIANO, Márcio; BRITO-NEVES, Benjamin; OCHOA, Felipe Lumus. Contribution to the Stratigraphy of the Onshore Paraíba Basin, Brazil. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 84, n. 2, p. 313-333, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0001-37652012005000026. Acesso em: Acesso em: 07 dez. 2024.

SANCHES, Nilton Fritzons; MATOS, Aristóteles Pires de. **Abacaxi**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. 2 ed. rev. e ampl. Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas. Brasília: Embrapa, 2013. 196 p.

SANTANA, Martha Maria Falcão de Carvalho e Morais. **Nordeste, açúcar e poder**: um estudo da oligarquia açucareira na Paraíba 1920/1962. 1. ed. João Pessoa: CNPq, UFPB, 1990. 343 p.

SANTANA, José de Arimatéa Alves de. **Santa Rita e seus vultos folclóricos**. 1. ed. João Pessoa: Sal da Terra, 2006. 206 p.

SANTOS, Edilton José dos; FERREIRA, Cícero Alves; SILVA JUNIOR., José Maria F. da (orgs.). **Geologia e recursos minerais do estado da Paraíba**: texto explicativo dos mapas geológicos e de recursos minerais do estado da Paraíba. Recife: CPRM, 2002.

SANTOS, Edson Rider dos; FERREIRA, Elton Emanuel Costa; SENA, Joaquim Cristovam de Andrade. **Cultivo do Abacaxi**. 2. ed. Manual Técnico n° 15. Marituba: EMATER-PA, 2023. 35p.

SCHEID, Claudio; MUNIS, Marcos de Barros. **Projeto de cadastramento dos recursos minerais não-metálicos do estado da Paraíba**. Recife: CPRM, 1976. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/8892. Acesso em: 04 dez. 2024.

SILVA, Afrânio; LOUREIRO, Bruno; MIRANDA, Cássia; FERREIRA, Fátima; AGUIAR, João; FERREIRA, Lier Pires; SERRANO, Marcelo. **Sociologia em movimento**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2013. 399 p.

SILVA, Daniel Carneiro da. Evolução da fotogrametria no Brasil. **Rev. Bras. Geom**., v. 3, n. 2, p. 81-96, 2015. Disponível em: https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo/article/view/5467. Acesso em: 12 dez. 2024.

SILVA, Sergio Delmar dos Anjos e; NAVA, Dori Edson; MONTERO, Cândida Raquel Scherrer; STURZA, Vinicius Soares. **Sistema de produção de cana-de-açúcar para agricultura familiar**. Embrapa, 2017. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1081370/1/SergiodosAnjosDocumento443web.pdf. Acesso em: 10 mai. 2025.

SILVA, André Luiz da. **Análise integrada de governança e geotecnologias para a conservação e gestão ambiental do alto curso da sub-bacia do rio Tibiri em Santa Rita-PB**. 2024. 72 p. TCC (Graduação – Tecnologia em Gestão Ambiental) - Instituto Federal da Paraíba, João Pessoa, 2024. Disponível em: https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/3902. Acesso em: 08 nov. 2024.

SOS Mata Atlântica. **Panorama das Unidades de Conservação Municipais da Mata Atlântica**: uma visão geral sobre os 3.429 municípios do bioma. São Paulo: SOS Mata Atlântica, 2023. Disponível em: https://cms.sosma.org.br/wp-content/uploads/2023/08/Relato%CC%81rio_UCs-Municipais_2023.pdf. Acesso em: 10 mai. 2025.

SOUZA, Luiza Mello; PIMENTA, Isabela de Castro Lucas. Ilegalidade do decaimento de títulos minerários interferentes com Unidades de Conservação e soluções alternativas. *In*: FREIRE, William (org.). **Direito da Mineração**. 2 ed. ampl. Belo Horizonte: Editora Instituto dos Advogados de Minas Gerais, 2023. cap. 11, p. 201-226.

SOUZA, Vivian. **Você sabia?** Cada abacaxi é formado por até 200 frutas fundidas. G1 Agro, 2025. Disponível em: https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2025/05/01/voce-sabia-cada-abacaxi-e-formado-por-ate-200-frutas-fundidas.ghtml. Acesso em: 02 jun. 2025.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Cartas topográficas da região nordeste**. Escala 1:25.000. Folhas SB.25-Y-C-II-2-SE (Cruz do Espírito Santo) e SB.25-Y-C-III-1-SO (Santa Rita). 1. ed. Recife: SUDENE, Ministério do Interior, 1974.

STF - Supremo Tribunal Federal. **Restabelecidas normas do Conama sobre áreas de proteção e licenciamento**. Brasília: STF, 2020. Disponível em: https://portal.stf.jus.br/noticias/verNoticiaDetalhe.asp?idConteudo=454328&ori=1. Acesso em: 02 mai. 2025.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo; MOLLER, Ian Max; MURPHY, Angus. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Tradução: Alexandra Antunes Mastroberti et al. Revisão Técnica: Paulo Luiz de Oliveira. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

UNIC Rio - Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil. **Transformando nosso mundo**: a agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Coordenadoria-Geral de Desenvolvimento Sustentável. Brasília: Ministério das Relações Exteriores do Brasil. 2016. Disponível em: https://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/Brasil_Amigo_Pesso_Idosa/Agenda2030.pdf. Acesso em: 11 mar. 2025.

USGS - United States Geological Survey. **USGS EROS Archive, commercial satellites**: OrbView 3. Estados Unidos, USGS, 2018. Disponível em: https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-commercial-satellites-orbview-3. Acesso em: 29 mar. 2025.

_____. **Landsat Satellite Missions**. Estados Unidos, USGS, 2025a. Disponível em: https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-satellite-missions. Acesso em: 29 mar. 2025.

_____. **Earth Explorer**. Estados Unidos, USGS, 2025b. Disponível em: https://earthexplorer.usgs.gov/. Acesso em: 02 abr. 2025.

VIDAL, Mariana. **“Parques de papel”:** as Unidades de Conservação sem a concretização das exigências legais para sua criação e efetiva implementação. Morello Lima Advocacia, 2015. Disponível em: https://www.mosello.com.br/conteudo/not/001/cont/arquivos/Parques%20de%20Papel.pdf. Acesso em: 30 mai. 2025.

VITTE, Claudete de Castro Silva. Neoextrativismo e o uso de recursos naturais na América Latina: notas introdutórias sobre conflitos e impactos socioambientais. **Conexão política**, v. 9, n. 1, p. 167-194, 2020. Disponível em: https://revistas.ufpi.br/index.php/conexaopolitica/article/view/12228. Acesso em: 08 mar. 2025.

WANDERLEY, Adeilson Alves. **Projeto Mapas Metalogenéticos e Previsão de Recursos Minerais**: Folha SB.25-Y-C João Pessoa, Escala 1:250.000. Recife: CPRM, 1983. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/7464. Acesso em: 04 dez. 2024.

WHITFORD, Walter; DUVAL, Benjamin. **Ecology of Desert Systems**. 2.ed. Academic Press, 2019. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/ephemeral-lake. Acesso em: 15 jan. 2025.

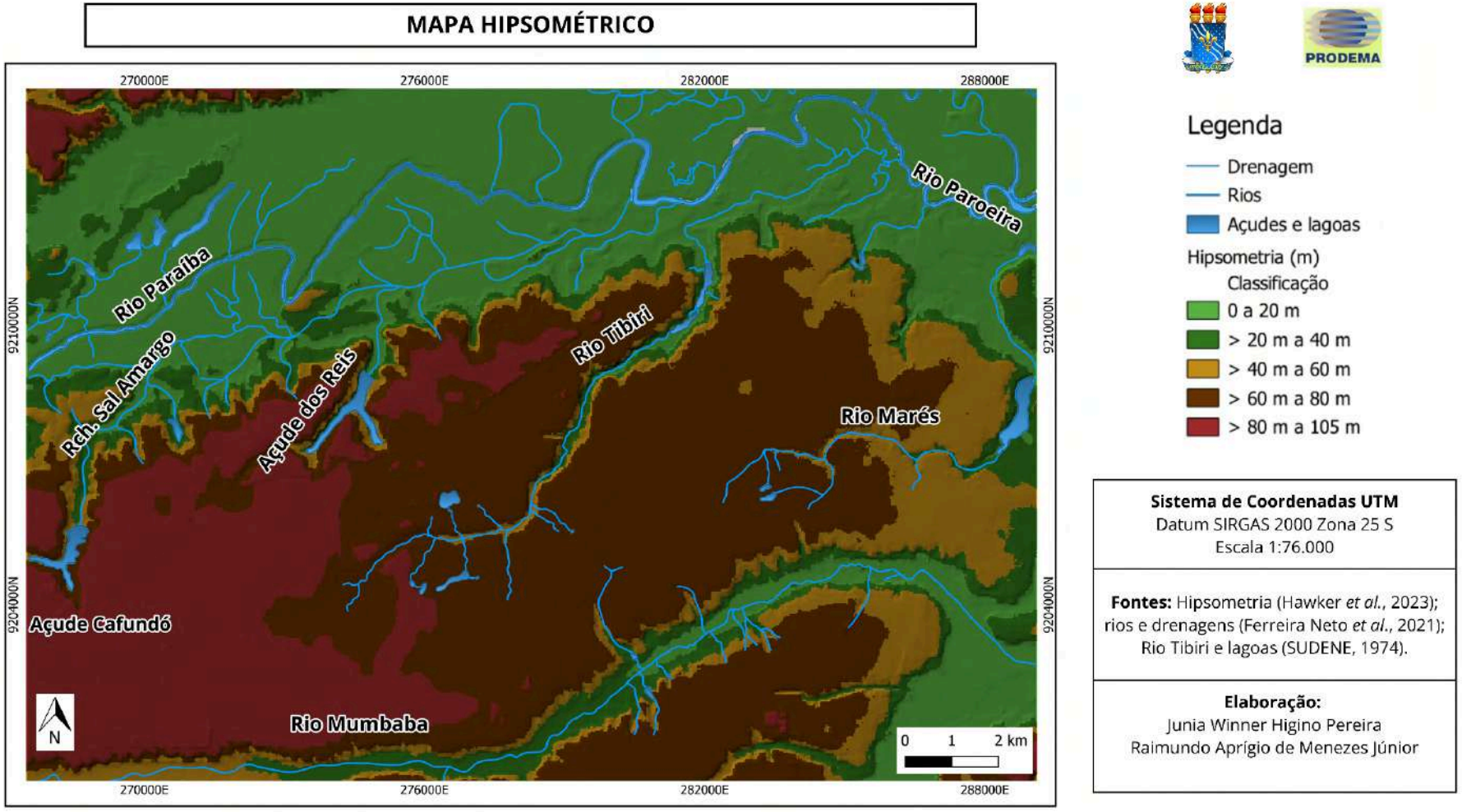
WICANDER, Reed; MONROE, James. **Geologia**. 1. ed. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2017. 464 p.

YOUNG, Hugh; FREEDMAN, Roger. **Física II** - Sears & Zemansky: termodinâmica e ondas. Colaboração: A. L. Ford. Tradução: D. Vieira. Revisão técnica: A. M. Luiz. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016a. 535 p.

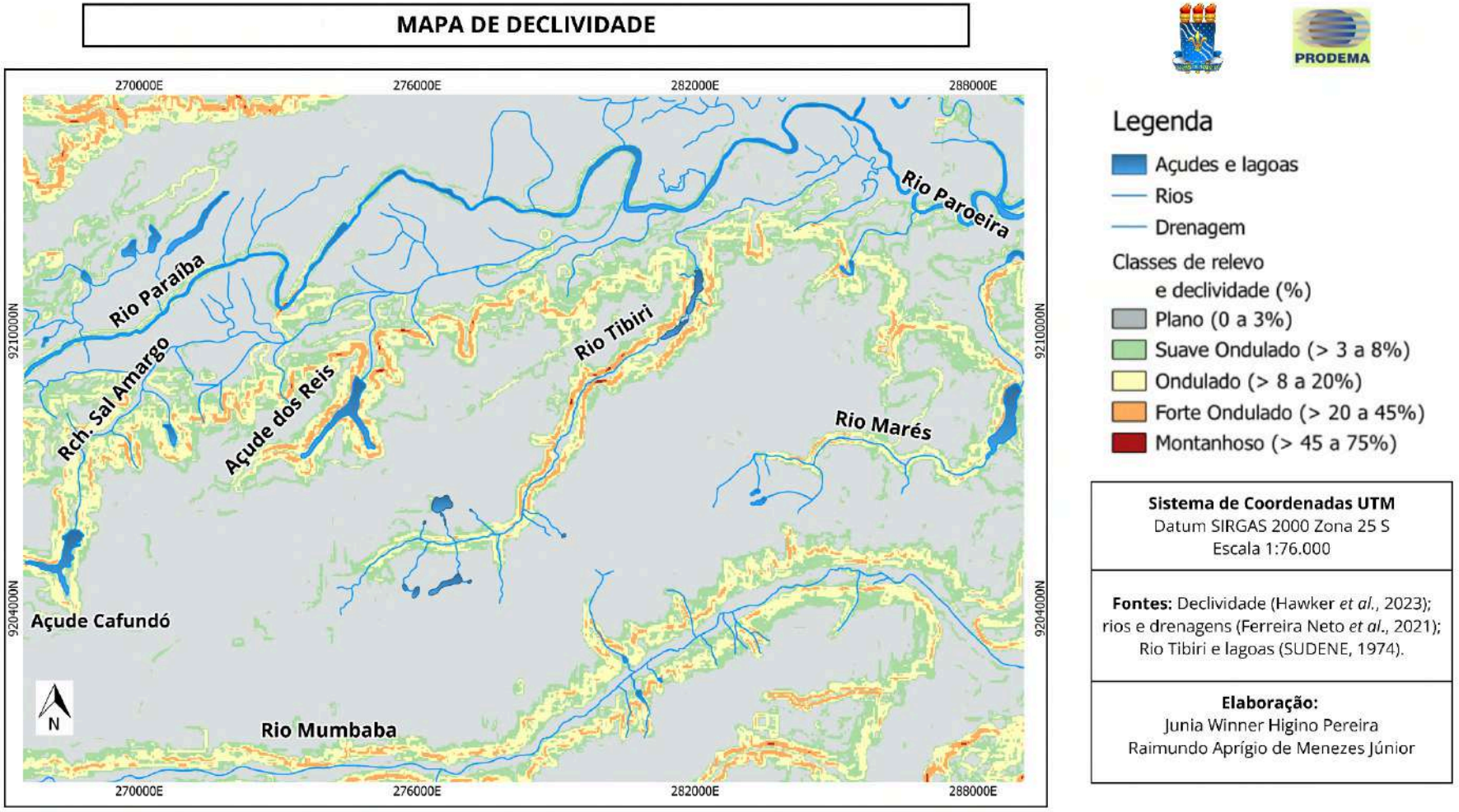
_____. **Física III** - Sears e Zemansky: eletromagnetismo. Colaboração: A. L. Ford. Tradução: D. Vieira. Revisão técnica: A. M. Luiz. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016b. 582 p.

ZANOTTA, Daniel Capella; FERREIRA, Matheus Pinheiro; ZORTEA, Maciel. **Processamento de imagens de satélite**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. 320 p.

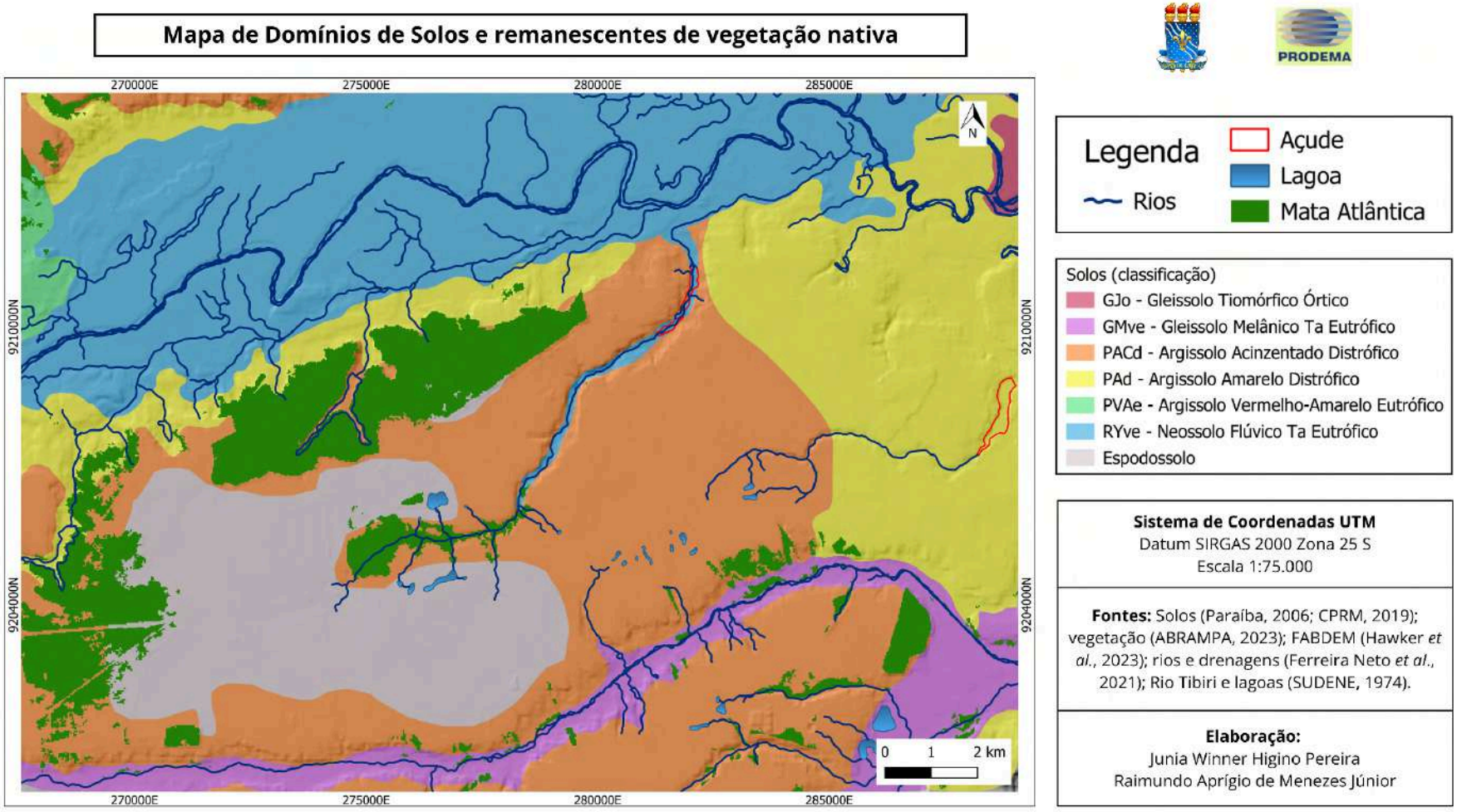
APÊNDICE A – MAPA HIPSOMÉTRICO



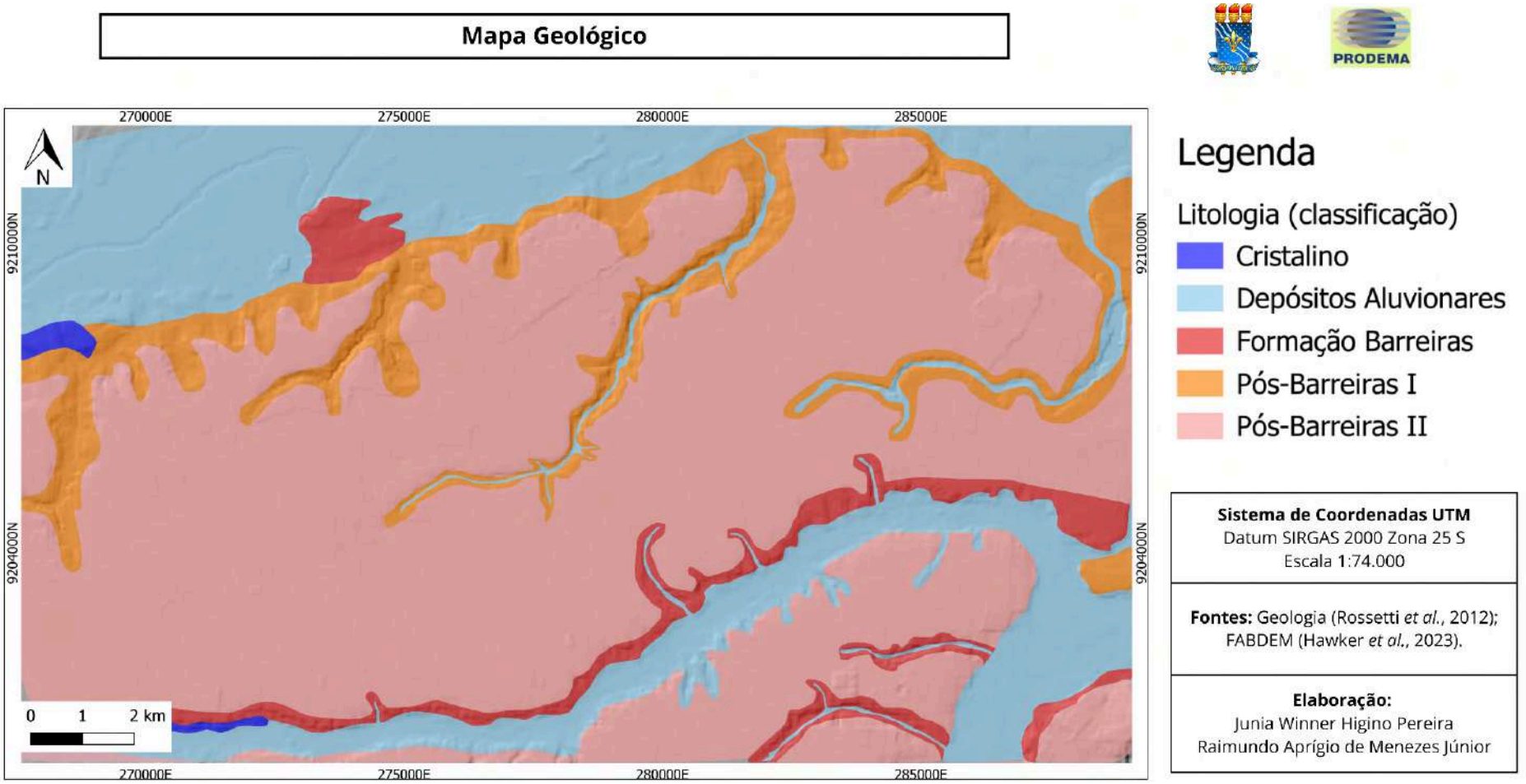
APÊNDICE B – MAPA DE DECLIVIDADE



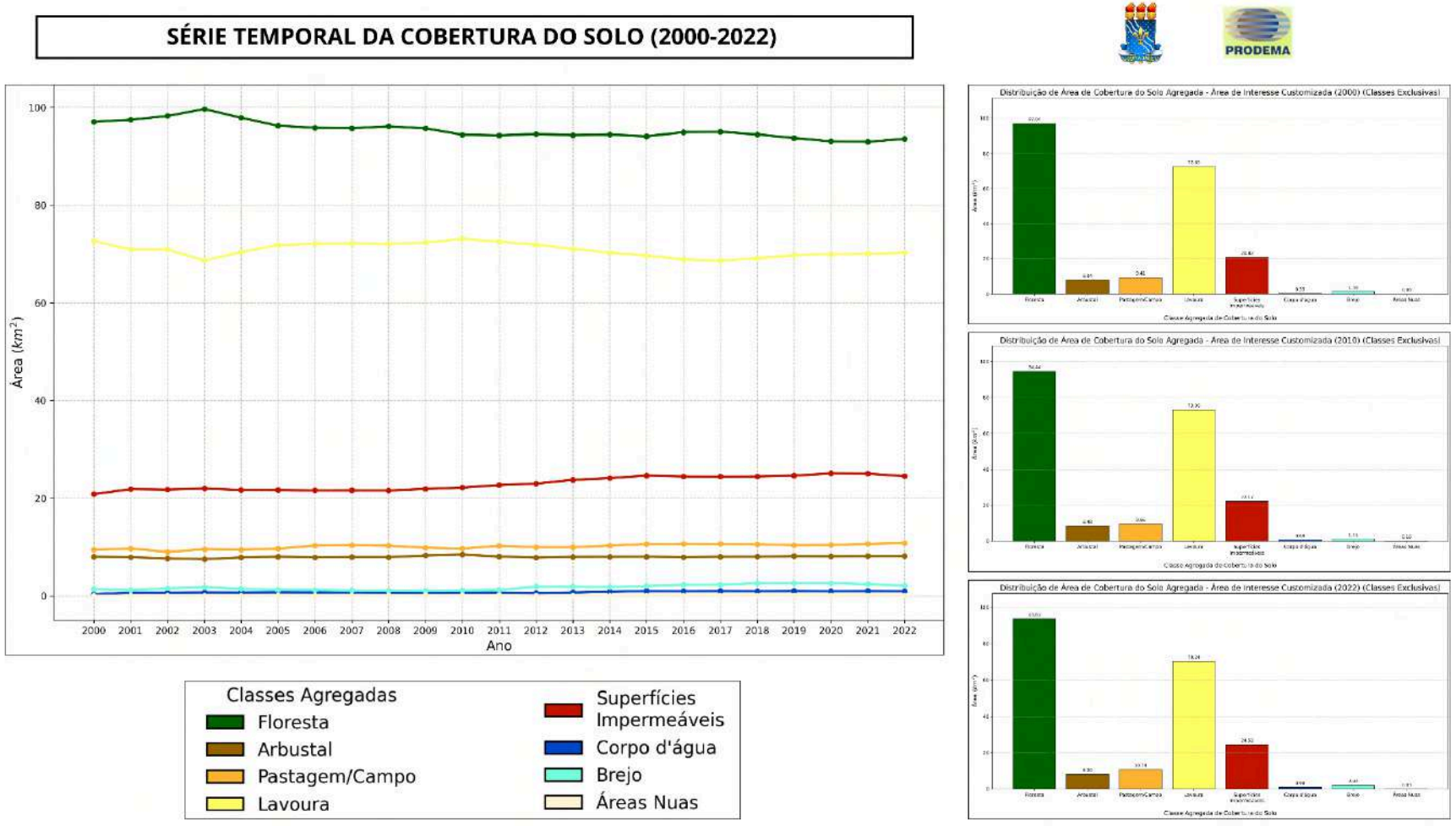
APÊNDICE C – MAPA DE DOMÍNIOS DE SOLOS E REMANESCENTES DE VEGETAÇÃO NATIVA



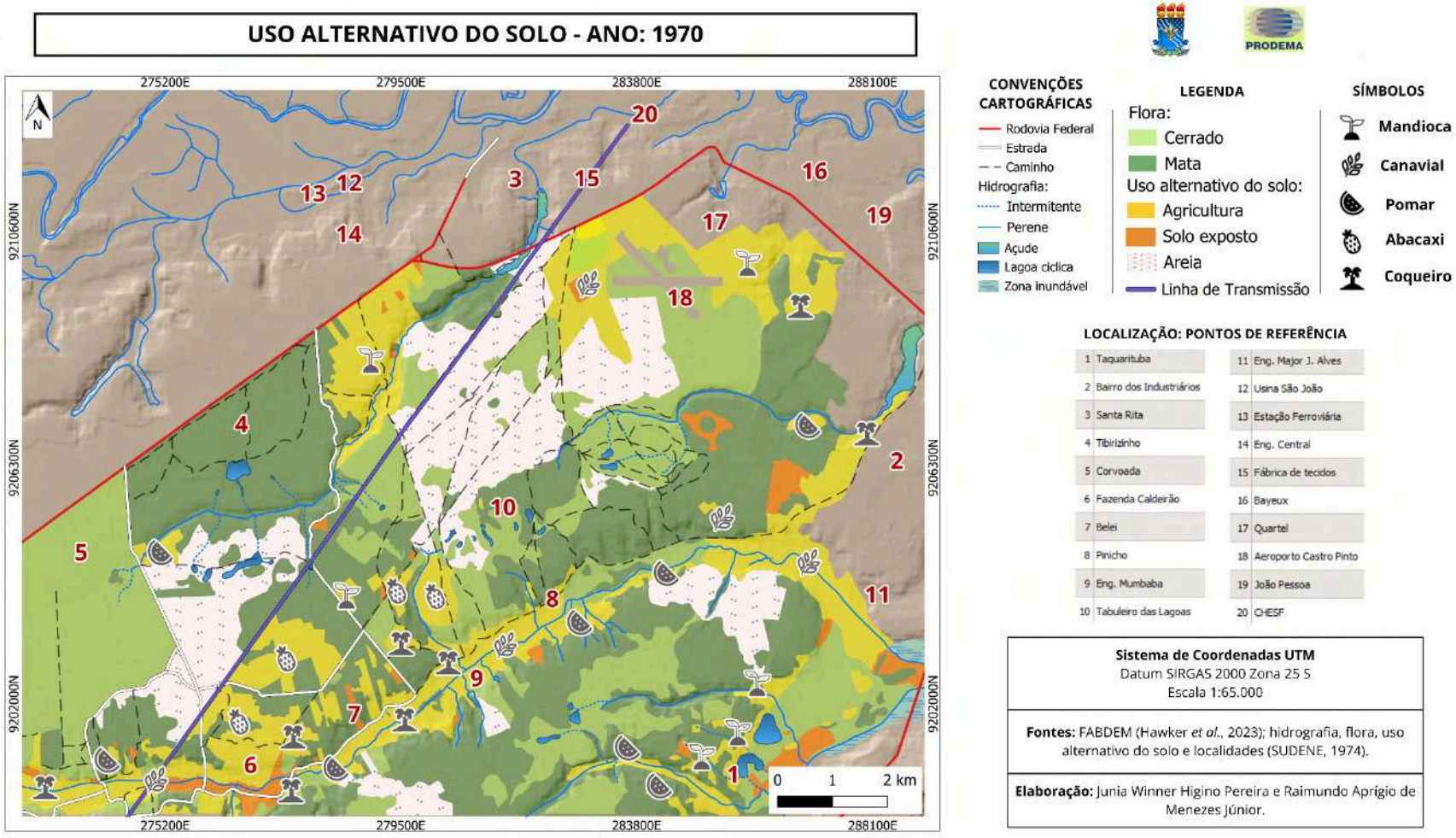
APÊNDICE D – MAPA GEOLÓGICO



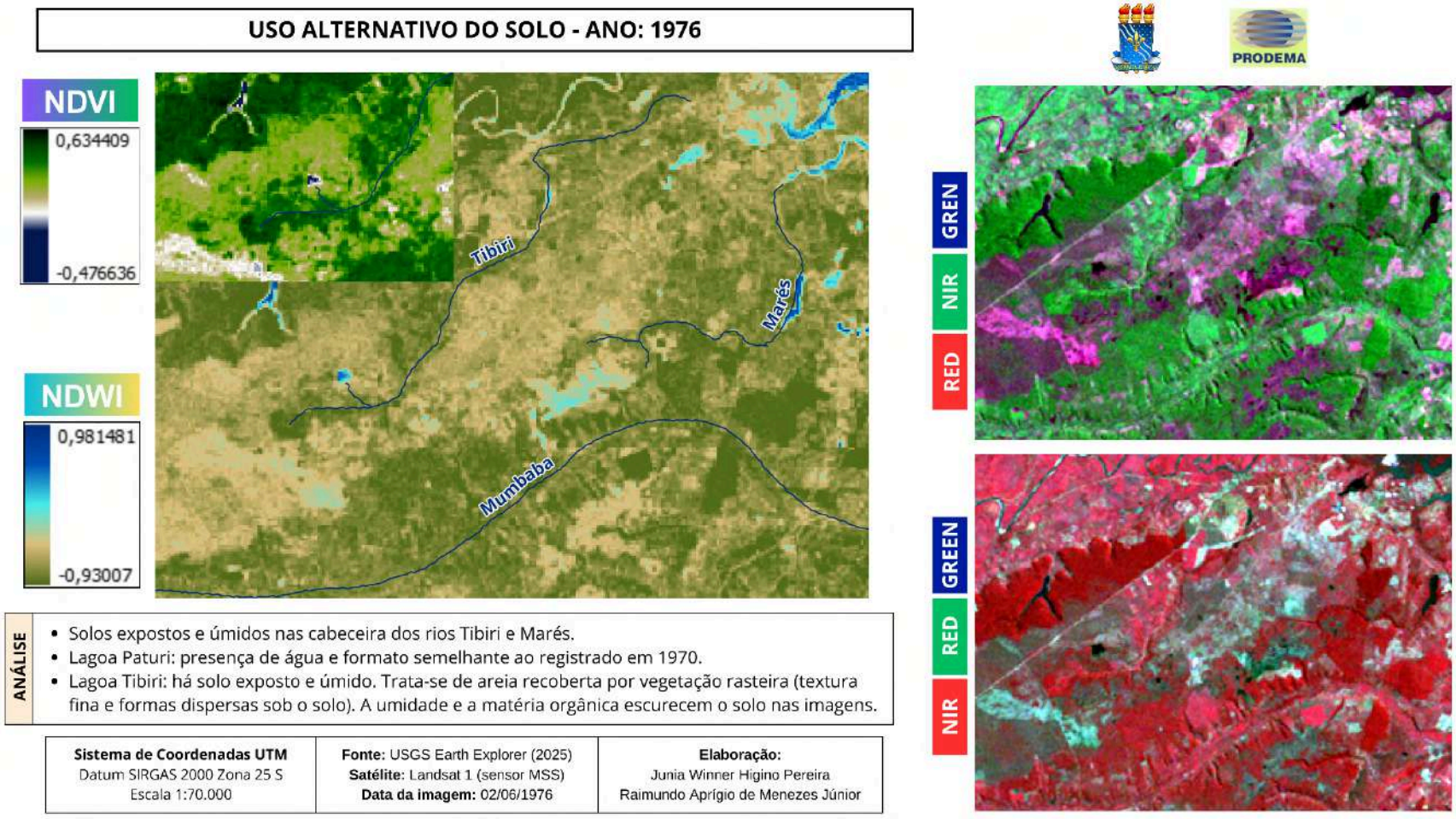
APÊNDICE E – SÉRIE TEMPORAL DA COBERTURA DO SOLO (2000-2022)



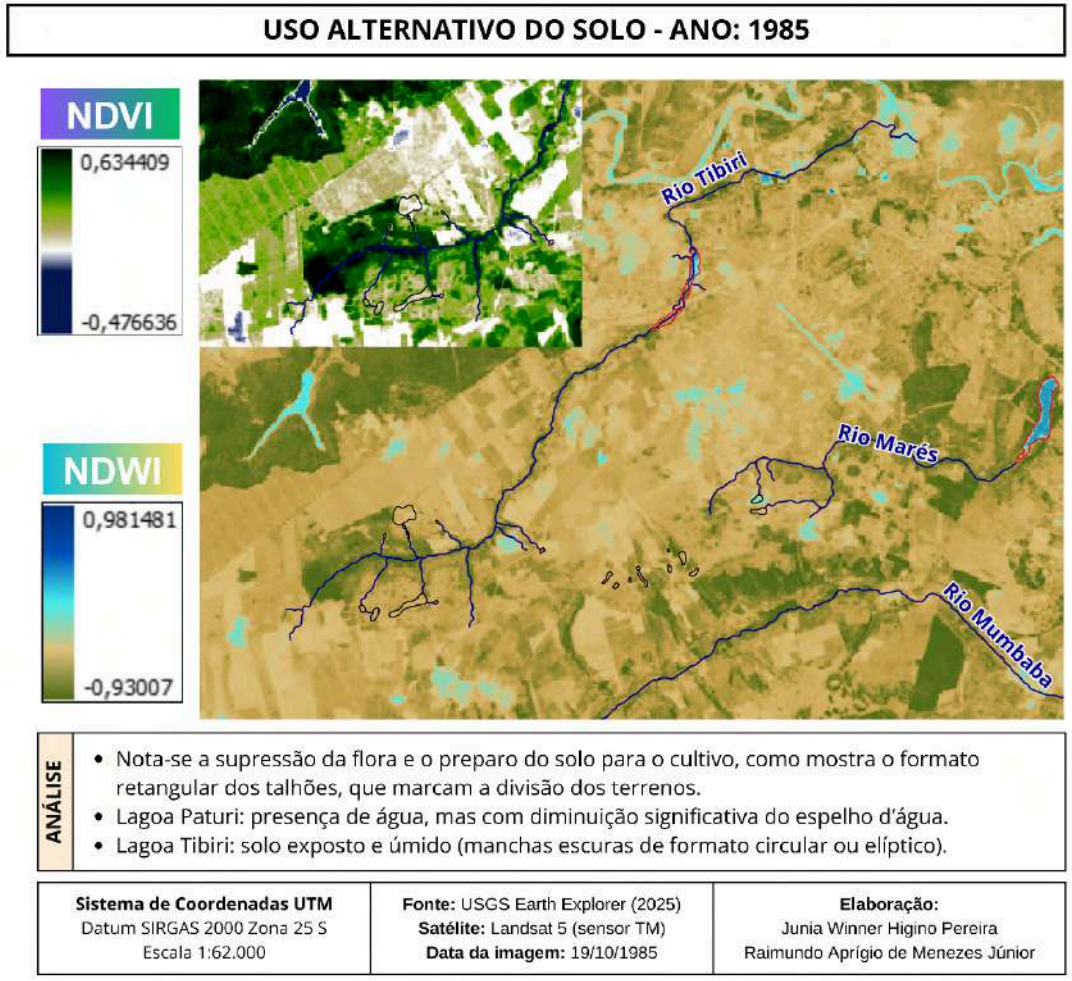
APÊNDICE F – USO ALTERNATIVO DO SOLO NO ANO DE 1970

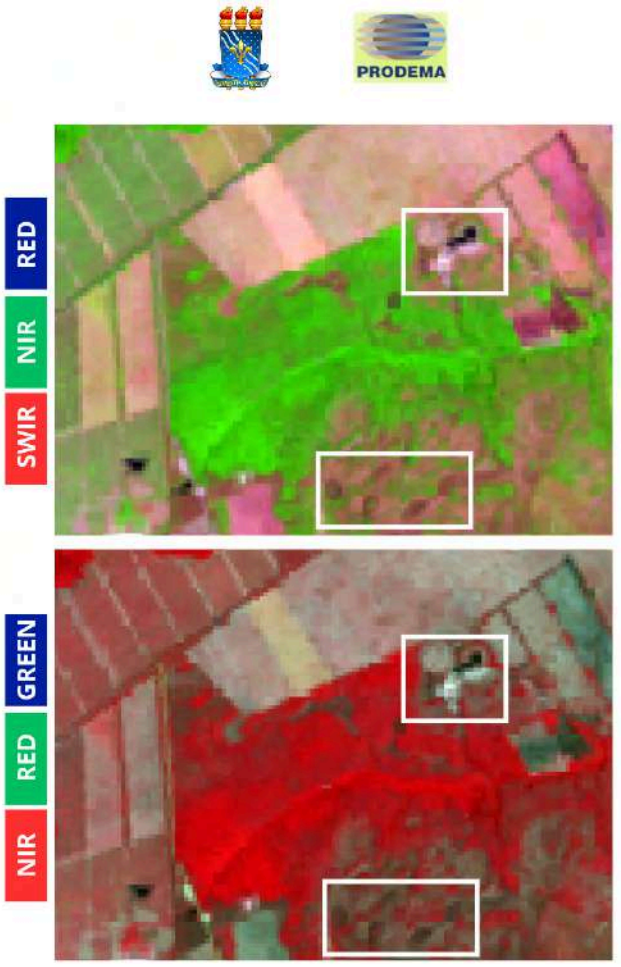


APÊNDICE G – USO ALTERNATIVO DO SOLO NO ANO DE 1976

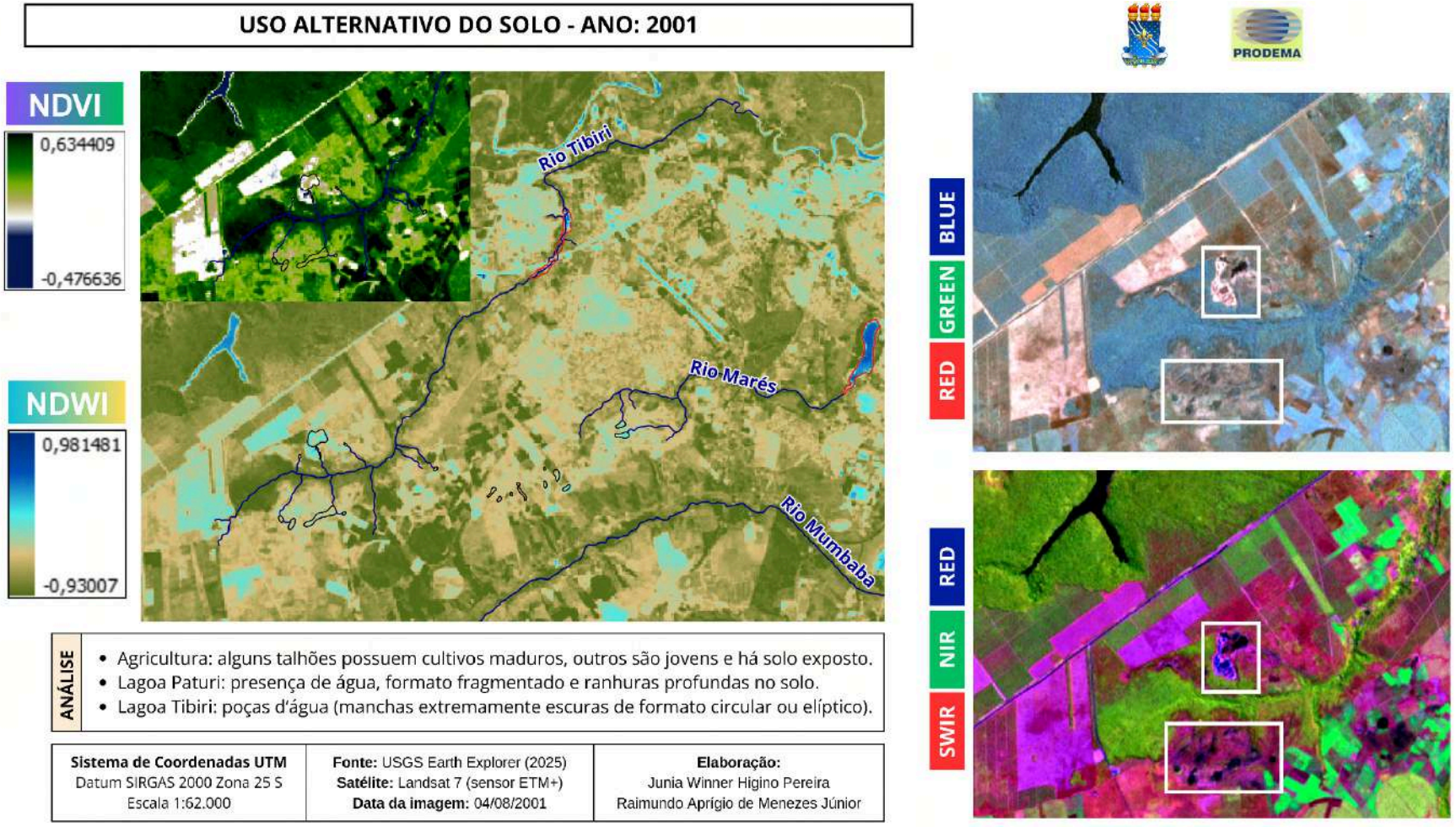


APÊNDICE H – USO ALTERNATIVO DO SOLO NO ANO DE 1985

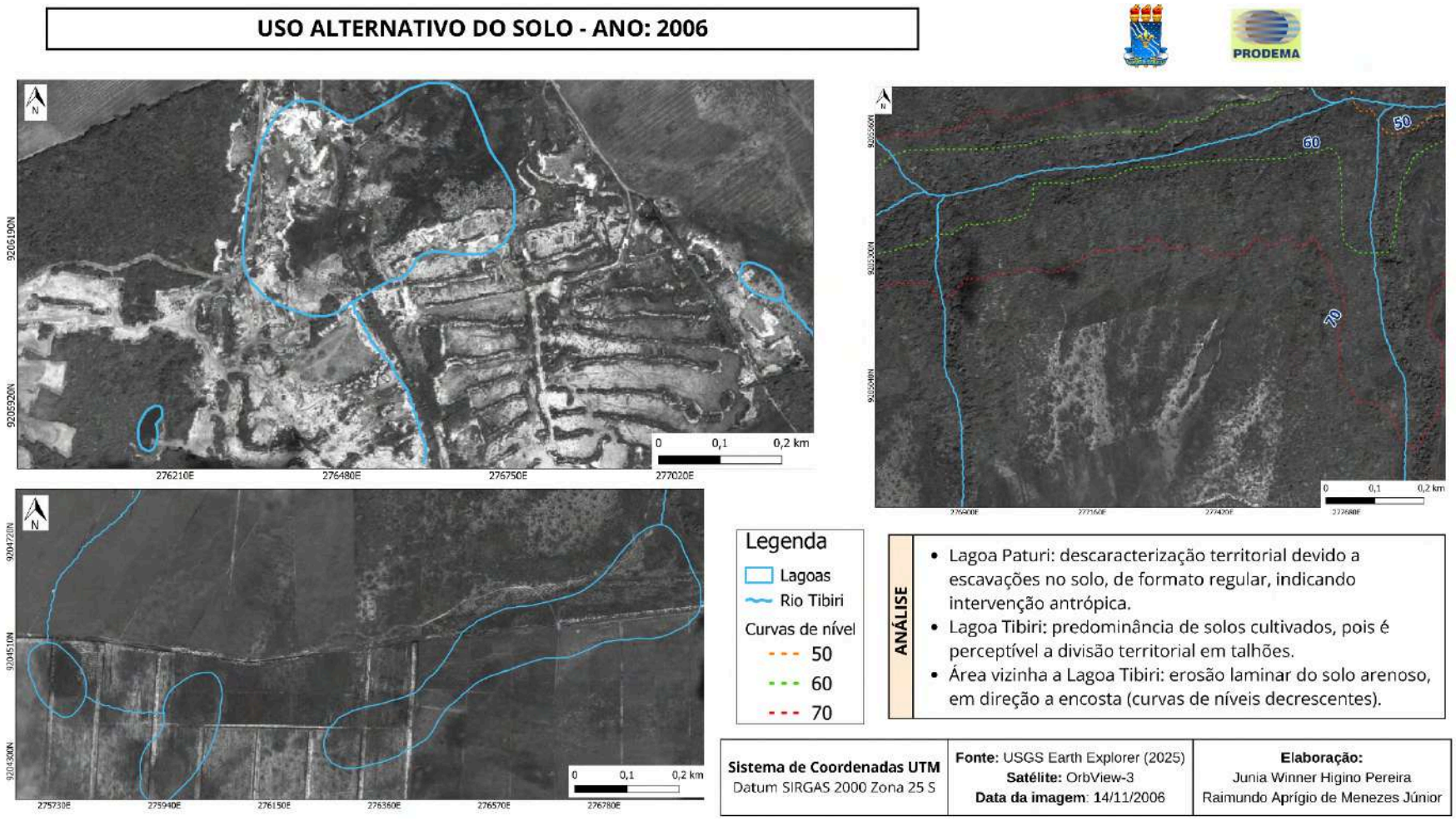




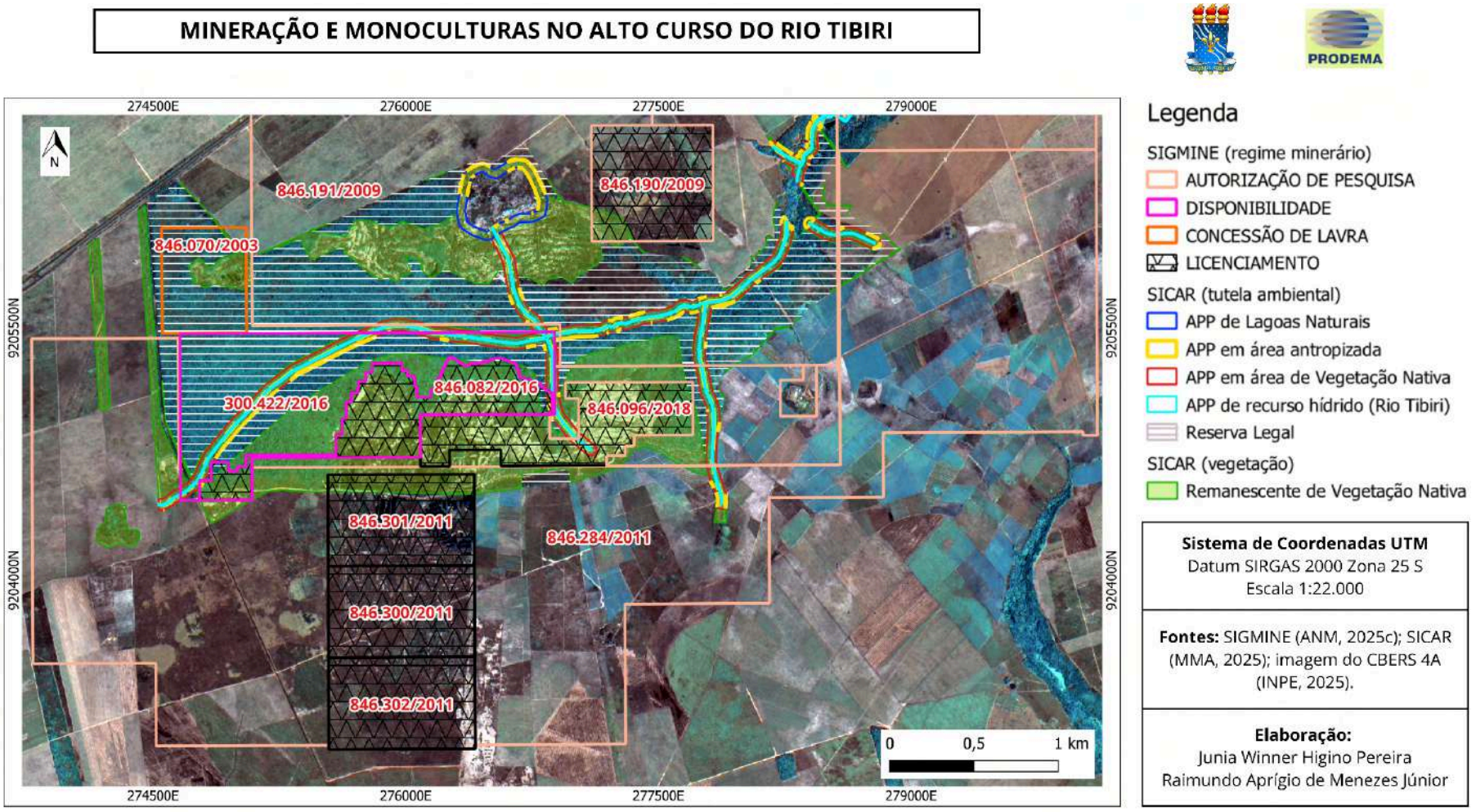
APÊNDICE I – USO ALTERNATIVO DO SOLO NO ANO DE 2001



APÊNDICE J – USO ALTERNATIVO DO SOLO NO ANO DE 2006



APÊNDICE K – MINERAÇÃO E MONOCULTURAS NO ALTO CURSO DO RIO TIBIRI



ANEXO A – EXEMPLO DE PARECER TÉCNICO AVALIADO NESTA PESQUISA

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO

PARECER TÉCNICO Nº 108/2021/SEFAM-PB/GER-PB

PROCESSO Nº **48415.846096/2018-47**
INTERESSADO: RIOEX INTER RIO COMERCIAL EXPORTADORA LTDA. CNPJ: 12.679.155/0001-85
ASSUNTO: ANÁLISE DE REQUERIMENTO DE PRORROGAÇÃO DO LICENCIAMENTO

Requerimento de Prorrogação de Registro de Licença Instruído. Prorrogar Registro de Licença até 05/07/2022.

Senhor Vladimir de Sousa Melo,

Gerente Regional Substituto da ANM/PB

Trata o presente da continuidade da análise processual, tendo em vista o pedido de prorrogação do Registro de Licença nº 509/2019, protocolizado em 03/07/2020 (1492617).

Assim, passaremos à análise do requerimento de prorrogação do título.

Em 07/11/2019 foi publicado no DOU a Autorização de Registro de Licença nº 509/2019 (0757633), autorizando a titular extrair Areia, numa área de 49,79 hectares, localizada na Fazenda Engenho Central, no município de Santa Rita/PB, com validade até 05/07/2020.

Em 03/07/2020, tempestivamente foi protocolizado o requerimento de prorrogação do título.

Da análise, verifica-se que o requerimento de prorrogação do registro de licença foi protocolizado dentro da vigência do título (05/07/2020) e está acompanhado do comprovante de pagamento dos emolumentos relativo a demais atos de averbação (1492615 e 1492616), assim como da Licença Municipal para Extração Mineral nº 005/2020 (1492611), emitida pela Prefeitura Municipal de Santa Rita/PB, através da SEMMA - Secretaria Municipal de Meio Ambiente, de 03/07/2020 e válida por dois (02) anos, elementos de instrução para prorrogação do licenciamento, nos termos do disposto no artigo 182, da Portaria nº 155/2016.

Também acompanharam o requerimento de prorrogação do licenciamento o instrumento procuração (1492613) e a Licença de Operação nº 2605/2019, emitida em 03/12/2019 e válida até 02/12/2021 (1492610).

Já consta nos autos do processo físico a Autorização da proprietária do solo (Folha 36), a empresa Companhia Usina São João, datada de 05/07/2017, autorizando a empresa Rioex - Inter Rio Comercial Exportadora Ltdal, extrair Areia em sua propriedade por tempo indeterminado.

Desta forma, observamos que foi o requerimento de prorrogação do licenciamento atendeu ao disposto no artigo 182, da Portaria nº 155/2016, podendo ser deferido.

> Art. 182. O pedido de prorrogação do registro de licença deverá ser protocolizado no DNPM, observado o disposto no art. 16, II, "i", até o último dia da vigência do título ou da prorrogação anteriormente deferida, instruído com prova do pagamento de emolumentos no valor fixado no Anexo II relativo a "demais atos de averbação".
> § 1º A nova licença municipal, autorização do proprietário do solo ou assentimento do órgão

público, conforme o caso, deverão ser apresentados ao DNPM em até 30 (trinta) dias após o último dia de vigência do título ou da prorrogação anteriormente deferida, dispensando-se quaisquer exigências por parte do DNPM, sob pena de indeferimento do pedido de prorrogação.
§ 2º Quando, nos termos do art. 18, § 4º, da Constituição Federal, ocorrer criação, incorporação, fusão ou desmembramento de municípios durante a vigência do registro de licença, deverá ser apresentada licença do novo município e dos demais, quando abrangidos pela área licenciada.
§ 3º Se expirado o prazo de qualquer documento de que trata o § 1º antes da decisão do pedido de prorrogação, o titular deverá protocolizar, em até 30 (trinta) dias contados do vencimento do mesmo, novo documento, dispensando-se quaisquer exigências por parte do DNPM, sob pena de indeferimento do pedido de prorrogação.

Assim, considerando que o prazo de validade do Registro de Licença, com previsão dada pelo artigo 185 da Portaria nº 155/2016, será limitado ao menor prazo de validade fixado pela licença municipal ou autorização do proprietário do solo e computado da data do vencimento do título anterior. E vez que o prazo da Autorização do proprietário do solo é indeterminado, o prazo da prorrogação do título, será definido pelo prazo da Licença Municipal nº 005/2020, válida por dois (02) anos, ou seja, o título será prorrogado até 05/07/2022.

Art. 185. Deferido o pedido, o prazo da prorrogação do registro de licença será limitado ao menor prazo de validade dentre aqueles previstos na licença específica expedida pelo município, na autorização do proprietário do solo ou no assentimento da pessoa jurídica de direito público e computado da data do vencimento do título anterior.

Em atenção ao disposto no artigo art. 2º, III, da Portaria nº 439/2003 c/c o artigo 183, § 2º da Portaria nº 155/2016, informamos que, nesta data, foi efetuada consulta no cadastro de inadimplentes e a situação atual do titular junto ao CADIM é que a empresa não possui inscrição no Cadastro Informativo de Créditos Não Quitados do Setor Público - CADIN perante este Órgão, relativos a este processo. Portanto, o pedido de prorrogação está devidamente instruído e com isso julgado apto ao deferimento.

Assim, encaminho presente processo submetendo o **Despacho nº 65567/SEFAM-PB/ANM/2021** (2548809), à apreciação, eventual assinatura e publicação no DOU, visando autorizar a prorrogação do Registro de Licença solicitada, até 05/07/2022.

Proponho ainda que após a publicação no DOU, sejam efetuadas as devidas anotações em livro próprio.

José Venes Batista Teixeira

Especialista em Recursos Minerais

Documento assinado eletronicamente por **José Venes Batista Teixeira**, **Especialista em Recursos Minerais (art. 1º da Lei 11.046/2004)**, em 25/05/2021, às 15:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 1º, do art. 6º, do Decreto nº8.539/2015.

Fonte: ANM (2025e).