

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CURSO DE GEOLOGIA**

**ANÁLISE TEMPORAL DA ESTABILIDADE DAS MARGENS E ÁREA DE
PRESERVAÇÃO PERMANENTE NO RIO JACUÍ, RIO PARDO, RS: O CASO DA
MINERAÇÃO DE AREIA**

THALES HERZOG LEIPNITZ

**Caçapava do Sul
2023**

THALES HERZOG LEIPNITZ

**ANÁLISE TEMPORAL DA ESTABILIDADE DAS MARGENS E ÁREA DE
PRESERVAÇÃO PERMANENTE NO RIO JACUÍ, RIO PARDO, RS: O CASO DA
MINERAÇÃO DE AREIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Geologia da Universidade Federal
do Pampa como requisito parcial para obtenção
do Título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Fontoura
Hansen

Coorientador: Prof. Dr. José Pedro Rebes Lima

**Caçapava do Sul
2023**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

L365a Leipzig, Thales Herzog

Análise temporal da estabilidade das margens e áreas
de preservação permanente no rio Jacuí, Rio Pardo, RS:
O caso da mineração de areia / Thales Herzog Leipzig.
72 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)--
Universidade Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2023.
"Orientação: Marco Antonio Fontoura Hansen".

1. SIG. 2. Erosão marginal. 3. APP. 4. Extração de
areia. 5. Meio ambiente. I. Título.

THALES HERZOG LEIPNITZ

THALES HERZOG LEIPNITZ

ANÁLISE TEMPORAL DA ESTABILIDADE DAS MARGENS E ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NO RIO JACUÍ, RIO PARDO, RS: O CASO DA MINERAÇÃO DE AREIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Geologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 14 de dezembro de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Marco Antônio Fontoura Hansen
Orientador

Universidade Federal do Pampa

Geofísico Lenon Melo Ilha

Universidade Federal do Pampa

Geólogo Guilherme Madrid Pereira

Universidade Federal do Pampa



Assinado eletronicamente por **LENON MELO ILHA, Técnico de Laboratório Área**, em 20/12/2023, às 09:18, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MARCO ANTONIO FONTOURA HANSEN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/12/2023, às 11:52, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1336153** e o código CRC **68BE6AA8**.

Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

Dedico este trabalho a instituição de ensino
UNIPAMPA

AGRADECIMENTO

Ao Prof. Dr. Marco Hansen pelos ensinamentos ao longo dessa jornada.

Aos meus pais e amigos pelo apoio em todas as minhas etapas de vida.

“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros
de gigantes”.

Isaac Newton

RESUMO

A utilização de imagens de satélite para resolução de problemas que envolvem o meio físico terrestre, principalmente ligado aos impactos visuais, é amplamente empregada em diversas áreas do conhecimento (Ciências Exatas e da Terra, Agrárias, Biológicas etc.). Na esfera ambiental, serve como instrumento de fiscalização de empreendimentos extrativistas, tais como: mineração, agricultura, etc. Sobretudo por ser uma ferramenta indireta de fácil acesso e baixo custo, se comparado a métodos diretos de campo. Em mineradoras, os impactos causados pela exploração de recursos são tão evidentes quanto a sua importância no avanço tecnológico global. Na extração de areia em leitos de rios esse conflito socioambiental também ocorre, sendo necessário uma intensa fiscalização para a conservação dos recursos naturais. Nesses casos, são conhecidos diversos impactos ambientais, sendo os de maior relevância a instabilidade das margens do rio e a Área de Preservação Permanente – APP, levando a sérias consequências prejudiciais, como: a perda de áreas produtivas e da biodiversidade local, fuga da fauna, assoreamento dos corpos hídricos, dentre outros. A área de estudo está localizada no curso médio do rio Jacuí, no município de Rio Pardo, Rio Grande do Sul, tendo como órgão fiscalizador a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler – FEPAM, órgão responsável pelos licenciamentos ambientais no RS. Este trabalho consiste na análise espacial por imagens orbitais, utilizando *softwares* e satélites específicos, como forma de comparativo temporal das modificações marginais e nas APP do rio. Com o suporte de dados diretos: medições com turbidímetro portátil das águas a montante e a jusante das áreas de extração de areia, buscas das verdades de campo, e coleta de imagens em campo das áreas pré-definidas como de maior impacto pela análise realizada por Sensoriamento Remoto; e indiretos: imagens orbitais comparativas, e o zoneamento para atividade da extração de areia no rio Jacuí, realizado pela FEPAM. Propondo a geração de uma matriz de impacto simplificada das áreas impactadas para confecção de dois mapas temáticos semi-qualitativo, leste e oeste, da estabilidade das encostas e zoneamento das APP. Por fim, com a integração desses dados, elucidar os prováveis impactos da extração de areia na intensificação das taxas de erosão marginal e as APP, ressaltando a importância do entendimento dos processos naturais da dinâmica e erosão fluvial nesses estudos de impacto. Servindo como suporte de dados a trabalhos futuros inseridos neste contexto.

Palavras-chave: SIG; erosão marginal; APP; extração de areia; meio ambiente.

ABSTRACT

The use of satellite imagery for problem-solving related to the Earth's physical environment, especially regarding visual impacts, is widely employed in various fields of knowledge (Exact and Earth Sciences, Agricultural, Biological etc.). In the environmental sphere, it serves as a tool for monitoring extractive activities such as mining, agriculture, livestock, forestry, etc. Especially due to being an indirect and cost-effective method compared to direct field methods. In mining companies, the impacts caused by resource extraction are as evident as their importance in global technological advancement. The extraction of sand from riverbeds also faces socio-environmental conflicts, requiring intensive monitoring for the conservation of natural resources. In these cases, various environmental impacts are known, with the most relevant ones being the instability of river banks and Permanent Preservation Areas, leading to serious harmful consequences such as the loss of productive areas and local biodiversity, fauna displacement, and siltation of water bodies, among others. The study area is located in the middle course of the Jacuí River, in the municipality of Rio Pardo, Rio Grande do Sul, with the State Foundation for Environmental Protection Henrique Luis Roessler being the supervisory body responsible for environmental licensing in RS. This work consists of spatial analysis using orbital images, specific software, and satellites as a temporal comparison of marginal modifications and Permanent Preservation Areas along the river. Supported by direct data: measurements with a portable turbidimeter of the upstream and downstream waters of the sand extraction areas, search for field truths, image recording and photographic documentation of pre-defined areas with the highest impact identified by Remote Sensing analysis; and indirect data: comparative orbital images, and the Zoning for sand extraction activity conducted by State Foundation for Environmental Protection Henrique Luis Roessler, and satellite images with specific band. Proposes to generate a simplified impact matrix for the creation of two semi-qualitative thematic maps, east and west, of the slope stability and Permanent Preservation Areas zoning. Ultimately, by integrating these data, the study aims to elucidate the likely impacts of sand extraction on the intensification of marginal erosion rates and Permanent Preservation Areas, highlighting the importance of understanding the natural processes of river dynamics and erosion in these impact studies. It serves as a data support for future research within this context.

Keywords: GIS; marginal erosion; Permanent Preservation Areas; sand extraction; environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do município de Rio Pardo	19
Figura 2 – Mapa geológico	23
Figura 3 – Localização dos balneários, barragem e praias do rio Jacuí	25
Figura 4 – Exemplificação da mudança da resolução espacial e radiométrica na nitidez da imagem por diferentes satélites	29
Figura 5 – Desenvolvimento de um curso hídrico de montante (Zona de cabeceira) para jusante (Zona de estuário).....	30
Figura 5 – Planícies de inundação	31
Figura 6 – Exemplificação dos processos de erosões que ocorrem em épocas de enchente e estiagem nos rios.	32
Figura 7 – Fluxograma simplificado das etapas decisivas para o planejamento de recuperação da vegetação ciliar em solos degradados e não degradados	35
Figura 8 – Draga alcatruz em carregamento de barco tipo “chata”	38
Figura 9 – Draga de sucção autopropulsada em atividade	38
Figura 10 – Exemplo simplificado do processo de solapamento das margens pela dragagem.....	39
Figura 11 – Faixa de APP em função da largura do rio	42
Figura 12 – Faixa de APP em função da largura de lagos/lagoas, em zona rural ou urbana... ..	43
Figura 13 – Imagens de satélite da área 1	51
Figura 14 – Imagens de satélite da área 2.....	52
Figura 15 – Imagens de satélite da área 3.....	54
Figura 16 – Imagens de satélite da área 4.....	55
Figura 17 – Imagens de satélite da área 5.....	57
Figura 18 – Imagens de satélite da área 6.....	58
Figura 19 – Fotografia da área 6 registrada pela FEPAM 2021	59
Figura 20 – Imagens de satélite da área 7.....	60
Figura 21 – Mapas de Estabilidade das encostas e Áreas de Preservação Permanente: Setor oeste.....	64
Figura 22 – Mapas de Estabilidade das encostas e Áreas de Preservação Permanente: Setor Leste	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficientes de tensão crítica do material da margem em função da porcentagem da área marginal coberta por vegetação	34
Tabela 2 – Matriz de impactos simplificada	48
Tabela 3 – Equação da taxa de perda relativa das margens.	48
Tabela 4 – Matriz de impactos simplificada da área 1	52
Tabela 5 – Matriz de impactos simplificada da área 2	53
Tabela 6 – Matriz de impactos simplificada da área 3	55
Tabela 7 – Matriz de impactos simplificada da área 4	56
Tabela 8 – Matriz de impactos simplificada da área 5	57
Tabela 9 – Matriz de impactos simplificada da área 6	59
Tabela 10 – Matriz de impactos simplificada da área 7	61

LISTA DE ABREVIATURAS

n. – número

p. – página

f. – folha

cap. – capítulo

v. – volume

org. – organizador

coord. – coordenador

col. – colaborador

zon. – zoneamento

LISTA DE SIGLAS

AIA – Avaliação de Impactos Ambientais

ANM – Agência Nacional de Mineração

APP – Áreas de Preservação Permanente

APTA – Associação de Pesquisas e Técnicas Ambientais

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler

FZB – Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SIGMINE – Sistema de Informações Geográficas da Mineração

SISEPRA – Sistema Estadual de Proteção Ambiental

Smarja – Mineradores de Areia do Rio Jacuí LTDA

Somar – Sociedade Mineradora Ltda.

TRF4 – Tribunal Regional Federal da 4ª Região

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Geral	16
2.2 Específicos	16
3 JUSTIFICATIVA.....	17
4 ÁREA DE ESTUDO	19
4.1 Contexto geológico regional	20
4.2 Contexto geológico local.....	21
4.3 Uso e ocupação do solo.....	24
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
5.1 Histórico.....	26
5.2 Sensoriamento Remoto – Propriedades das imagens orbitais	27
5.3 Aplicações ambientais do Sensoriamento Remoto.....	29
5.4 Erosão Fluvial	30
5.5 Estabilidade das margens e o papel da mata ciliar	33
5.6 Noções básicas de sistemática em geomática para estudos ambientais.....	36
5.7 Aspectos ambientais da mineração de areia	37
5.7.1 Erosão marginal.....	38
5.7.2 Supressão vegetal da mata ciliar (APP)	40
5.8 Contextualização da mineração de areia no rio Jacuí.....	40
5.8.1 Aspectos Legais: legislação ambiental e código florestal	40
5.8.2 Diretrizes ambientais gerais para mineração pela FEPAM	44
5.8.3 Áreas impróprias para a Mineração pela FEPAM.....	45
6 MATERIAIS E MÉTODOS	46
6.1 Aquisição do banco de dados	46
6.2 Análise e interpretação	47
6.3 Integração do mapa e geração dos dados	49
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
7.1 Áreas impactadas	50
7.1.1 Área 1	51
7.1.2 Área 2.....	52
7.1.3 Área 3	53
7.1.4 Área 4	55
7.1.5 Área 5	56

7.1.6 Área 6	58
7.1.7 Área 7	60
7.2 Mapas temáticos	62
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
9 REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais causados pela mineração são tão evidentes quanto a sua importância no avanço tecnológico global. Na história do homem a influência dos recursos naturais é ainda mais relevante, onde as próprias idades são separadas de acordo com a relevância do metal, ou liga metálica, pelo homem naquele período (Idade do cobre, bronze, e do ferro). Essa dependência fez com que o homem, com a percepção da escassez desses recursos finitos ao longo dos anos, passasse a olhar a natureza de outra forma. Onde sua sobrevivência estava inteiramente interligada ao controle sustentável dos recursos naturais.

O termo areia é designado para identificar material granular, de tamanho entre 2 mm a 0,062 mm, de composição silicática e predominância do mineral quartzo. Proveniente de diversos processos intempéricos e erosivos em diferentes ambientes geológicos. Sendo sua extração preferencialmente viável em locais próximos, devido ao alto custo de transporte e baixo valor agregado. Onde sua escassez só ocorre regionalmente, pela alta dependência das grandes metrópoles deste recurso mineral, onde sua demanda é conseqüentemente alta (ANM, 2023). Desse modo, as hidrovias, como a maneira mais barata de transporte, são formas logística e economicamente viáveis de suprir a demanda desse bem mineral no cenário de expansão urbana brasileira.

A Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), tal como a Resolução CONAMA 01/86, classificam a atividade de mineração como potencial modificadora do meio ambiente (CONAMA, 1986). Portanto, sendo necessárias a Avaliação de Impactos Ambientais – AIA dos empreendimentos enquadrados como exploratórios. Sendo essa a principal ferramenta no controle e diagnóstico de magnitude dos impactos da atividade minerária, assim como suas medidas compensatórias.

Na mineração de areia em cursos hídricos esta realidade não é diferente. Segundo Vieira e Rezende (2015), a atividade de extração de areia gera diversos impactos negativos, tais como: instabilidade da faixa marginal, desmatamento de Áreas de Preservação Permanente – APP, alteração do curso do rio, assoreamentos, ruídos na operação de dragas, compactação do solo pelo maquinário utilizado, fuga da fauna e ictiofauna pela poluição sonora e contaminação das águas por uso de combustíveis fósseis.

A estabilidade das margens depende de vários fatores naturais e antrópicos, que vão desde processos naturais da dinâmica fluvial do rio, até o manejo impróprio do uso do solo e das águas, que aceleram sua taxa de erosão, acarretando inúmeros impactos ambientais. A

perda da mata ciliar é um dos impactos ambientais de maior relevância e causalidade nesse contexto, na qual está intimamente relacionada.

As APPs cumprem diversos papéis fundamentais na preservação do ecossistema de uma região, e nesse sentido, sua conservação deve ser vista como um fator indispensável para que a extração mineral seja economicamente viável e ecologicamente sustentável. São responsáveis pelos corredores ecológicos de diversas formas de vida; na estabilidade das margens do rio; na longevidade dos mananciais; dentre outros fatores ambientais. Do ponto de vista econômico, os rios têm enorme relevância no desenvolvimento urbano, tais como: hidrovias, mineração, pecuária, fonte de água para a agricultura, lazer, turismo etc. Os rios, como corpos hídricos dinâmicos, respondem rapidamente a essas mudanças externas, sendo passíveis de monitoramento. Entretanto, caso negligenciados, tornando-se muitas vezes de difícil recuperação, ou até mesmo irreversíveis.

Neste trabalho, a área de estudo é toda extensão do rio Jacuí no limite municipal de Rio Pardo, o qual está localizado na região central da Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí, na Depressão Central do Rio Grande do Sul. Com vários processos ativos de extração de areia no rio, além de intensa captação das águas para uso na agricultura, principalmente na cultura do arroz e soja, e áreas de pastagens para pecuária, todas em proximidade de APPs. Sua fiscalização fica a cargo da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler – FEPAM, atuando como órgão técnico do Sistema Estadual de Proteção Ambiental – SISEPRA.

O emprego de imagens orbitais e recursos SIG para resolução de problemas que envolvem o meio físico terrestre, principalmente ligados aos impactos visuais, são amplamente empregados em diversas áreas do conhecimento (Ciências Exatas e da Terra, Agrárias, Biológicas etc.). Na esfera ambiental, serve como instrumento de fiscalização de empreendimentos extrativistas, tais como: mineração, agricultura, pecuária, silvicultura etc. Sobretudo por ser uma ferramenta indireta, de fácil acesso e baixo custo, se comparado a métodos tradicionais de campo. Na extração de areia em leitos de rios esse tipo de supervisão é um desafio para os profissionais, visto a necessidade de atualização constante às novas tecnologias de monitoramento. A necessidade de vistorias, as quais muitas vezes onerosas, são beneficiadas com uso desta ferramenta, auxiliando no planejamento dos recursos disponíveis e no controle da taxa de erosão marginal.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Realizar uma análise temporal da estabilidade das margens e da APP, com ênfase nos impactos da extração de areia no curso Médio do Rio Jacuí, no município de Rio Pardo, estado do Rio Grande do Sul.

2.2 Específicos

- Levantar os aspectos legais e ambientais decorrentes da mineração de areia em cursos d'água e seus indicadores de impacto;
- Definir e delimitar áreas de maior impacto com o auxílio de um programa SIG e revisões bibliográficas;
- Gerar uma matriz simplificada dos indicadores de impacto; e,
- Gerar mapa temático semi-qualitativo de estabilidade das encostas e zoneamento ambiental da APP do rio Jacuí no município de Rio Pardo.

3 JUSTIFICATIVA

Ligado ao aumento da demanda do Estado por areia nos últimos anos, estão os esforços populares e governamentais para a ampliação das fiscalizações desses impactos em decorrência de conflitos sobre a extração de areia no rio Jacuí. Em 2006, foi movida uma ação civil pública (nº 5025100-41.2013.404.7100), iniciada pela Associação de Pesquisas e Técnicas Ambientais – APTA contra a FEPAM, ao antigo DNPM (atualmente Agência Nacional de Mineração – ANM), a União e as empresas Aro Mineração, Sociedade dos Mineradores de Areia do Rio Jacuí Ltda – Smarja e Sociedade Mineradora Ltda. – Somar. Requerendo a anulação de licenças, revogação dos direitos minerários e a aplicação de multa aos réus em ações que tramitam perante o Tribunal Regional Federal da 4ª Região – TRF4. Suspendendo as atividades de mineração de areia no rio Jacuí pelas empresas, entendendo que elas causavam impactos ambientais irreversíveis no rio (erosão das encostas, agressão às ilhas e destruição da mata ciliar), sendo condenadas em janeiro de 2008 (TRF4, 2022).

Essa mesma ação condenou a FEPAM, obrigou-a a elaborar um zoneamento ambiental para atividade de mineração de areia nos cursos médio e baixo do rio Jacuí. Além de apurar os dois anos de impactos ambientais causados pelas empresas, e as devidas compensações de reparações ambientais cabíveis.

Diversas ações e processos similares foram realizados ao longo dos anos pela extração irregular de areia ao longo do rio Jacuí, principalmente ligadas à extração clandestina, com a intenção de pressionar o poder público, e os órgãos responsáveis, na adoção de medidas e na intensificação das fiscalizações da mineração no rio e delta do Jacuí. Levando à escassez deste bem mineral em vários setores do estado nesse período, principalmente os ligados ao ramo de agregados para construção civil.

Nesses trabalhos, o foco é usualmente dirigido para uma compreensão macro dos impactos da mineração no rio Jacuí. Entretanto, tendo em vista a grande extensão do rio, com seu comprimento de aproximadamente 860 km (SEMA, 2023), gera, como consequência da escala trabalhada, uma abrangência muito grande de informações regionalizadas. Pormenorizando os aspectos inerentes de cada área, principalmente as mais distantes do polo econômico da mineração de areia do RS, próximo à região metropolitana de Porto Alegre. Dessa maneira, sendo indispensável a realização de estudos com critérios locais e áreas menos visadas.

Atualmente, o emprego de *softwares* modernos, na aquisição e no tratamento de imagens de satélites, tornou-se uma ferramenta chave para o monitoramento de

empreendimentos de qualquer porte, que impactem de alguma forma no espaço geográfico terrestre. Uma ferramenta eficaz, gratuita e com enorme quantidade de informações úteis para os profissionais das geociências. Existe um grande acervo de dados disponibilizado por diversas instituições públicas nacionais (CPRM, INPE, IBGE etc.) e órgãos de outros países (USGS, NASA, ESA etc.). Logo, justifica-se o uso de ferramentas facilitadoras na integração de informações geográficas, na geração de mapas de extrema qualidade para a gestão territorial, e na análise temporal dos fenômenos terrestres.

A falta de entendimento dos fatores que causam esses impactos propaga certas inverdades em torno deste tema, já vivenciada pelo próprio autor deste estudo. Seja pela própria omissão na divulgação científica por certos órgãos ao público em geral, ou mesmo pelo desconhecimento dos propagadores. Conforme relatam Filho e Quadros (2017), a desinformação relacionada aos outros fatores antrópicos, e naturais, ligados a esses impactos acabam gerando uma percepção equivocada de que a extração de areia é a principal, se não a única, que contribui para o sumiço de “praias” (barras de pontal), na destruição de margens de “ilhas” ou degradações nas margens do rio Jacuí. Estas muitas vezes relacionadas à própria dinâmica fluvial. Sendo necessário trazer esse debate cada vez mais próximo à luz do conhecimento científico.

4 ÁREA DE ESTUDO

O rio Jacuí possui uma grande extensão, em torno de 860 km, nasce entre os municípios de Passo Fundo e Monte Castelhano, até sua foz no Delta do Rio Jacuí, o qual deságua no Lago Guaíba (SEMA, 2023).

A área de estudo está localizada na Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, entre o curso Médio e Baixo do rio Jacuí, situado no município de Rio Pardo (Figura 1). O trecho de estudo pega uma pequena parte pertencente aos municípios de Pantano Grande, a montante, e o município de Vale Verde, a jusante.

Localizado no Vale do Rio Pardo, o município de Rio Pardo é composto por 77% da sua área na Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí e, ao norte, 23% da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (SEMA, 2023). As principais rotas de acesso são a BR-471 e a RS-403, e distância de 147 km de Porto Alegre. O município possui altitude média de 47 metros acima do nível do mar, uma área de 2.133,83 km² e 38.265 habitantes (IBGE, 2022).

Figura 1 – Localização do município de Rio Pardo.



Fonte: IBGE (2020) [Adaptado].

4.1 Contexto geológico regional

Na região Sul do continente Sul-americano ocorrem sequências de rochas vulcânicas e sedimentares, pertencentes à Bacia do Paraná. Essa bacia é do tipo intracratônica, com formato ovalado e com eixo maior no sentido N-S. Tem uma área de aproximadamente 1,5 milhões de km², com pacote rochoso sedimentar-magmático de aproximadamente 7 mil metros no seu depocentro. Engloba porções do Brasil meridional, Paraguai oriental, Nordeste da Argentina e Norte do Uruguai, além de feições análogas no Oeste do continente africano preservadas e relacionadas a história geológica de separação do antigo continente Gondwana.

Suas bordas têm contornos atuais definidos por limites erosivos relacionados em quase toda sua totalidade pela história geotectônica meso-cenozóica do continente. No flanco Leste da bacia, foi profundamente modelada pelo processo de soerguimento crustal decorrente do rifteamento que deu origem ao Atlântico Sul. Já o seu flanco ocidental é definido por feições estruturais positivas N-S, um *bulge* flexural devido à sobrecarga da orogenia andina (MILANI, 1997).

Sua evolução tectono-estratigráfica é bastante complexa, e intimamente relacionada a diversos cinturões colisionais desenvolvidos ao longo do Ciclo Brasileiro. Ocorrendo eventos importantes de criação de espaços deposicionais entre essas orogenias, gerados por mecanismos de subsidência favorecidos pela flexura litosférica por sobrecarga tectônica. Outros autores interpretam a contração térmica como mecanismo importante ligado à implementação da sinéclise (MILANI, 1997).

Milani (1997) separa a bacia em seis supersequências com intervalos que vão do Paleozoico ao Mesozoico. Sendo elas: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo). As três primeiras supersequências são representadas por sucessões sedimentares desenvolvidas nos ciclos transgressivos-regressivos relacionados às oscilações do nível do mar no Paleozóico, enquanto as demais são rochas sedimentares continentais e ígneas associadas. Esta última representada majoritariamente pelos derrames basálticos da Serra Geral. Essas supersequências da Bacia do Paraná, tal como outras bacias análogas, apresentam como característica o grande número de hiatos entre seus contatos.

A supersequência Gondwana I representa o maior volume de rochas sedimentares da Bacia do Paraná, com as unidades mais antigas dessa supersequência partindo de condições deposicionais num contexto glacial, no neocarbonífero, até as mais recentes em um amplo e árido interior continental com domínio de campos de dunas eólicas, na chegada do mesozóico.

No Gondwana II se tem importantes registros fossilíferos da megafauna do ladiano-noriano, representado principalmente pela Formação Santa Maria, correspondendo a uma sedimentação lacustre, e fluvial associada, que aconteceu em resposta a pulsos de subsidência nos grabens meso-neotriássicos da Bacia do Paraná. Enquanto o Gondwana III é representado pela sedimentação eólica ocorrida no antigo deserto da Formação Botucatu, e sobreposta a esta, ocorre a maior manifestação ígnea não-oceânica do Fanerozóico, conhecida como Formação Serra Geral. Com espessura aproximada em 2.000 metros (Pontal do Paranapanema-SP), com rochas de caráter toleítico, e com diferenciação geoquímica no conteúdo de TiO_2 entre as ocorrências ao Norte, mais enriquecidas, e ao Sul, com termos mais pobres.

4.2 Contexto geológico local

A região da Depressão Central caracteriza-se principalmente por depósitos aluvionares com idade cenozóica, e formações litológicas mesozóicas de diversas composições. Na área de estudo as rochas são predominantemente sedimentares, com predomínio de arenitos e conglomerados, conforme figura 2. De acordo com Milani (1997), as unidades de rochas presentes na área de estudo são pertencentes às supersequências Gondwana I e II, representadas pelas Formações Sanga do Cabral e Santa Maria, respectivamente.

A área de estudo, o leito rochoso é constituído pela Formação Sanga do Cabral, com a base da sequência caracterizada por conglomerados e arenitos conglomeráticos, mal selecionados, com estratificação cruzada acanalada e planar, depositados por um sistema fluvial entrelaçado. Estes arenitos são recobertos abruptamente por uma sucessão mais delgada de pelitos e siltitos avermelhados, finamente laminados, bem selecionados depositados em um ambiente lacustre raso (FEPAM, 2021). Segundo Jelinek e Sommer (2021), essa Formação designa um pacote arenoso espesso num contexto flúvio-eólico, com 50 a 100 metros de espessura, entre as formações Santa Maria e Rio do Rastro. Contendo principalmente arenitos, finos a médios, bem selecionados, micáceos, com conglomerados intraformacionais subordinados, e de origem fluvial do eotriássico (240 Ma). Ocorre nos blocos estruturais central e Oeste, com paleocorrentes no sentido NE, em desconformidade com depósitos eólicos do Permiano (Formação Buena Vista), e sobreposta, também em desconformidade, com os depósitos continentais da Formação Guará (bloco Oeste) e da Formação Santa Maria (bloco central). Ocorre também a interdigitação de arenitos de origem eólica na porção Oeste, no topo da Formação Rio do Rastro.

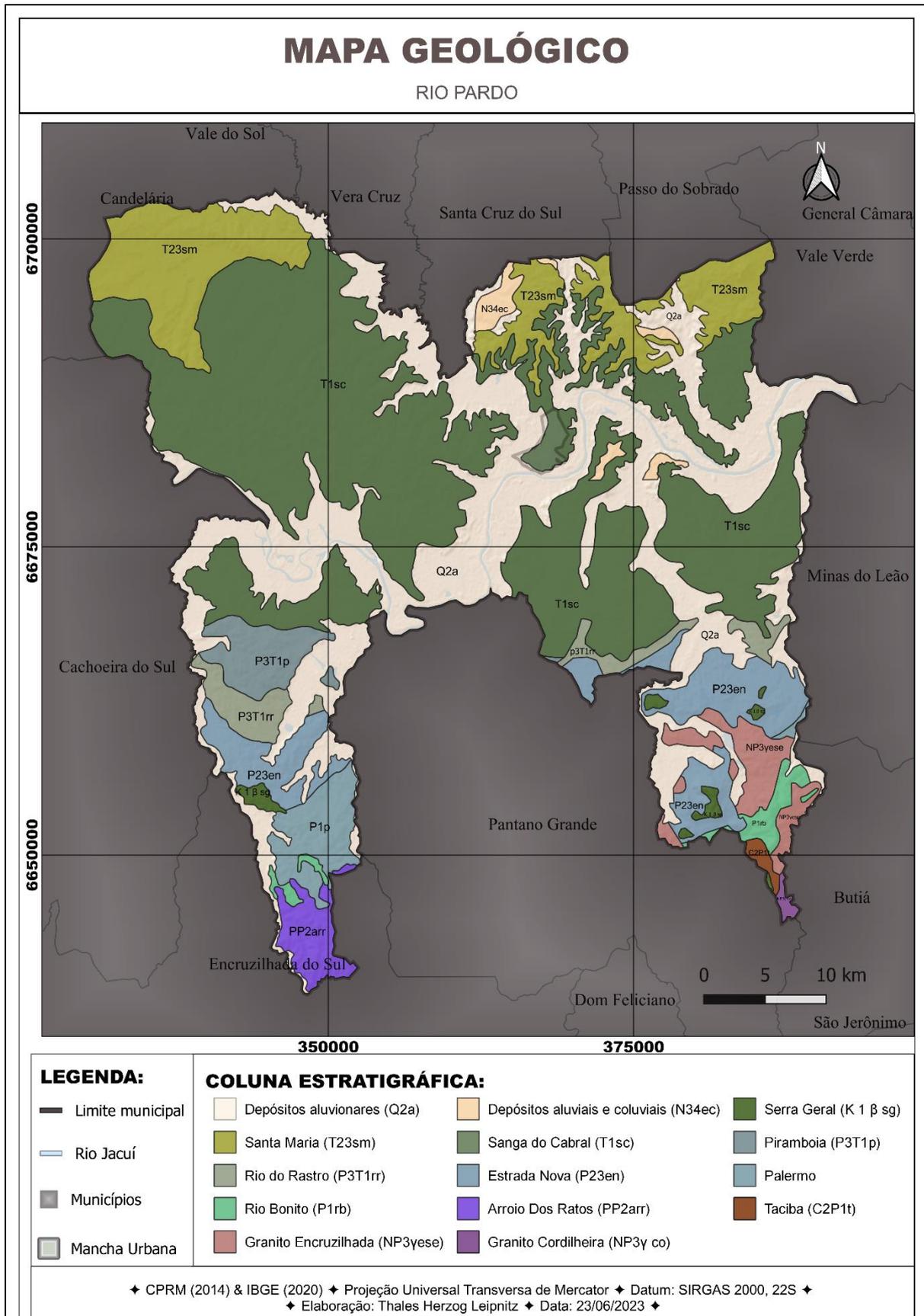
Na porção mais distal aflora a Formação Santa Maria (representado na figura 2, em amarelo). De acordo com Jolisek e Sommer (2021) está subdividido em: Membro Alemoa (Triássico Superior) e Membro Passo das Tropas (Triássico Inferior). O primeiro é representado por arenitos grosso a muito grosso, pelitos avermelhados e conglomerados subordinados. Alguns trabalhos consideram esses pacotes arenosos mais recentes como pertencentes a uma subdivisão, designada Membro Caturrita, marcado por amalgamação de corpos arenosos de canais fluviais, em contato gradacional com a Formação Santa Maria. Enquanto, o segundo é representado por arenitos de canais fluviais, grosso a médio, e conglomerados, principalmente nas porções mais basais.

De acordo com Milani (1997), os atributos da supersequência Gondwana II permite uma interpretação na qual a subsidência meso-neotriássica da Bacia do Paraná poderia estar relacionada ao desenvolvimento de grabens distensivos assimétricos, com a criação de espaços deposicionais. A ciclicidade entre os pelitos lacustres e arenitos fluviais, teriam se desenvolvido em resposta a variações do nível de base do lago em função de um controle combinado da tectônica e do clima local.

A Formação Santa Maria apresenta uma grande relevância do ponto de vista paleontológico, com um espesso pacote pelítico fossilífero, com diversos trabalhos geocientíficos no estudo sistemático paleoherpetofauna do ladiniano-noriano. Além de estratos fossilíferos análogos, visto a similitude com a paleofauna e a associação de vertebrados na Argentina e África do Sul (MILANI, 1997).

A geologia do fundo do canal do rio Jacuí é composta, de forma geral, por sedimentos arenosos inconsolidados do tipo residual, proveniente das diversas litologias cortadas pelas drenagens contribuintes do rio Jacuí nos seus subtrechos e afluentes. Algumas análises mineralógicas de amostras coletadas na área em trabalhos anteriores indicam a clara predominância de grãos de quartzo (98%), e secundariamente de feldspato (2%). O grau de arredondamento (sub-angular a sub-arredondado) e a baixa esfericidade do material arenoso podem indicar que a rocha fonte encontra-se relativamente próxima da área de deposição, ou jazida (FEPAM, 2021).

Figura 2 – Mapa geológico.



Fonte: CPRM (2014); e IBGE (2020) [Adaptado].

4.3 Uso e ocupação do solo

A economia da região da Depressão Central do Rio Grande do Sul, nas proximidades do rio Jacuí, caracteriza-se pelas intensas atividades extrativistas no setor do agronegócio, principalmente a pecuária e a agricultura. Apresenta vastas áreas de pastagens e lavouras, sendo as culturas de maior relevância: o arroz, soja, fumo e eucalipto. Com grande número de cooperativas agrícolas desses segmentos pelos municípios da região, que contribuem de forma significativa na geração de renda local.

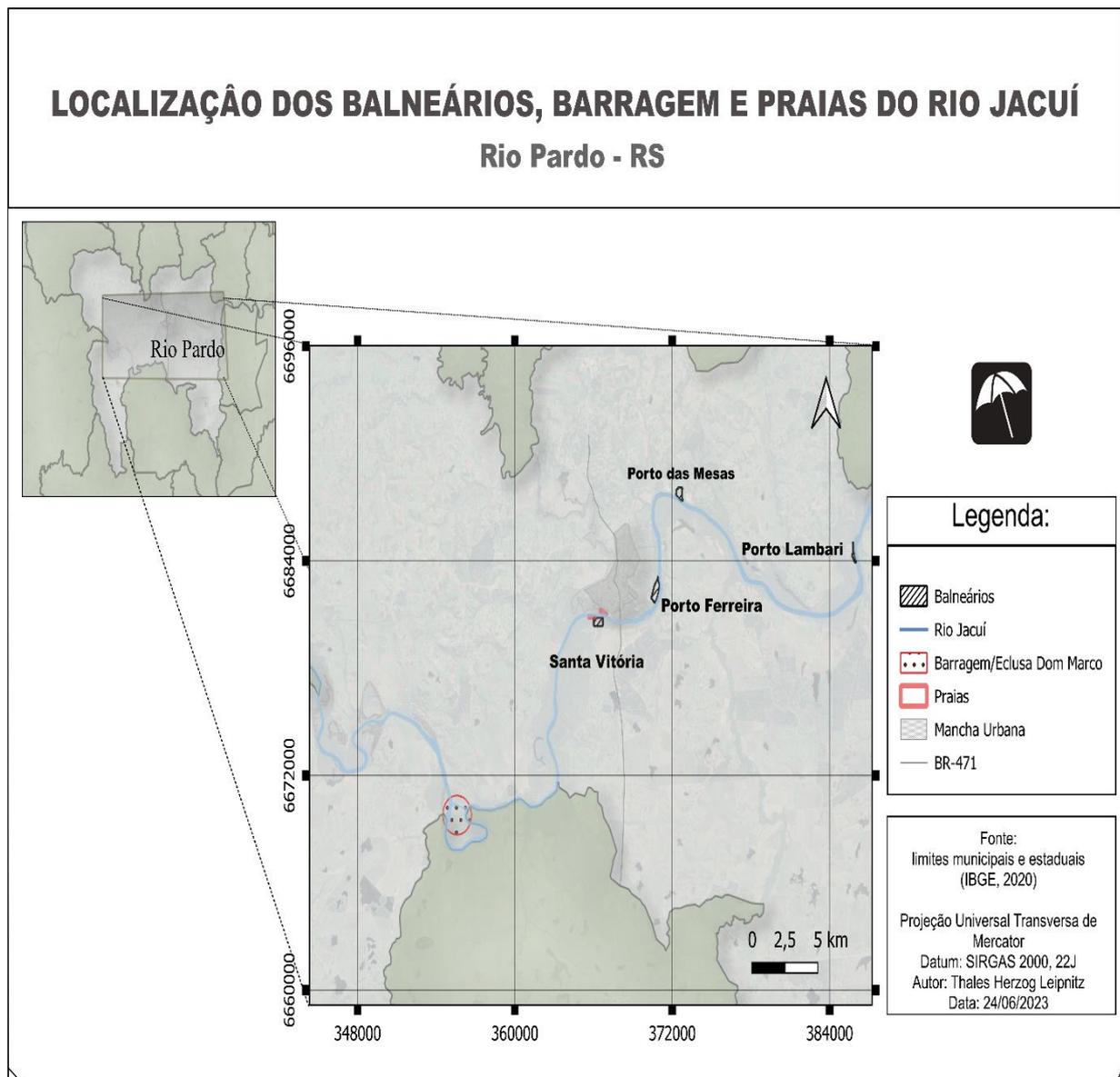
O tipo de solo do município de Rio Pardo é representado principalmente por Argilossolos vermelhos distróficos típicos, que passaram por intensos processos de lixiviação na sua gênese pedológica. Nas regiões de várzeas e áreas de enchente do rio, é comum a presença de solos hidromórficos (Gleissolos distróficos), usados principalmente no plantio de arroz e como pastagens, aflorantes inclusive nas áreas marginais do rio. O processo de erosão dessas áreas é considerado de moderado a forte, apresentando solos de textura média em relevo ondulado.

Predominam nesta unidade solos profundos de coloração avermelhada em toda a extensão do perfil, argilosos, bem drenados, em relevo ondulado, derivados de siltitos e arenitos. Apresentam limitações devido a fertilidade natural baixa, sendo fortemente ácidos, pobres em nutrientes, com saturação por bases baixas e com teores de alumínio trocável médio a alto (UFSM, 2023).

No município de Rio Pardo consta quatro balneários ao longo do rio (Figura 3) com ocupação humana, sendo eles: Balneário Santa Vitória; Balneário Porto Ferreira; Balneário Porto das Mesas; e o Balneário Porto do Lambari. Ao longo das margens do rio, apresenta duas praias principais (dos Ingazeiros e a Santa Vitória) para fins de lazer e atividades esportivas.

Nas proximidades do Balneário Santa Vitória e Praia dos Ingazeiros, próximo a entrada do município pela BR-471, estão alocados os empreendimentos dos areais e das dragas. Nessas áreas, principalmente nos Balneários Porto Ferreira e Porto das Mesas, pelo intenso processo de erosão marginal do rio, encontram-se diversas muretas e contenções com rochas para atenuar esses deslizamentos e desmoronamentos, embora sem estudos geotécnicos apropriados.

Figura 3 – Localização dos balneários, barragem e praias do rio Jacuí.



Fonte: IBGE, 2020 [Adaptado].

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Histórico

A história do Sensoriamento Remoto tem sua origem ligada ao desenvolvimento dos primeiros sensores fotográficos, aplicados principalmente na pesquisa espacial e uso militar (defesa e reconhecimento). O termo Sensoriamento Remoto só teve seu surgimento em 1960, sendo até hoje comum os jargões como fotogrametria e fotointerpretação no estudo dessas imagens. O primeiro registro de uma fotografia obtida foi em 1839 por Daguerre e Niepce, nos anos 1909 já se tinha registro das primeiras fotografias aéreas pelos irmãos Wright sobre o território italiano, e em 1930 fotografias aéreas coloridas já se tornaram disponíveis (NOVO, 2008).

A corrida espacial entre Estados Unidos da América – EUA e a antiga União das Repúblicas Socialistas Soviéticas – URSS foram responsáveis por grandes avanços tecnológicos nos sensores e suas capacidades de resolução espacial, tal como o primeiro lançamento de um satélite em órbita (Sputnik 1). Após 12 anos, na missão Apollo 11, dos Estados Unidos, houve o pouso do primeiro homem na Lua. Essas missões espaciais foram de grande relevância na evolução das técnicas de Sensoriamento Remoto, como, por exemplo, o surgimento das primeiras imagens aéreas multiespectrais, na missão Apollo 9.

Deste então, as aplicações do Sensoriamento Remoto obtiveram um salto gigantesco, tal com sua serventia a diversos fins. Cada uma dessas aplicações conta com requisitos específicos de resolução temporal, espacial, espectral e radiométrica, faixa imageada distintas entre si, levando a um grande volume de dados e especialização dos vários setores que utilizam essa tecnologia. Neste contexto, de acordo com Barbosa, Novo e Martins (2019), a nova geração de sensores, como Landsat/OLI (2013) e Sentinel-2/MSI, são alguns que se destacam na ampliação do uso em águas interiores, e com grande sucesso em monitoramento de recursos naturais. Desde então, diversos outros lançamentos surgiram por iniciativa de diversos países, como: *Système Probatoire d'observation de la Terre* – SPOT pela França em 1986; *Indian Remote Sensing Satellites* – IRS-1A pela Índia em 1989/1991; *European Remote Sensing Satellite* – ERS-1 pela União Europeia em 1991; além de outros satélites comerciais, como Ikonos em 1999.

Sensoriamento Remoto orbital em ambiente aquáticos continentais tem tido um forte investimento nos últimos anos, como é o caso do sensor *Operational Land Imager* – OLI, a bordo do satélite Landsat-8, e o *MultiSpectral Instrument* – MSI, a bordo do Sentinel-2. Estes

foram primeiramente projetados para estudos terrestres, todavia estão impulsionando as técnicas e metodologias para aplicação em águas continentais (Barbosa, Novo, Martins, 2019).

5.2 Sensoriamento Remoto – Propriedades das imagens orbitais

Conforme menciona Novo (2008), existem diversas definições para Sensoriamento Remoto, tendo muitas vezes um caráter muito amplo. Neste trabalho, adotou-se como sendo o estudo de fenômenos terrestres através da aquisição de informações sobre objetos a partir da detecção e mensuração de mudanças que estes impõem ao campo eletromagnético, em diversos espectros, utilizando dados adquiridos por sensores colocados em aviões, satélites, ou outras plataformas.

A obtenção de dados por sensoriamento remoto é baseada na radiação eletromagnética que o objeto, ou alvo de interesse, reflete ou emite na superfície terrestre. O comportamento espectral de cada alvo depende das suas características físicas, biológicas e químicas (Tagliari e Baptista, 2020).

A radiação eletromagnética – REM é resultado da emissão de energia eletromagnética por qualquer corpo que esteja com sua temperatura acima do zero absoluto (0 Kelvin). O termo luz refere-se à energia eletromagnética no campo do visível, ou seja, a qual o olho humano consegue enxergar, entre 380 e 700 nanômetros. O espectro de radiação eletromagnética é comumente representado a partir das radiações gama de alta energia até radiações de ondas de rádio, que são de baixa energia. No contexto de sensoriamento remoto aplicado a sistemas aquáticos, normalmente trabalha-se com REM na região do visível e infravermelho próximo, acima de 900 nm, aproximadamente (Barbosa, Novo e, Martins, 2019).

“Os sistemas orbitais consistem em um conjunto de componentes para aquisição de dados, envolvendo (i) sensor eletro-óptico; (ii) plataforma (ou satélite artificial); e (iii) estações terrestres para recepção e distribuição de dados” (Barbosa; Novo; Martins, 2019, p. 111).

Os sensores são os sistemas responsáveis pela conversão de energia proveniente dos objetos em um registro na forma de imagem ou gráfico que permite associar a distribuição da radiância¹, emitância², ou retroespalhamento³ com suas propriedades físicas, químicas, biológicas ou geométricas [...] (NOVO, 2008, p. 51).

¹ Radiância: energia radiante emitida por uma fonte de radiação numa dada direção em cada segundo e por unidade de área transversal.

² Emitância: Energia emitida pela superfície de um corpo, por segundo e por unidade de área

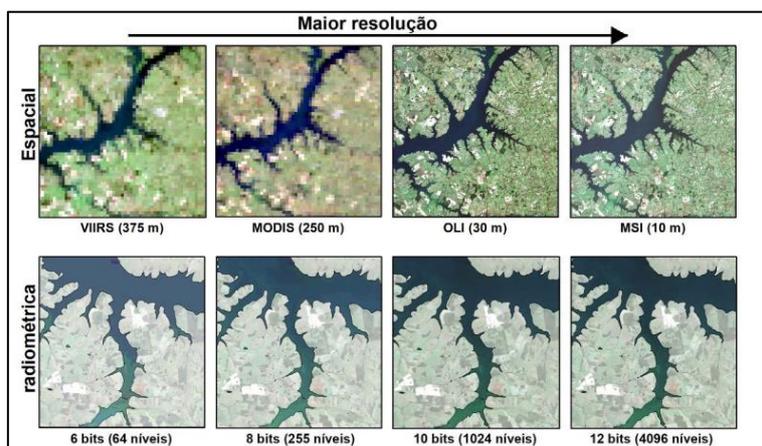
³ Retroespalhamento: espalhamento de uma partícula em que ocorre um desvio maior que 90° na sua trajetória; retrodifusão, retrodispersão.

Os sensores são classificados como passivos e ativos, onde os primeiros são aqueles que dependem de uma radiação externa (solar ou terrestre) para detectar a radiação refletida ou emitida pelos objetos da superfície. Já os ativos são aqueles que produzem sua própria radiação para interação com o alvo de interesse, como radares e *lasers* são exemplos de sistemas ativos. Os sensores que detectam entre a região 0,38 e 3,00 μm , chamada região de energia refletida do espectro, captam basicamente a reflexão da energia solar em diferentes comprimentos de ondas, sendo elas: a visível, de 0,38 e 0,72 μm ; o infravermelho próximo, de 0,72 e 1,3 μm ; o infravermelho médio, de 1,3 e 3,0 μm ; e o infravermelho distante (sensores termais), de 7 e 15 μm (Novo, 2008).

Resolução espacial de um sensor representa a menor feição passível de detecção pelo instrumento, o qual depende do campo de visada do sensor (*Field of View* – FOV), o qual define a largura da faixa imageada pelo sensor, e do campo de visada instantâneo no solo (*Instantaneous Field of View* – IFOV), definido pelo campo de visada que projeta sobre a superfície em cada posição da faixa imageada (elemento de resolução do terreno). A resolução espectral é a medida da largura das faixas espectrais e da sensibilidade do sistema sensor em discernir dois níveis distintos de intensidade do sinal de retorno, chamado resolução radiométrica, e quanto menor o intervalo entre esses dois níveis, maior a resolução espectral do sensor, aumentando a capacidade de um sensor em identificar pequenas feições de absorção e espalhamento dos objetos (Novo, 2008). Já a resolução temporal representa o tempo de revisita do sensor em um mesmo ponto da superfície terrestre, e quanto menor for esse tempo de revisita, maior será a atualização dos dados captados pelo sensor. Pixel, diferente da resolução espacial, representa a menor unidade contendo uma informação individual de nível de cinza, logo quanto maior o número de pixels na imagem, melhor sua definição (Figura 4).

De forma geral, a resolução espacial é definida com o nível de detalhamento das informações contidas numa imagem. Imagens de drones apresentam uma alta resolução espacial se comparados a satélites. Entretanto, para se tornar útil aos geocientistas, o profissional deve ter prévio conhecimento do tamanho da escala desejada, ou fenômeno de interesse, para otimização dela no seu estudo de caso.

Figura 4 – Exemplos das mudanças nas resoluções espacial e radiométrica na nitidez da imagem por diferentes satélites.



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

5.3 Aplicações ambientais do Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto e recursos SIG estão conceitualmente preocupados nas problemáticas que envolvem o meio físico terrestre, principalmente ligados aos impactos visuais. Com ampla aplicabilidade em diversas áreas do conhecimento (Ciências Exatas e da Terra, Agrárias, Biológicas etc.). Na esfera ambiental, serve como instrumento de fiscalização de empreendimentos extrativistas, tais como: mineração, agricultura, pecuária, silvicultura etc.

O uso de sensoriamento remoto para fins ambientais é vasto, sendo utilizado tanto por institutos governamentais internacionais (USGS, NASA, NOAA etc.) e nacionais (INPE, CEMADEN), quanto pelo setor privado. Com expressiva importância para fins como: monitoramento de desmatamentos, prevenção de desastres naturais, prevenção de enchentes e alagamentos, planejamento urbano, monitoramento de queimadas, dentre outros.

O índice NDVI é uma ferramenta de grande utilidade na caracterização da vegetação, sua preservação e de indicador de qualidade das culturas agrícolas. É um indicador da quantidade e da condição da vegetação verde, sendo assim sensível à clorofila (Tagliari e Baptista, 2020). A equação é dada da seguinte forma:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{Infra Vermelho} - \text{Vermelho}}{\text{Infra Vermelho} + \text{Vermelho}} \quad (1)$$

Fonte: Tagliari; Baptista, 2020.

Conforme Tagliari e Baptista (2020), em estudo similar em Áreas de Preservação Permanente, o cálculo da equação é aplicado para cada pixel da imagem, respectivamente nas bandas dos canais vermelho e infravermelho próximo, resultando em valores entre -1 e 1. Quanto mais próximo for de 1, maior é a atividade vegetativa no local representado pelo pixel. Valores negativos representam corpos hídricos, e quanto mais próximo de 0 indicam edificações ou solo exposto, ou seja, áreas com pouca ou nenhuma atividade clorofiliana.

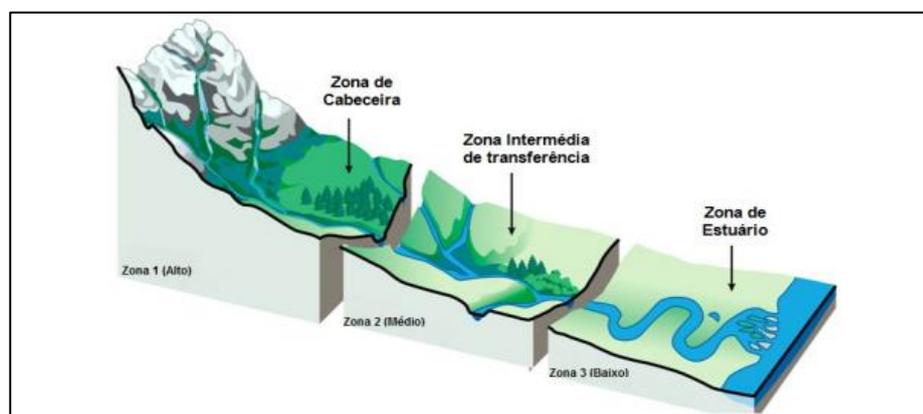
5.4 Erosão Fluvial

Erosão é um processo natural de desagregação, decomposição, transporte e deposição de corpos rochosos e solos que vem agindo sobre a superfície terrestre. Esse processo é governado pela combinação dos agentes naturais, tais como: o clima, a ação das águas e vento, características do relevo, atividade biológica nos solos e por ações antrópicas. A interferência humana vem contribuindo cada vez mais na aceleração desse processo, tendo como consequência, a perda de solos férteis, assoreamento de rios, poluição da água e a redução da produtividade global dos sistemas naturais (Pinto, 2018).

A sinuosidade do rio tende a ter aumento crescente à medida que se desloca de montante (zona de cabeceira) para jusante (zona intermediária e estuarina), enquanto a capacidade de aporte sedimentar de grãos grosseiros tende a diminuir, conforme a figura 5.

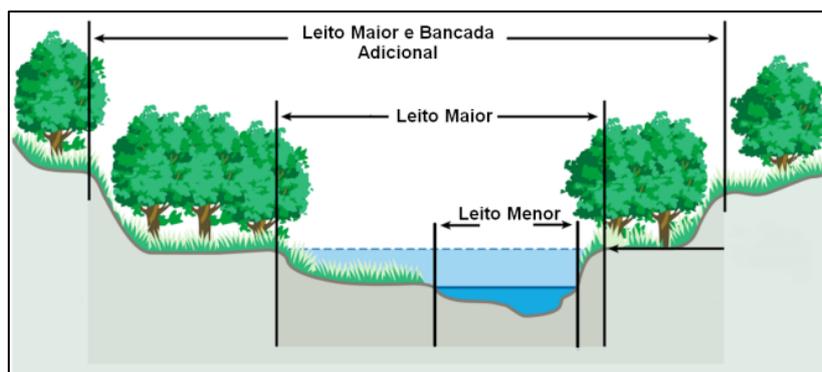
Na área de estudo, o tipo de situação é a intermediária (Zona 2), considerada uma zona de transição do rio, com predomínio de feições meandrantas. Essa feição é a principal responsável pela taxa de erosão fluvial nos diferentes trechos do rio.

Figura 5 – Desenvolvimento de um curso hídrico de montante (zona de cabeceira) para jusante (zona de estuário).



A secção transversal de um curso hídrico é definida pelas relações entre diferentes variáveis: caudal, largura e profundidade do canal, velocidade de escoamento, tensões de arrastamento, carga de sedimentos, etc (PINTO, 2018).

Figura 5 – Planícies de inundação.



Fonte: Pinto, 2018, p. 14.

“Erosão fluvial é aquela erosão que ocorre nos cursos d’água e pode se processar através de escavações locais, ou, geralmente, como erosão de leito e erosão marginal” (Filho, e Quadros, 2017). De acordo com esses autores, entende-se como erosão de leito e marginal, o processo natural da dinâmica fluvial de um rio. Esta é constituída principalmente por três variáveis, intimamente relacionadas, e que tendem a alcançar um equilíbrio isostático. São estas variáveis: a quantidade de sedimentos movimentados ao longo do leito, a taxa de erosão das margens, e as propriedades hidráulicas do canal. Serão detalhados a seguir os dois primeiros fatores citados.

A erosão de leito é gerada pela ação da corrente, enquanto a erosão marginal é afetada pela ação das componentes dos vetores das linhas de corrente do rio (Filho e Quadros, 2017). A força da corrente do rio pode sofrer variações ligadas a dois fatores principais: i) os períodos de sazonalidade; e ii) pela declividade do terreno.

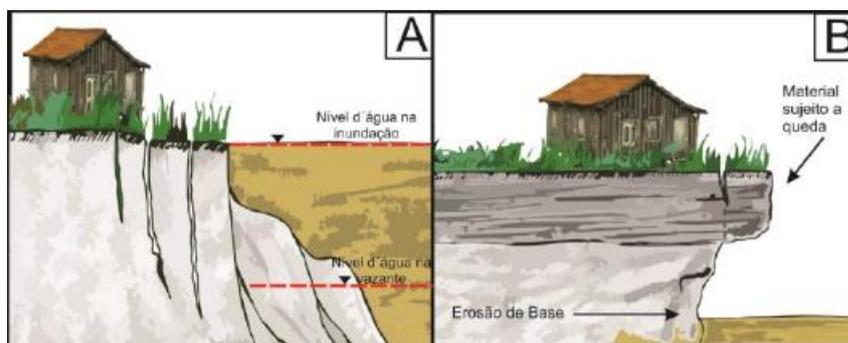
i) Períodos de sazonalidade: interligado a fatores climáticos das épocas do ano, (épocas de enchentes e estiagem) que influenciam diretamente na ação das correntes, ou vetores de fluxo do rio, gerando períodos de maior e menor energia (variação da velocidade de fluxo), os quais consequentemente levam à variação do aporte sedimentar ao corpo hídrico. Sendo os sólidos transportados basicamente por arrastamento (rolamento ou saltação dos sedimentos), ou suspensão dos sedimentos mais finos.

Períodos prolongados de estiagem na região a montante do rio (nascente) acarretam situações de baixa energia, e consequentemente baixo aporte sedimentar. O contrário ocorre

em períodos de enchente, onde pela alta taxa pluviométrica leva a situações de alta energia, e logo, alto aporte sedimentar (sólidos totais em suspensão). Nesses casos, acontece o fenômeno regionalmente conhecido como ‘Terras Caídas’, ou solapamento, devido ao grande volume de chuvas, levando ao aumento de poro pressão no solo pelo acréscimo da pressão hidrostática devido à elevação do nível do rio pelo encharcamento do terreno marginal, propiciando o desabamento da margem. Pode ocorrer também o fenômeno ‘Retro-Erosão’, ou *piping*, pelo escoamento preferencial das águas, provocando a erosão progressiva retrógrada nos contatos entre as camadas de areia e de sedimentos finos, levando a desestabilização das margens e a formação de bancadas (Filho e Quadros, 2017).

A figura 6 exemplifica os processos de: A) solapamento e submersão de extensas massas de terra durante épocas de cheia do rio; e B) solapamento pela descida do nível de base do rio, com quedas do material sobrejacente por ação da gravidade, e favorecidos pela erosão de base, gerados pela ação das correntes do rio.

Figura 6 – Exemplificação dos processos erosivos que ocorrem em épocas de enchente e estiagem nos rios.



Fonte: Bandeira et al, 2018.

ii) Declividade do terreno: o rio desloca-se de montante a jusante (transformação de energia potencial em cinética), onde ocorre decréscimo da força gravitacional atuante na coluna d'água. No primeiro estágio, o rio apresenta maior energia, devido a maior altitude, e consequentemente alta carga sedimentar em suspensão, consequente erosão das escarpas íngremes, favorecido pela altura e ângulo das margens.

No segundo estágio de evolução do curso do rio, há uma velocidade menor e maior deposição sedimentar, ocorrendo o ‘meandramento’ do rio, onde margens côncavas sofrem erosão preferencial e margens convexas sofrem deposição dos sedimentos (margens erosivas e conservativas), levando ao surgimento de barras em pontal.

No terceiro estágio, o rio perde ainda mais velocidade e a capacidade de transportar sedimentos, com conseqüente deposição, acarretando na morfologia anastomosada do canal. Surgem feições características desses cursos, como as barras em canal (ilhas fluviais) nas partes centrais do rio, migrando, na medida em que as águas fluem nesses períodos de estiagem e enchentes, no sentido jusante do rio.

Outro fator que pode alterar as componentes de vetores do rio são os fatores antrópicos. Entende-se esse termo por quaisquer atividades antrópicas potencialmente causadoras de erosão das margens do rio Jacuí, sendo estas a exploração de areia, os barramentos, as eclusas, defletores artificiais de fluxo, os canais escavados em rocha, a contenção artificial em margens, os pilares de pontes, o desmatamento da mata ciliar (APP), o pisoteio de gado e a navegação. Na maioria das vezes a investigação das atividades causadoras desses impactos é complexa, tendo em vista o grande número de variáveis naturais envolvendo suas causas, tal como a ausência de métodos adequados para sua análise. Esses fatores antrópicos são detalhados de forma mais abrangente no trabalho “*Efeito da dinâmica fluvial e da ação Antrópica sobre a erosão de margens fluviais: o caso da mineração de areia no Rio Jacuí*” de Filho e Quadros (2017).

5.5 Estabilidade das margens e o papel da mata ciliar

A estabilidade das encostas pode ser compreendida como o equilíbrio entre as forças da gravidade e as forças resistentes do material, sofrendo erosão quando a força gravitacional excede as forças de resistência do material das margens. Esse equilíbrio depende dos fatores que promovem as condições de estabilidade da margem e pelos fenômenos que provocam a instabilidade da encosta. Os fatores naturais que interagem diretamente na estabilidade das margens são uma combinação complexa de variáveis que se alteram de acordo com as características do rio, em grande parte pela geomorfologia e dinâmica dos sistemas fluviais. Dentre os principais fatores que causam estabilidade das encostas estão as características geotécnicas do solo (composição e disposição do material das margens), a geometria da margem (altura e ângulo da margem) e o revestimento vegetal (Pinto, 2018).

As características geotécnicas são definidas principalmente pela constituição do material das margens, pelo tamanho e sua textura. Em síntese, a composição pode ter predominância por solos argilosos (coesivo), os quais apresentam melhor resistência às tensões, por solos arenosos (granular) e com menor resistência às tensões, e os solos compostos (materiais coesivos e granulares).

O comportamento mecânico desses solos é uma propriedade hidráulica, definida pela permeabilidade. A presença de estratificação, ou camadas alternadas desses materiais, favorecem o processo erosivo relacionado à presença de camadas impermeáveis e pela maior porcentagem de espaço de vazios entre as partículas sólidas constituintes do solo: cascalho, areia, silte e argila (Pinto, 2018). A matéria orgânica presente nos solos, em certas ocasiões, também pode apresentar um papel coesivo, embora seja facilmente lixiviada em forma de ácidos húmicos.

A geometria da margem compreende-se pelo ângulo do talude e a sua altura. Ambos determinam a estabilidade do talude, e quanto maior for o ângulo e a altura da margem, menor a estabilidade da margem. Solos argilosos tendem a apresentar margens verticais com ângulos superiores a 90° devido a sua coesão, enquanto solos granulares e compostos por ângulos menores do que 90°. A presença de árvores na encosta favorece a estabilidade da encosta pela densidade de raízes, que deixam o material mais coeso, favorecendo a estabilidade de solos granulares e compostos, em ângulos próximos a 90° (Pinto, 2018).

A presença de vegetação é um dos fatores que mais contribui para a estabilidade da margem fluvial, de acordo com Filho e Quadros (2017) e Pinto (2018). Em conjunto aos outros fatores já mencionados, o vigor da vegetação, densidade, diâmetro, profundidade do sistema radicular e a posição de cobertura vegetal na encosta aumentam a resistência contra os processos erosivos. Em épocas de cheia, a presença de vegetação tem um papel amortecedor nas turbulências locais geradas pelo fluxo no canal, reduzindo sua velocidade próximo às margens e atenuando o processo erosivo. Na tabela 1 demonstra-se o aumento do coeficiente de tensão crítica em função da área de cobertura pela vegetação.

Tabela 1 – Coeficientes de tensão crítica do material da margem em função da porcentagem da área marginal coberta por vegetação.

Área de Coberto da Vegetação	τ_c (coeficiente)
Sem cobertura vegetal (0%)	1.00
Esparsa (< 25%)	1.50
Média (25 – 75%)	2.00
Densa (> 75%)	2.50

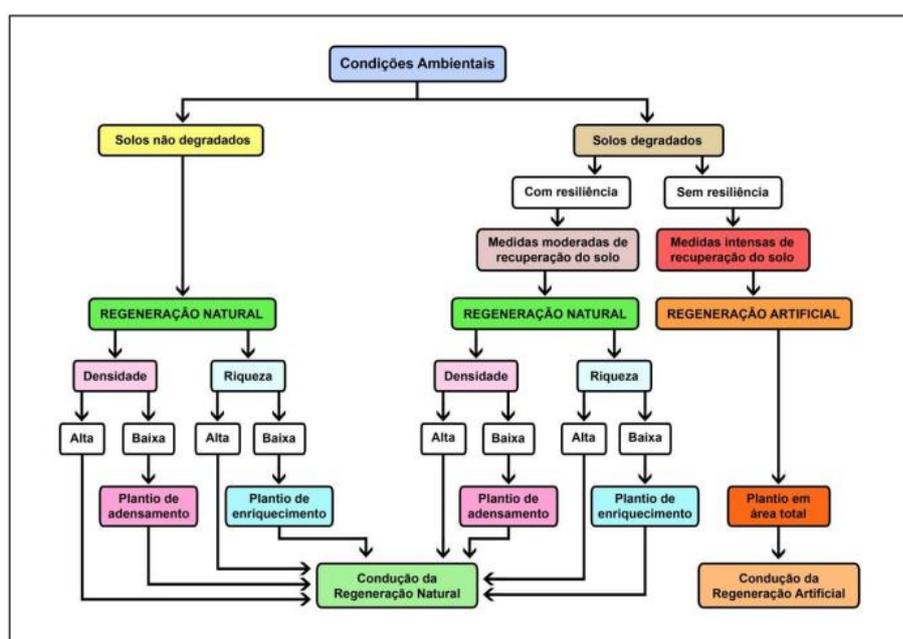
Fonte: Pinto, 2006, p. 32.

Em margens debilitadas, a reposição de árvores de grande porte pode ter efeito contrário ao desejado, visto o aumento de peso considerável sobre as margens. Nessas situações, deve-se dar preferência a árvores de pequeno porte, arbustos e plantas herbáceas (Pinto, 2018). Logo, o estudo das características geotécnicas e geométricas devem ser usados como base na escolha

adequada da cobertura vegetal das encostas para o controle efetivo do processo erosivo atuante sobre as margens fluviais.

Na figura 7, é apresentado um fluxograma simplificado de recuperação ambiental de matas ciliares nas margens de rios, partindo do estado de conservação do solo e levando em consideração o diagnóstico das condições ambientais locais ou regionais. Onde a seleção do método mais adequado em cada caso deve estar fundamentada no diagnóstico detalhado da área (FEPAM, 2021).

Figura 7 – Fluxograma simplificado das etapas decisivas para o planejamento de recuperação da vegetação ciliar em solos degradados e não degradados.



Fonte: FEPAM, 2021, p. 95.

Na área de estudo, a floresta de ingazeiros (*inga vera*), a qual se origina o nome da Praia dos Ingazeiros no município de Rio Pardo, e a floresta estacional estão entre as formações do dossel mais presentes nas APP (dique marginal) e nas áreas de inundação do rio. A floresta estacional designa florestas em áreas bem drenadas ou sujeitas a breves períodos de inundação, a qual apresenta maior variedade de espécies (FEPAM, 2021).

O *ingá vera*, ou comumente ingá-de-beira-de-rio, é uma formação bastante homogênea, com indivíduos de porte elevado, podendo atingir um metro de diâmetro e mais de 20 metros de altura. As florestas estacionais estão entre as mais comuns ao longo do rio Jacuí, presente no dique marginal, em áreas de inundação do rio, e nas áreas bem drenadas de breve período de inundação do rio. São frequentes no dique marginal a espécie emergente de grápia (*Apuleia*

leiocarpa), e nas áreas bem drenadas, o açoita cavalo. Estes últimos são os locais onde apresentam maior vigor vegetal dessas espécies. As florestas situadas no dique marginal variam de composição, riqueza e porte, chegando a 12 e 20 metros de altura, e podendo ultrapassar os 20 metros em encostas conservadas, onde podem apresentar três estratos: dossel, sub-dossel e sub-bosque (FEPAM, 2021).

A presença humana também causa impactos na estabilidade das encostas. O uso do solo para agricultura, pecuária e a presença de moradias (balneários) próximos às APPs são considerados vetores de pressão pelo estudo da FEPAM (2021), a própria mineração de areia, estabilidade marginal e as APP. Esse impacto se dá principalmente pela operação de maquinário de grande porte, uso intensivo do solo sem boas práticas de rotação de culturas, pisoteio do gado e a presença de construções em talvegues.

5.6 Noções básicas de sistemática em geomática para estudos ambientais

Conforme Silveiro (2020), a construção eficiente de sistemas de informações depende da criação de modelos conceituais que sejam representativos da porção modelada da realidade. No contexto ambiental, pela sua complexidade inerente, torna-se necessário englobar as especificidades ambientais como um sistema, isto é, uma entidade que tem expressão espacial, a ser modelada segundo sua variabilidade taxonômica e a distribuição territorial das classes de fenômenos relevantes para um dado estudo. Entende-se um sistema pelo conjunto de informações interligadas e inter-relacionadas entre si, podendo ser um sistema aberto ou fechado, sem interferências externas.

Em síntese, esses modelos conceituais da realidade devem ser criados: a) sem perda do poder diagnóstico, causada por simplificações excessivas do fenômeno; e b) sem que neles permaneçam representadas complexidades ambientais impeditivas da modelagem digital posterior (Silveiro, 2020).

O geoprocessamento (Geomática) necessariamente se apoia em estruturas de percepção de fenômenos ambientais, isto é, transformação de dados geograficamente referenciados em informação relevante para o usuário, tornando possível uma visão sistemática desses fenômenos, entendida como um agregado de sistemas relacionados entre si. A estruturação desses dados com uso de modelos adequados, tornam possíveis as representações gráficas e abordagens computacionais mais complexas para a simulação de sistemas ambientais, fazendo deste um trabalho multidisciplinar (Silveiro, 2020). Essa visão holística do meio-ambiente e sua representação gráfica são essenciais em estudos de planejamento ambiental e gestão

territorial. Logo, a compreensão dos componentes que fazem parte desse sistema, e suas complexidades, devem ser devidamente discretizados para confecção dessas representações gráficas, ou mapas.

Um artifício que nos ajuda a entender esses componentes é a utilização de uma matriz de impactos ambientais. Embora sempre exista a defasagem dos itens a) e b) listados acima, o uso de uma matriz de impactos se torna eficiente na mensuração semi-qualitativa dos impactos de uma área.

Para isto, conforme Sánchez (2013), torna-se necessário a escolha de indicadores de impactos, tal como materiais e métodos satisfatórios para medição destes. Neste trabalho, foram elencados os indicadores de impactos de maior relevância para o estudo, adaptados de Sánchez (2013), passíveis de serem analisados por Sensoriamento Remoto. Os indicadores de impacto são: a erosão marginal e a supressão vegetal da mata ciliar. Estes serão os indicadores usados para geração de uma matriz simplificada dos impactos através da ponderação dos parâmetros, e seus respectivos pesos atribuídos aos indicadores. Os pesos atribuídos aos parâmetros e indicadores foram atribuídos através de análise multicritério dos fatores que se interrelacionam com os parâmetros versus indicadores. Esses indicadores, parâmetros e seus pesos serão devidamente explicados nos tópicos a seguir.

5.7 Aspectos ambientais da mineração de areia

O termo aspecto ambiental refere-se a elementos das atividades, seus produtos e serviços que podem interagir de alguma forma com o meio ambiente. Sánchez (2013) explica a relevância da utilização de indicadores de impacto, com seu uso crescente em planejamento e na gestão ambiental nos estudos de impactos: no diagnóstico, na previsão de impactos e no seu monitoramento.

Os impactos ambientais inerentes à extração de areia são diversos, conforme explica Filho e Quadros (2017). A perda da biodiversidade local, instabilidade das encostas, alteração dos cursos de água, escassez de água doce, impactos na saúde humana e conflitos socioambientais, são apenas alguns deles. No foco do estudo, os impactos de interesse são: a erosão das margens; e a supressão vegetal da mata ciliar (APP).

5.7.1 Erosão marginal

A erosão é um processo complexo e apresenta-se de diversas maneiras na natureza, sendo sua medição igualmente difícil. Conhecer os elementos que influenciam e favorecem o modo como se desenvolve a erosão das margens, em um determinado trecho do rio, é essencial para compreender a problemática da erosão das margens (FEPAM, 2023).

A dragagem é o principal aspecto ambiental impactante na exploração de areia do rio Jacuí, que acarreta de forma negativa no meio físico. Nesse caso, o principal indicador de impacto é a faixa marginal das encostas.

Na mineração de areia no rio Jacuí, a exploração é realizada pelas empresas com o uso de dragas de alcatruz (figura 8), ou barco com bombas acopladas, chamadas dragas de sucção (figura 9).

Figura 8 – Draga alcatruz em carregamento de barco tipo “chata”.



Fonte: Filho e Quadros, 2017.

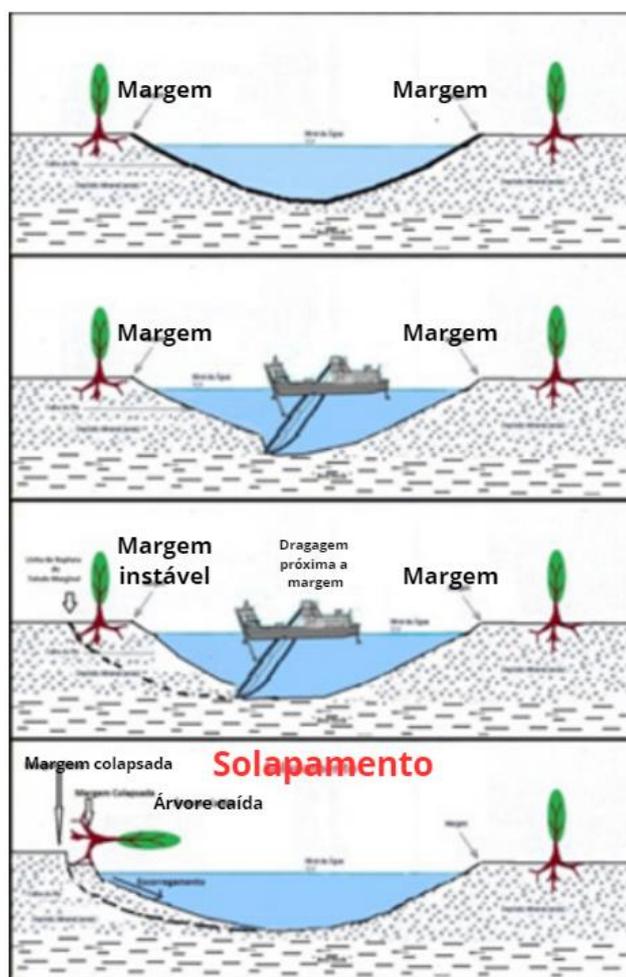
Figura 9 – Draga de sucção autopropulsada em atividade.



Fonte: Filho e Quadros, 2017.

A atividade de sucção e consequente retirada desse mineral de forma inadequada, como próximo às margens, ou muito próxima ao leito, em uma taxa maior do que o rio consegue repor naturalmente, desestabiliza as encostas e potencializa o processo de solapamento das margens do rio. Em casos mais intensos esse processo leva ao progressivo assoreamento do rio (Filho e Quadros, 2017). A figura 10 exemplifica o processo de solapamento ocasionado pela dragagem de areia, quando realizada de forma irregular.

Figura 10 – Exemplo simplificado do processo de solapamento das margens pela dragagem.



Fonte: Filho e Quadros, 2017, p. 8 [Adaptado].

Além disso, a navegação das dragas ocasiona a mudança das componentes de vetores das linhas de correntes do rio, funcionando como um obstáculo, principalmente na coluna d'água mais superficial, gerando ondas nas margens e aumentando as taxas de erosão marginal.

5.7.2 Supressão vegetal da mata ciliar (APP)

Os impactos da mineração de areia nas APP vão desde sua instalação (Licença de Instalação – LI), até o processo de erosão das margens pela operação (Licença de Operação – LO) das barcas pela sucção do material. Entende-se como supressão vegetal todo o processo de implementação do empreendimento do areal, sendo os aspectos mais relevantes: a abertura de estradas para ida e vinda de caminhões; a compactação do solo devido a instalação das estruturas de extração e beneficiamento; e o estoque do minério extraído em pátios.

Conforme explica Nogueira (2016), os impactos ambientais relevantes oriundos desses aspectos, são:

- Supressão da vegetação;
- Geração de poeira;
- Emissão de gases provenientes da combustão dos maquinários;
- Aumento do aporte sedimentar ao curso d'água devido a remoção da vegetação;
- Compactação do solo;
- Geração de ruído;
- Alteração da paisagem;
- Vazamento de óleos e combustíveis; e,
- Utilização de combustíveis fósseis.

O solapamento das margens do rio leva ao tombamento da vegetação sobrejacente, levando a respectiva perda da cobertura vegetal pela correnteza. Esse impacto retroalimenta o processo erosivo do solo, favorecendo o carreamento de sedimentos ao corpo hídrico e aumento da turbidez do rio. Em casos mais intensos, acarretando a perda da biodiversidade local, alteração drástica da paisagem e o aumento do fenômeno de Terras Caídas.

5.8 Contextualização da mineração de areia no rio Jacuí

5.8.1 Aspectos Legais: legislação ambiental e código florestal

No estado do Rio Grande do Sul, a fiscalização das minerações de areia do rio Jacuí fica a cargo da FEPAM, atuando como órgão técnico do SISEPRA.

As atividades de mineração são regulamentadas em todas suas etapas, da pesquisa mineral da jazida até o beneficiamento do minério, por um conjunto de leis específicas e interdependentes (FEPAM, 2021). Na mineração de agregados para construção civil esse conjunto de regras apresenta menor burocracia, haja vista a alta demanda pelo setor e ao entendimento, em nível federal e estadual, do menor grau de impacto desses empreendimentos.

Na legislação enquadradas para esses minérios, são comuns dois regimes requeridos às mineradoras. O regime de Licenciamento, ou Registro de Licença, modalidade aplicada somente a minério de uso imediato na construção civil, disposta na Lei Federal nº 6.567, de 24 de setembro de 1987 e regulamentada pela Portaria DNPM nº 266, de 10 de julho de 2008. Requerimento limitado a um máximo de 50 hectares, sendo o registro mais comumente encontrado junto às empresas mineradoras de areia no rio Jacuí. E seguido, pelo regime de Autorização e Concessão de Lavra (FEPAM, 2021).

A Lei nº 6.938/81 foi regulamentada pelo Decreto 99.274/90 e este disciplina o licenciamento ambiental, vinculado a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), para atividades que utilizam recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou capazes, sob qualquer forma, de provocar degradação ambiental quando da construção, instalação, ampliação, funcionamento e desativação. O mesmo decreto define três tipos de licenças: (Nogueira, 2016, p. 41).

No regime de licenciamento ambiental, de forma sucinta, esse processo é dividido em três etapas principais:

- Licença Prévia (LP): é concedida na fase preliminar de planejamento do empreendimento ou atividade, mediante fiscalização prévia obrigatória ao local, a localização e a caracterização do empreendimento, tal como o atestado de viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e as condicionantes a serem atendidas nas próximas fases de implementação (Nogueira, 2016);
- LI: autoriza a instalação do empreendimento de acordo com as especificidades dos planos e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e as demais condicionantes (Nogueira, 2016); e,
- LO: autoriza ao empreendedor o início das atividades, após fiscalização prévia obrigatória para verificação do efeito cumprimento do que consta das licenças anteriores, assim como medidas de controle ambiental e as condicionantes porventura determinadas para a operação (Nogueira, 2016).

Com a Resolução do CONAMA nº 10, de 06 de dezembro de 1990 é trazida a possibilidade de o órgão ambiental dispensar o EIA/RIMA para casos de licenciamento ambiental da extração de minérios aproveitados pelo Registro de Licença, como é o caso dos minérios usados em imediato na construção civil. Neste caso, a atividade passa a ser licenciada de forma mais simplificada, pela apresentação do Relatório de Controle Ambiental - RCA, na fase de Licença Prévia, e do Plano de Controle Ambiental - PCA nas fases de Licença de Instalação e Operação (FEPAM, 2021).

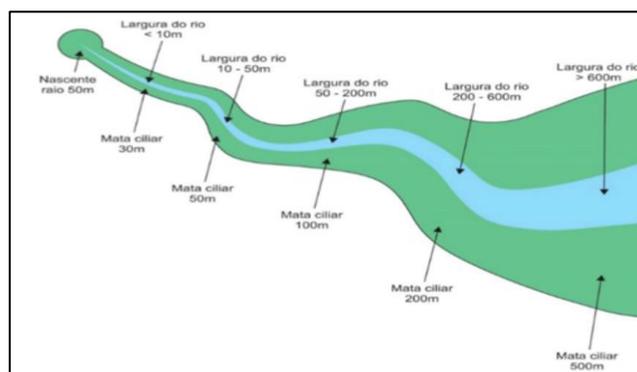
Conforme Lei nº 12.651, artigo 3º, entende-se APP, como:

Área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de 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).

De acordo com o Código Florestal (Brasil, 2012), Lei nº 12.651, artigo 4º, considera-se como Áreas de Preservação Permanente, sejam zonas rurais ou urbanas, as seguintes delimitações:

I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

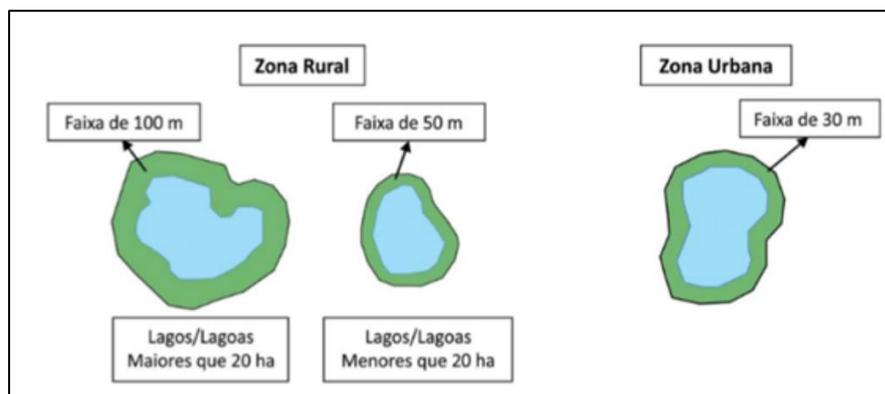
Figura 11 – Faixa de APP em função da largura do rio.



Fonte: Rodrigues; Lima; e Santos, 2014 [Adaptado].

II - as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de:

Figura 12 – Faixa de APP em função da largura de lagos/lagoas, em zona rural ou urbana.



Fonte: Rodrigues; Lima; Santos, 2014 [Adaptado].

III - As áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento:

IV - As áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros;

V - As encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;

VI - As restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;

VII - Os manguezais, em toda a sua extensão;

VIII - As bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;

IX - No topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo essa definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação;

X - As áreas em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação; e,

XI - Em veredas, a faixa marginal, em projeção horizontal, com largura mínima de 50 (cinquenta) metros, a partir do espaço permanentemente brejoso e encharcado.

5.8.2 Diretrizes ambientais gerais para mineração pela FEPAM

A FEPAM (2021) estabelece as seguintes diretrizes ambientais gerais pertinentes ao estudo:

- Afastamento de 50 metros das margens durante a operação das dragas;
- Realização estudo em escala de detalhe, mapeando e identificando a composição geológica da superfície do leito estável (*bedrock*), bem como as cotas de sua ocorrência devidamente referenciadas a um Datum vertical utilizado, por meio do emprego de métodos diretos e indiretos de investigação;
- Limite vertical de extração de 1 metro acima do leito rochoso (*bedrock*); monitoramento da integridade das feições geomorfológicas do leito, quanto a sinuosidade, áreas de deposição (barras em pontal, barras longitudinais isentas de vegetação e ilhas vegetadas) e de erosão, com a finalidade de manter os atributos naturais da calha do rio;
- Aplicação de medidas compensatórias nos empreendimentos de mineração a recuperação das margens e matas ciliares apontadas pelo Estudo da FZB no escopo do zoneamento;
- Execução de estudo da dispersão da pluma de sedimentação oriunda da atividade das dragas. Quando em operação, deverá ser realizada amostragem de água para identificar a qualidade da água em diferentes pontos da pluma. Além disso, deverá ser realizado mapeamento da dimensão e dispersão da pluma, com o uso de ferramentas que permitam avaliar as concentrações de sólidos em suspensão, tal como imageamentos remotos;
- Avaliar existência de conflitos entre a atividade de mineração e os outros modos de utilização do rio (pescadores, comunidades, residentes, população em geral, e manifestações culturais); e,
- Avaliar o nível de poluição sonora quando a área incidir sobre comunidades.

5.8.3 Áreas impróprias para a Mineração pela FEPAM

Neste trabalho foram consideradas áreas impróprias para mineração as utilizadas no relatório final “*Zoneamento Ambiental para a atividade de Mineração de Areia nos cursos Médios e Baixo do Rio Jacuí*”, realizado pela FEPAM (2021, p 375). Assim como seus critérios técnicos, o *buffer* de delimitação e restrição de extração mineral. São:

- i) Pontos de captação de água bruta para abastecimento público: proteção da estrutura de captação e da qualidade da água considerando a geração de pluma de contaminação na atividade de dragagem ou por vazamento de combustíveis. Considerado um *buffer* de 200 metros;
- ii) Pontes, Estruturas e Balsas: proteção dos pilares que sustentam a superestrutura das pontes. Proibição de extração mineral nessas áreas num *buffer* de 200 metros no entorno das pontes e demais estruturas de engenharia (eclusas);
- iii) Áreas de Lazer, Balneários e Praias: impacto visual, geração de ruídos, segurança dos usuários, manutenção da qualidade da água. Ainda, como medida para proteção da barra em pontal utilizada para estes fins, assim como manutenção da beleza cênica dos locais identificados. Considerado um *buffer* de 450 metros a partir da linha de praia utilizada como praia ou balneário.
- iv) Áreas de Comunidade: impacto visual, geração de ruídos, segurança dos usuários, manutenção da qualidade da água. Faixa de 100 metros ao longo das ocupações humanas nas margens do rio;
- v) Unidade de Conservação: unidade de conservação é o espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Estado, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção. Definido nos limites das unidades de conservação; e,
- vi) Ambientais Marginais: *habitats* presentes na planície de inundação, apresentam elevada riqueza de espécies bentônicas, especialmente de organismos escavadores, e peixes, cumprindo função de berçários, refúgios e fontes de alimentação. Estes ambientes apresentam maior conectividade com o rio em época de cheia. As lagoas marginais terão seus contornos somados às suas APPs e a APP do rio. Proibição de extração mineral nessas áreas.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi executado em três etapas com seus respectivos métodos e técnicas, divididos em: aquisição do banco de dados; análise e interpretação; integração dos dados e geração dos mapas.

6.1 Aquisição do banco de dados

Nessa primeira etapa foi realizada a definição da área de estudo, obtida pelo *software GoogleEarth* e QGIS 3.28.5. Através do *download* das malhas estadual e municipal disponíveis pelo *site* do IBGE, com arquivo no formato *Esri Shapefile* – SHP. Em seguida, definida as áreas com indicativos de maior impacto ao longo do rio no município. Essas áreas foram definidas através das etapas detalhadas a seguir.

A aquisição do banco de dados foram realizadas de duas formas:

- Direta: Consiste em informações retiradas do Zoneamento Ambiental para a atividade de mineração de areia nos cursos Médio e Baixo do rio Jacuí, realizado pela FEPAM (2021) nas áreas do rio inseridas no município de Rio Pardo, e demais informações pertinentes ao contexto da extração de areia no rio Jacuí. Além de informações fornecidas pela plataforma SIGMINE; e,
- Indireta: Informações coletadas através das imagens por sensoriamento remoto por satélites, tais como Landsat 8 e o Sentinel-2A, para análise temporal das mudanças marginais do rio, a taxa anual de erosão marginal relativa, e de preservação das APP desses locais.

As imagens de satélite foram coletadas de 2007 até 2023, preferencialmente entre os meses de março e abril, tanto na coleta inicial, quanto a final, na tentativa de analisar e mensurar a migração da linha de margem ao longo dos anos. A escolha preferencial desses meses deve-se ao fato de serem os respectivos meses com níveis normais na coluna d'água no rio Jacuí, e com melhor nitidez das margens.

O lapso de tempo escolhido para o registro das imagens coletadas de cada área para discussão foi de 3 a 6 anos. No qual foram selecionadas às imagens que demonstravam o fenômeno de erosão das margens e supressão vegetal das APP na área.

6.2 Análise e interpretação

Os indicadores de impacto (erosão marginal e supressão vegetal da mata ciliar), adaptados de Sánchez (2013), receberam parâmetros, com valores numa escala de 1 – 2, os quais são atribuídos pesos, numa escala de 1 - 2, e estes multiplicados pelos respectivos parâmetros. Os parâmetros, os quais foram adaptados e selecionados para utilidade no estudo em questão, foram: i) magnitude; ii) sensibilidade; iii) *gap* temporal; iv) vetores de pressão; v) significância; e iv) MÉDIA. Essas variáveis foram utilizadas para a geração da matriz de impacto simplificada, conforme tabela 2.

- i) Compreendido como a ordem de grandeza, ou quantitativa, do impacto ao longo das áreas pré-definidas (tamanho em m² ou em ha);
- ii) Considera o grau de sensibilidade para mineração de areia, determinado pela FEPAM, na área impactada;
- iii) O parâmetro *gap* temporal leva em consideração a análise de ocorrência de mudanças visuais ao longo do tempo pelo comparativo das imagens orbitais dos eventos nas áreas definidas como de maior impacto;
- iv) Esse parâmetro leva em consideração a presença, ou não, de vetores de pressão antrópicos limítrofes às áreas pré-definidas (num *buffer* de 300 m, >400 m desta, com pesos nos valores de 2 e 1, respectivamente);
- v) A soma ponderada pelos pesos dos parâmetros anteriores.
- vi) A soma dos indicadores de impacto (erosão marginal e supressão vegetal) dividido por 2. Utilizado para enquadrar o grau de impacto (muito baixo, baixo médio e alto) das áreas inseridas no mapa final.

A valoração dos parâmetros teve como base a análise multicritérios através da coleta das informações supracitadas no tópico de aquisição dos dados. Essa análise é desenvolvida no seguimento do trabalho. O peso destinado a cada parâmetro segue os seguintes critérios: i) peso 1 (impacto de pequena e média escala) ou peso 2 (impacto de grande escala); ii) peso 1 (área de sensibilidade muito baixa ou baixa) ou peso 2 (área de sensibilidade média a alta); iii) peso 1 (não houve mudança significativa no tempo) ou peso 2 (houve mudança significativa no tempo); e iv) peso 1 (presença de vetores de pressão antrópico >400 m da área) ou peso 2 (presença de vetores de pressão a 300 m da área de impacto).

Tabela 2 – Matriz de impactos simplificada.

INDICADORES	Magnitude	PESO	Sensibilidade	PESO	Gap temporal	PESO	Vetores de pressão	PESO	Significância	
Erosão Marginal										MÉDIA
Supressão Vegetal										

Fonte: o Autor, 2023.

O enquadramento das áreas impactadas, são: muito baixo ($0 - <4,5$); baixo ($4,5 - <7,5$); médio ($7,5 - \leq 10$); e alto (>10).

Vale ressaltar que, conforme Sánchez (2013), o resultado da ponderação de atributos não é uma medida no sentido físico, de grandeza do impacto, mas uma conotação qualitativa da importância do impacto, servindo como enquadramento em classes aplicada num dado estudo de impacto ambiental.

Para os dados semi-quantitativos, como as linhas de margem, em metros, e geração dos polígonos, em metros quadrados, foram utilizadas as ferramentas disponíveis pelo *GoogleEarth Pro*. A linha de margem foi considerada aquela onde é possível visualizar pelas imagens a coluna d'água do rio, até o 2º talude da encosta. Já o polígono foi medido, em média, 20 a 30 metros ao redor da área de interesse.

As taxas de perda relativa das margens, em metros por ano, foram obtidas pela equação composta pela: i) soma da linha de margem 1 e 2 de cada área; ii) divisão desta soma por 2; e, iii) dividida novamente pelos respectivos anos de obtenção das imagens. Essa equação está representada conforme a tabela abaixo.

Tabela 3 – Equação da taxa de perda relativa das margens.

$[(LM1 + LM2 / 2) / a]$
<small>LM1 : linha de margem 1; LM2 : linha de margem 2; a = número de anos entre a primeira e a última imagem de satélite.</small>

Fonte: o Autor, 2023.

A utilização de ferramentas de medições é de caráter comparativo entre as áreas analisadas. Não servindo de dados quantitativos fidedignos. Visto que existem distorções das áreas existentes na projeção WGS84/Pseudo-Mercator, adotada pelo *Google Earth Pro*, cada vez maiores à medida que se afasta da linha do Equador.

6.3 Integração dos dados e geração dos mapas

Nessa etapa final é realizada a integração dos dados da matriz simplificada dos impactos para geração dos mapas. A valorização total da matriz simplificada dos indicadores de impactos foi usada na geração dos mapas temáticos semiquantitativos, enquadrando as áreas impactadas na região municipal em quatro classes: muito baixo ($0 - <4,5$), baixo ($4,5 - <7,5$), médio ($7,5 - <=10$); e alto (>10). Foram gerados dois mapas temáticos semiquantitativos, onde a integração e geração dos mapas foram realizadas pelo *software* QGIS 3.28.5 e pelo *Google Earth Pro*. O primeiro é o mapa de estabilidade das encostas e o segundo o de zoneamento das APP do município de Rio Pardo. As áreas consideradas impactadas estão plotadas no mapa, assim como seu enquadramento nas classes definidas, separadas e indicadas por cores.

A construção dos mapas de estabilidade das encostas foi realizada pelo *Google Earth Pro*, versão 7.3.6.9345, às quais foram utilizados os artifícios de polígonos, marcadores, linhas de contorno, e as respectivas medições das áreas. Após, foram georreferenciadas para manipulação no QGIS 3.28.5 e geração do mapa final.

O zoneamento das APP foi realizado pelo QGIS 3.28.5, através da utilização das ferramentas descritas a seguir: linhas ao longo do segmento do rio; produção das isolinhas até as margens; medição da largura do rio nos diferentes trechos; recorte desses trechos; e uso de *buffer* de acordo com as medidas de cada trecho do rio, seguindo a figura 11, conforme o Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012). Após a geração do *buffer*, foram inseridas as áreas consideradas impactadas pelas análises de imagem de satélite, com o grau de impacto indicado por cores, e as áreas impróprias para mineração de areia.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo consiste na discussão das análises e interpretações feitas após o registro das imagens de satélite, em conjunto com as informações coletadas pelo zoneamento ambiental para atividade de extração de areia (FEPAM, 2021), em campo e na plataforma do SIGMINE.

E, por fim, expor o produto final, que consiste nos mapas de estabilidade das margens e APP do rio Jacuí, no município de Rio Pardo.

7.1 Áreas impactadas

Através da análise das imagens de satélite ao longo do município de Rio Pardo, em conjunto com os dados do zoneamento da FEPAM, foram selecionadas sete áreas de potencial impacto. As quais estão apresentadas e discutidas separadamente nas seções a seguir, e ordenados no sentido de montante a jusante do rio.

As imagens de satélite disponíveis mais representativas do processo erosivo nas margens do rio foram entre os anos de 2007 até 2023. Com alguns locais exibindo apenas imagens visíveis a partir de 2008 (áreas 1, 2 e 3), e outras finalizando em 2021 (áreas 1, 2 e 4). Devido tanto a fatores de resolução das imagens, como cobertura de nuvens e imagens sem nitidez, quanto pela baixa revisita dos satélites nos respectivos locais.

No município de Rio Pardo, a cidade está localizada próxima às margens do rio, e logo apresenta vários vetores de pressão associados. As áreas consideradas impróprias para mineração na área de estudo, são: a Eclusa Anel de Dom Marcos (*buffer* de 200 metros); Balneário Santa Vitória, Praia dos Ingazeiros, Balneário Porto Ferreira, Balneário Porto das Mesas, e Balneário Porto do Lambari (com *buffer* de 450 metros cada); e a Ponte da BRS-471 (*buffer* de 200 metros).

Nenhuma das áreas de interesse analisadas estava inserida próximo a um raio de 500 metros de áreas impróprias para mineração de areia. Sendo a área 6 a mais próxima, com pouco menos de 1 km do Balneário Porto das Mesas.

O uso de imagens com bandas específicas, como o índice NDVI, não se demonstraram eficazes para avaliar o grau de impacto nas APP.

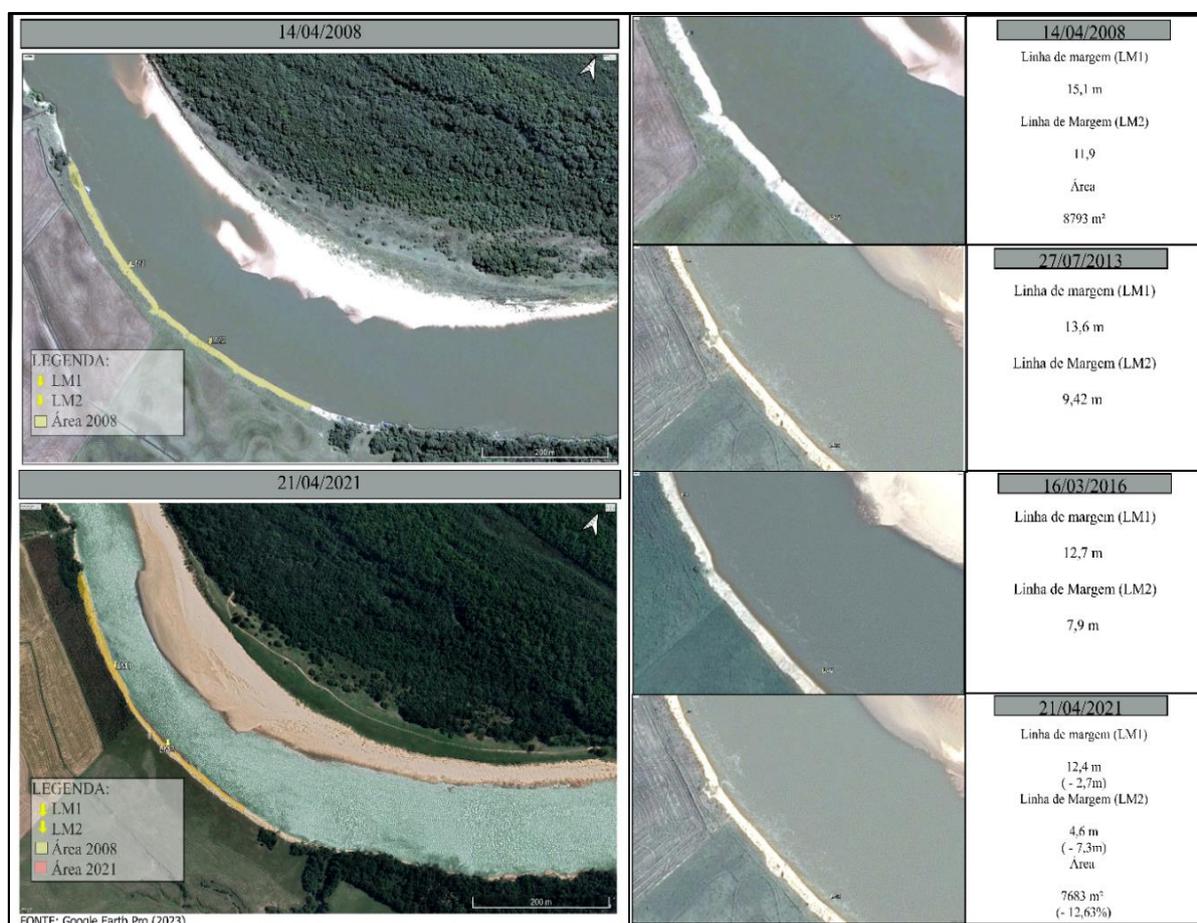
As áreas 1 e 2 estão inseridas no limite municipal de Rio Pardo, pertencentes ao município de Pantano Grande.

7.1.1 Área 1

A figura 13 contém imagens de satélite onde o rio divide os limites municipais entre Rio Pardo e Pantano Grande, estando a área analisada no município de Pantano Grande. Essa área fica aproximadamente a 2,25 quilômetros da Eclusa Anel de Dom Marco, a Oeste da cidade de Rio Pardo. Esse trecho do rio é considerado de predominância erosiva no leito e de risco erosivo altíssimo, de acordo com o Mapa 11.1 do zoneamento para atividade de mineração de areia (FEPAM, 2021).

Na figura é possível visualizar a perda de até 7,3 metros de encosta nas margens côncavas do rio (LM2), no período de 14/04/2008 até 21/04/2021, totalizando aproximadamente 12,6% de área perdida. Com maior perda entre as imagens de 14/04/2008 a 27/07/2013, indo de 15,1 metros para 13,6 metros na LM1, e 11,9 metros para 9,42 metros na LM2, respectivamente. Tendo uma média de 0,38 m/ano de perda neste período, enquadrado como uma área de baixo impacto, conforme a tabela 3.

Figura 13 – Imagens de satélite da área 1.



Fonte: o Autor, 2023.

A perda considerável da linha de margem (LM2) se dá principalmente pelos aspectos hidrodinâmicos do rio, conforme Fepam (2021), acentuado o processo erosivo, e pela ausência visível de vegetação (APP) nas margens. Além da proximidade com a Eclusa, que após aberta, principalmente em épocas de cheia, potencializa esses processos erosivos.

Tabela 4 – Matriz de impactos simplificada da área 1.

INDICADORES	Magnitude	PESO	Sensibilidade	PESO	Gap temporal	PESO	Vetores de pressão	PESO	Significância	
Erosão Marginal	2	1	1	1	2	1	1	1	6	MÉDIA
Supressão Vegetal	1	1	1	1	2	1	1	1	5	5,5

Fonte: o Autor, 2023.

7.1.2 Área 2

Esta área também está inserida onde o rio divide os limites municipais entre Rio Pardo e Pantano Grande, estando a área analisada no município de Pantano Grande. Fica aproximadamente a 2,5 quilômetros da Eclusa Anel de Dom Marco, dois quilômetros da área 1. Esse trecho do rio é considerado de predominância erosiva no leito e de alta erosão, de acordo com o Mapa 11.1 do zoneamento para atividade de mineração de areia (FEPAM, 2021).

Figura 14 – Imagens de satélite da área 2.



Fonte: o Autor, 2023.

Este local foi, dentre os analisados ao longo do rio, onde observou-se o maior recuo da linha de margem em áreas sem APP visível e com relação a área erodida, de 22,79 metros (LM2) e 81,27%, respectivamente. Tendo atingido 1,19 m/ano entre o período de 14/04/2008 até 21/04/2021, enquadrada como de médio impacto, conforme a tabela 4.

As maiores perdas de linha de margem estão entre as imagens de 14/04/2008 a 27/07/2013, indo de 27,4 metros para 17,3 metros na LM1, e 26 metros para 21,3 metros na LM2.

Na figura 14 da Área 2, imagens de satélite de 27/04/2013 a 16/07/2016, representando épocas sazonais de enchente e estiagem, respectivamente, demonstram visivelmente o processo intenso de solapamento das margens.

As prováveis hipóteses para a perda considerável da linha de margem (LM1), em ordem decrescente de relevância, são : I) os aspectos hidrodinâmicos do rio, conforme Fepam (2021); II) ausência visível de vegetação (APP) nas margens; III) proximidade com a Eclusa, que ao ser aberta, principalmente em épocas de cheia, potencializa esses processos erosivos; IV) potencial agravamentos pela extração de areia; e, V) uso indevido de solo em Áreas de Preservação Permanente para monocultura e a utilização de maquinário pesado em proximidade das margens, conforme é possível visualizar nas imagens de satélite a partir de 27/07/2013.

Tabela 5 – Matriz de impactos simplificada da área 2.

INDICADORES	Magnitude	PESO	Sensibilidade	PESO	Gap temporal	PESO	Vetores de pressão	PESO	Significância	
Erosão Marginal	2	2	1	1	2	2	1	1	10	MÉDIA
Supressão Vegetal	2	1	1	1	2	1	1	1	6	8

Fonte: o Autor, 2023.

7.1.3 Área 3

Diferente da área 1 e 2, a área 3 está numa região com morfologia predominantemente retilínea do rio Jacuí, e logo esperava-se processos erosivos mais amenos. Entretanto, conforme visível na figura 15, os processos erosivos são intensos. Sendo possível observar a perda considerável da mata ciliar das encostas, principalmente entre os anos de 14/04/2008 e 27/07/2013.

Nas imagens de 14/04/2008 até 27/03/2013, observa-se o solapamento das margens do rio, enquanto a partir de 16/03/2016 os processos de retroerosão do solo se tornam mais nítidos. Similares aos demonstrados pelas imagens do estudo de Filho e Quadros (2017).

Essa área ficou com 0,32 m/ano de erosão das margens, estando enquadrada como de médio impacto, conforme tabela 5.

Figura 15 – Imagens de satélite da área 3.



Fonte: o Autor, 2023.

Esse pequeno trecho do rio foi classificado pelo zoneamento da FEPAM (2021) como de baixa sensibilidade para mineração de areia, com predominância deposicional do leito. Enquanto locais limítrofes a essa porção do rio estão classificados como sensibilidade muito baixa.

Mesmo com os cenários hidrodinâmicos da FEPAM indicando uma tendência deposicional do leito nessas áreas, a erosão marginal ocorre de forma intensa nesse trecho do rio, conforme é corroborado também pela área 4, que será discutida a seguir.

Tabela 6 – Matriz de impactos simplificada da área 3.

INDICADORES	Magnitude	PESO	Sensibilidade	PESO	Gap temporal	PESO	Vetores de pressão	PESO	Significância	
Erosão Marginal	2	2	2	1	2	2	1	1	11	MÉDIA
Supressão Vegetal	2	2	2	1	2	1	1	1	9	10

Fonte: o Autor, 2023.

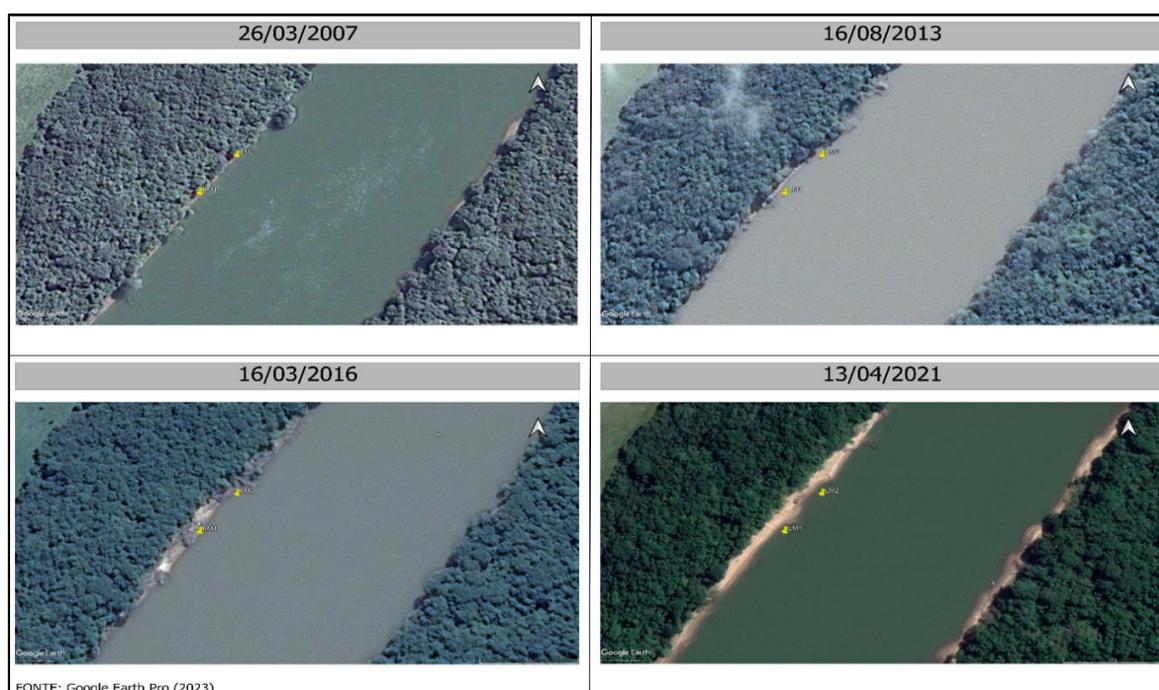
7.1.4 Área 4

A área 4 fica a, aproximadamente, 600 metros da área 3, com o mesmo aspecto retilíneo do rio, mas com maior densidade da mata ciliar. Sendo também classificado como de baixa sensibilidade para atividade de mineração de areia.

Entretanto foi a área que registrou as maiores perdas de linha de margem ao longo do município, de 26/03/2007 até 13/04/2021. Com 17,1 metros na LM1 e 17,3 metros na LM2, com 1,23 m/ano de erosão das margens.

É possível observar que essa degradação ocorre em ambos os lados das margens do rio, visível principalmente na imagem de 13/04/2021, porém com maior intensidade na margem esquerda.

Figura 16 – Imagens de satélite da área 4.



Fonte: o Autor, 2023.

De acordo com o SIGMINE (2023), essa área tem processos minerários ativos para extração de areia desde 2004. A poligonal pertence à empresa Sociedade dos Mineradores de Areia do Rio Jacuí Ltda, com 43,78 hectares.

Evidenciado pela tabela 6 abaixo, a área 4 atinge grau de impacto enquadrado como alto, totalizando 11 pontos. Logo, tornam-se locais de risco para mineração de areia, sendo esta atividade potencial amplificadora desses impactos.

Tabela 7 – Matriz de impactos simplificada da área 4.

INDICADORES	Magnitude	PESO	Sensibilidade	PESO	Gap temporal	PESO	Vetores de pressão	PESO	Significância	
Erosão Marginal	2	2	2	1	2	2	1	1	11	MÉDIA
Supressão Vegetal	2	2	2	1	2	2	1	1	11	11

Fonte: o Autor, 2023.

7.1.5 Área 5

Situada a Leste da zona urbana de Rio Pardo, a área 5 está rodeada por uma extensa área de mata ciliar de grande porte, principalmente na margem direita das imagens. E, semelhante a área 4, apresenta uma geomorfologia predominantemente retilínea.

Essa área apresentou valores altos no recuo da linha marginal, com 19,1 metros para a LM1 e 21,3 metros na LM2. Estando, conforme a tabela 7, enquadrada como de alto grau de impacto.

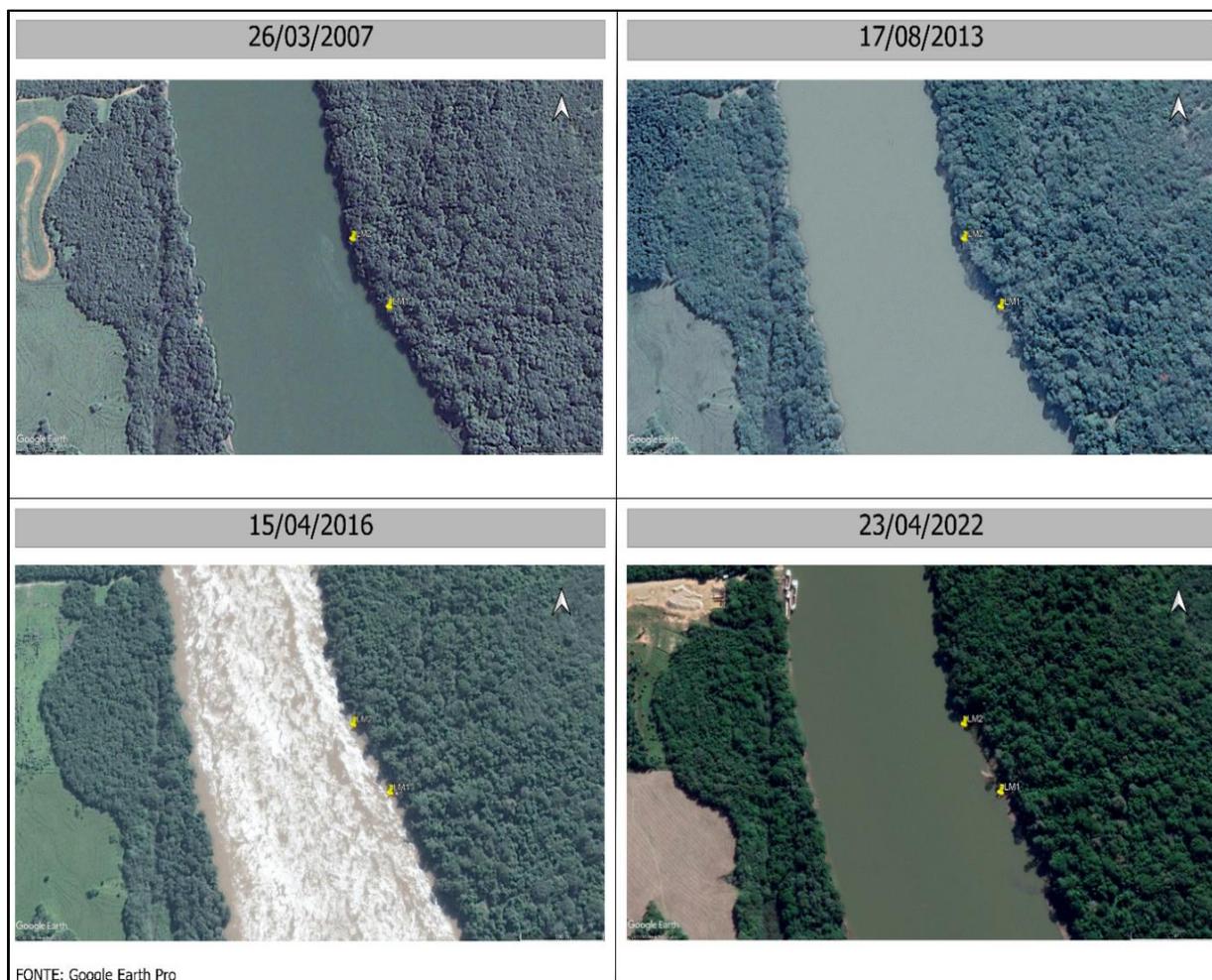
Diferente da área 4, apresenta uma leve sinuosidade do canal, principalmente na área de maior recuo de linha de margem medido nesse local (LM1 e LM2), podendo ajudar na explicação dos altos valores de recuo da linha de margem. Uma vez que essa sinuosidade, mesmo que pequena, possa servir como um defletor dos vetores da correnteza do rio, acelerando o processo natural da erosão marginal das encostas.

Outro fator que intensifica os processos erosivos, principalmente nos meandros do rio, mencionado por Filho e Quadros (2017), é o encharcamento das encostas. Levando a saturação aquosa, e conseqüentemente aumento do poro pressão no solo pelo acréscimo da pressão hidrostática.

Segundo o SIGMINE (2023), a área está inserida na poligonal pertencente a AREAL BAUMGARTEN LTDA, com 49,84 hectares. Na imagem de 23/04/2022, a 300 metros da área analisada, se instalou um areal e um porto de dragas. Essa instalação já estava presente nas

imagens desde abril de 2020. Esta área pertence à RI Mineradora Ltda Me, com 49,97 hectares, em área de várzea e fora do rio.

Figura 17 – Imagens de satélite da área 5.



Fonte: o Autor, 2023.

Tabela 8 – Matriz de impactos simplificada da área 5.

INDICADORES	Magnitude	PESO	Sensibilidade	PESO	Gap temporal	PESO	Vetores de pressão	PESO	Significância	
Erosão Marginal	2	2	2	1	2	2	1	1	11	MÉDIA
Supressão Vegetal	2	2	2	1	2	2	1	1	11	11

Fonte: o Autor, 2023.

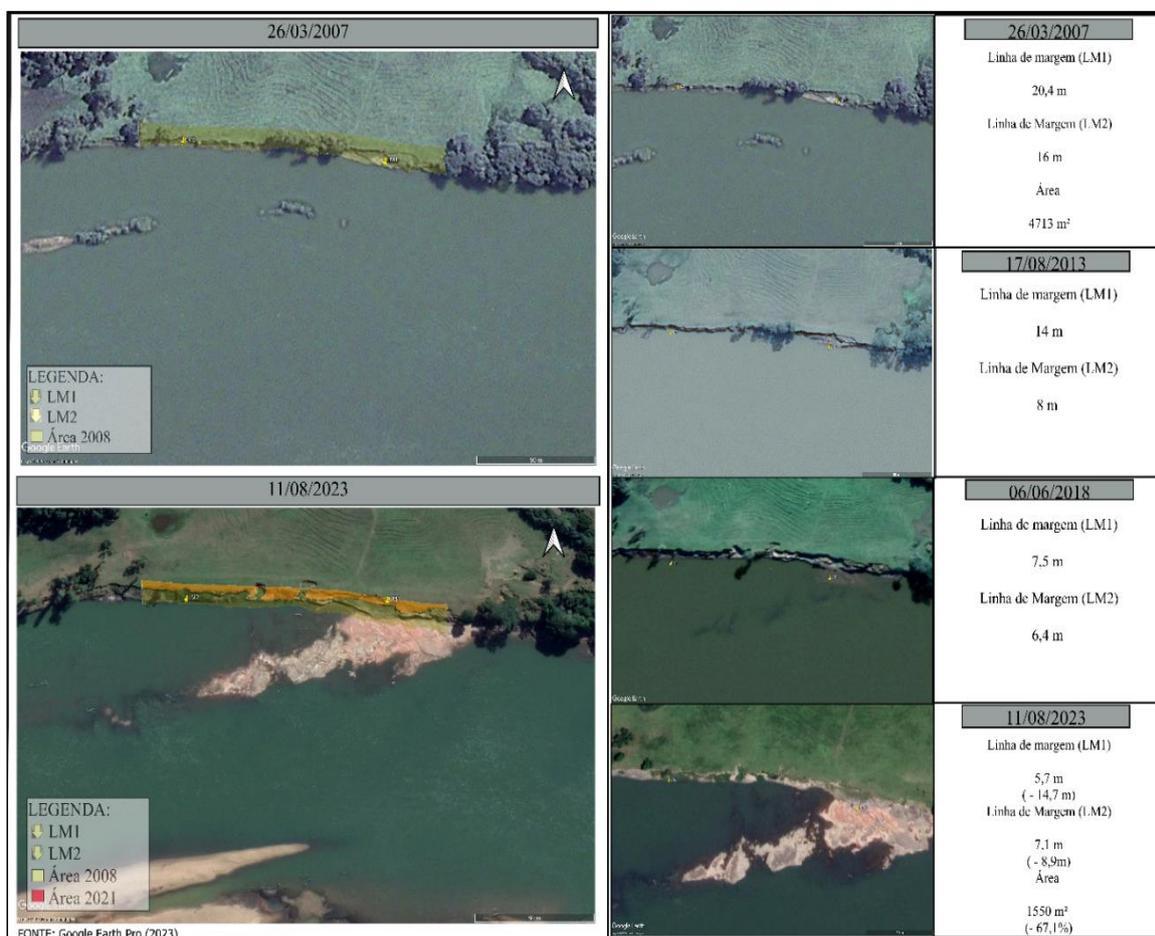
7.1.6 Área 6

A área 6 fica a Nordeste da zona urbana de Rio Pardo, localizado num meandro acentuado do rio Jacuí. Fica a 1 km do Balneário Porto das Mesas. Sendo, dentre todas as áreas impactadas, a mais próxima de um local impróprio para mineração de areia pela FEPAM.

Encontra-se numa região de planície de inundação ativa em épocas de cheia do rio, comumente chamada de várzea. Onde, de acordo com a FEPAM, se tem um incremento moderado na velocidade das águas do rio.

A área 6 obteve grandes perdas de linha de margem no período de análise. Conforme pode ser visto na figura 18, com a maior regressão indo de 14,7 metros de encosta nas margens côncavas do rio (LM1), lado esquerdo, entre o período de 26/03/2007 até 11/08/2023. Totalizando aproximadamente 67,1% de área erodida. Com uma média de 0,74 m/ano de perda neste período, é enquadrada como de alto impacto, conforme a tabela 9.

Figura 18 – Imagens de satélite da área 6.



Fonte: o Autor, 2023.

É possível visualizar que, ainda em 26/04/2007 a área apresenta poucas árvores de pequeno e médio porte nas margens. Com algumas no centro e bordas das imagens da área, visíveis na figura 18. E, a partir de 06/06/2018, a área não apresenta mata ciliar nas suas margens.

Às maiores perdas então nas imagens de 26/03/2007 a 17/08/2013, indo de 20,4 metros para 14 metros na LM1, e 16 metros para 8 metros na LM2.

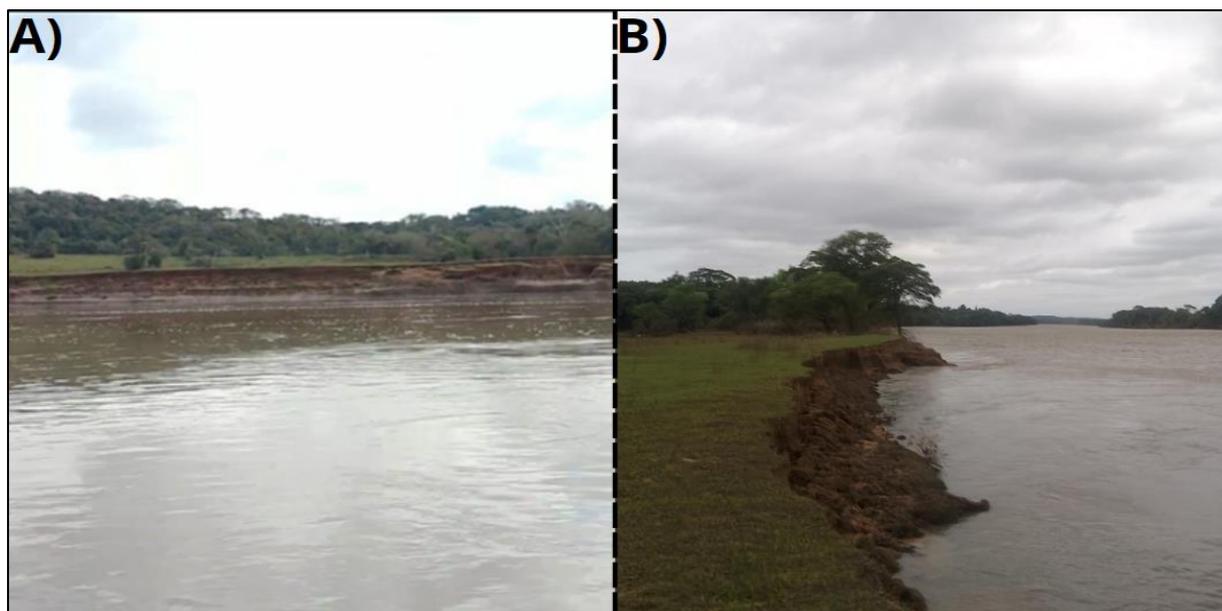
Tanto as imagens de satélite, quanto a fotografias da figura 19, mostram o intenso processo erosivo presente nas encostas da área 6. Com solapamento, e, em alguns casos, a retroerosão do solo, causando o efeito de degraus nas margens. Semelhantes ao demonstrado nas imagens do trabalho de Filho e Quadros (2017) e Bandeira (2018). Com elevada tendência dos processos erosivos se agravarem, considerando a: I) ausência de vegetação; II) o alto ângulo das encostas; e III) margem concava, com incremento de velocidade das águas.

Tabela 9 – Matriz de impactos simplificada da área 6.

INDICADORES	Magnitude	PESO	Sensibilidade	PESO	Gap temporal	PESO	Vetores de pressão	PESO	Significância	
Erosão Marginal	2	2	2	2	2	2	1	1	13	MÉDIA
Supressão Vegetal	2	2	2	1	2	1	1	1	9	11

Fonte: o Autor, 2023.

Figura 19 – A) Fotografia da área 6 registrada pela FEPAM em 2021, e B) fotografia registrada pelo Autor em 2023.



Fonte: FEPAM (2021); e o Autor (2023).

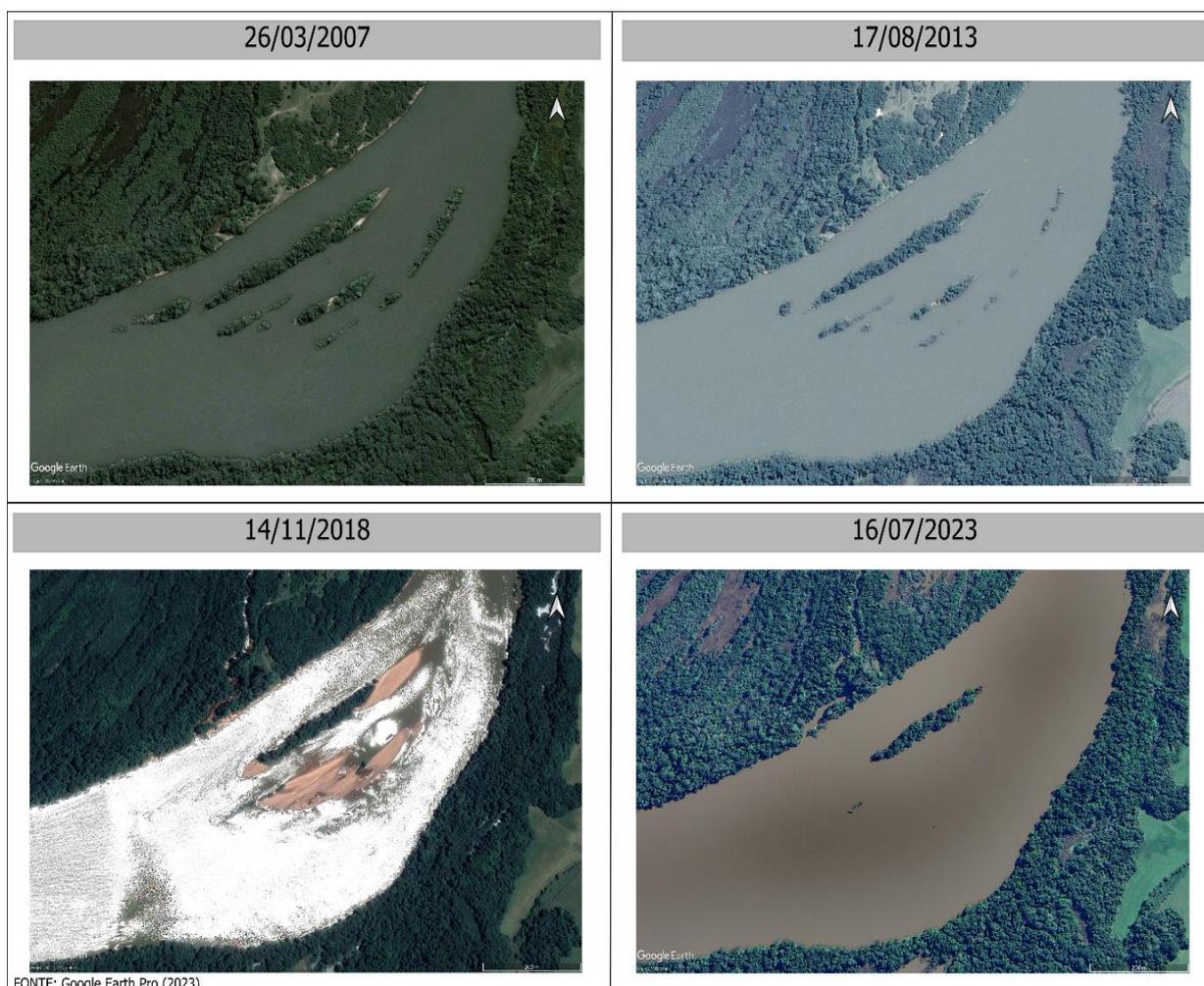
7.1.7 Área 7

É a área localizada mais ao Leste do município. Formada por, pelo menos, uma ilha fluvial de maior dimensão, 6 ilhas fluviais menores, e todas descontínuas entre si.

Essa ilha está inserida numa área classificada como de sensibilidade média para mineração de areia pela FEPAM, com risco altíssimo de erosão do leito, por fatores hidrodinâmicos do rio. Além de estar em área prioritária para conservação da biodiversidade de importância extremamente alta.

Foi a única ilha fluvial com registros de perda da área significativa no município, conforme registrado nas imagens da figura 20. Indo de 33.802 m, em 26/07/2007, para apenas 10.161 m, em 16/07/2023. Representando uma perda de, aproximadamente, 60% da superfície da ilha.

Figura 20 – Imagens de satélite da área 7.



Fonte: o Autor, 2023.

Conforme a tabela 10, essa área foi enquadrada como de alto impacto. Tanto pelos indicadores de impactos nas margens da ilha, quanto pela perda considerável de mata ciliar.

Tabela 10 – Matriz de impactos simplificada da área 7

INDICADORES	Magnitude	PESO	Sensibilidade	PESO	Gap temporal	PESO	Vetores de pressão	PESO	Significância	
Erosão Marginal	2	2	2	2	2	2	1	1	13	MÉDIA
Supressão Vegetal	2	2	2	2	2	2	1	1	13	13

Fonte: o Autor, 2023.

Salienta-se que, por estar dentro do rio, os dados semiquantitativos com relação a perda de área por sensoriamento remoto apresentam limitação em relação ao nível da água de cada imagem orbital obtida, porém como são imagens comparativas a partir de pontos conhecidos os erros, no caso de época de secas são relevados pela metodologia empregada. Uma vez que a influência do volume das águas no rio poderia cobrir porções consideráveis da ilha, causando superestimava das reais perdas.

7.2 Mapas temáticos

Nesta seção são apresentados os mapas Oeste, **figura 21**, e Leste, **figura 22**, da estabilidade das encostas e áreas de preservação permanente do rio Jacuí, no município de Rio Pardo.

O mapa do setor Leste apresenta as maiores sensibilidades para a mineração de areia, que variam de muito baixa, baixa a média. Com aumento progressivo da sensibilidade no sentido jusante do rio Jacuí. Além de locais com altíssimo grau de erosão do leito, em áreas de importância faunística do Vale do Rio Pardo (Área 7).

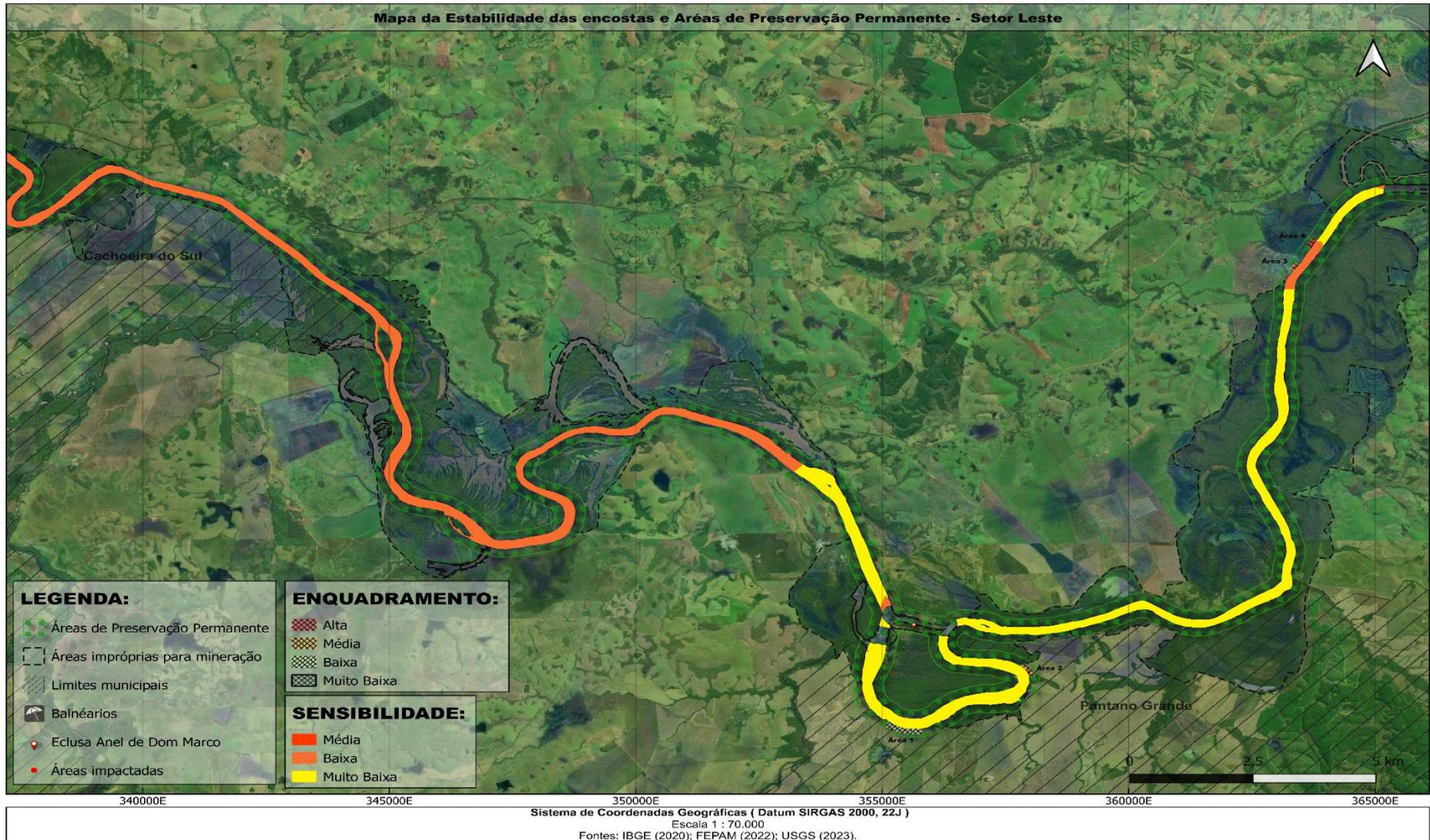
O enquadramento do grau de impacto das áreas analisadas apresentou a mesma tendência de aumento. Consistindo em 4 áreas impactadas no setor Oeste, **figura 21**, uma baixa, duas médias e uma de alto grau de impacto. E três áreas no setor Leste, **figura 22**, todas enquadradas como de alto grau de impacto.

Exceto pelas áreas 3 e 6, o município de Rio Pardo apresentou uma boa preservação e conectividade da mata ciliar e APP. Principalmente considerando outros municípios levantados pelo zoneamento da FEPAM (2021). Onde, os trechos 1 e 3 apresentaram 50,6% e 54,7%, respectivamente, das áreas de APP convertidas a outros usos. Sendo principalmente para agricultura, ocupação e urbanização humana.

Enquanto em Rio Pardo, e uma pequena parte de Pantano Grande, este valor não ultrapassa os 12% de áreas convertidas. Semelhante aos dados levantados pela FEPAM, com 84% das áreas naturais preservadas no trecho 2 do zoneamento, no qual o município de estudo está inserido.

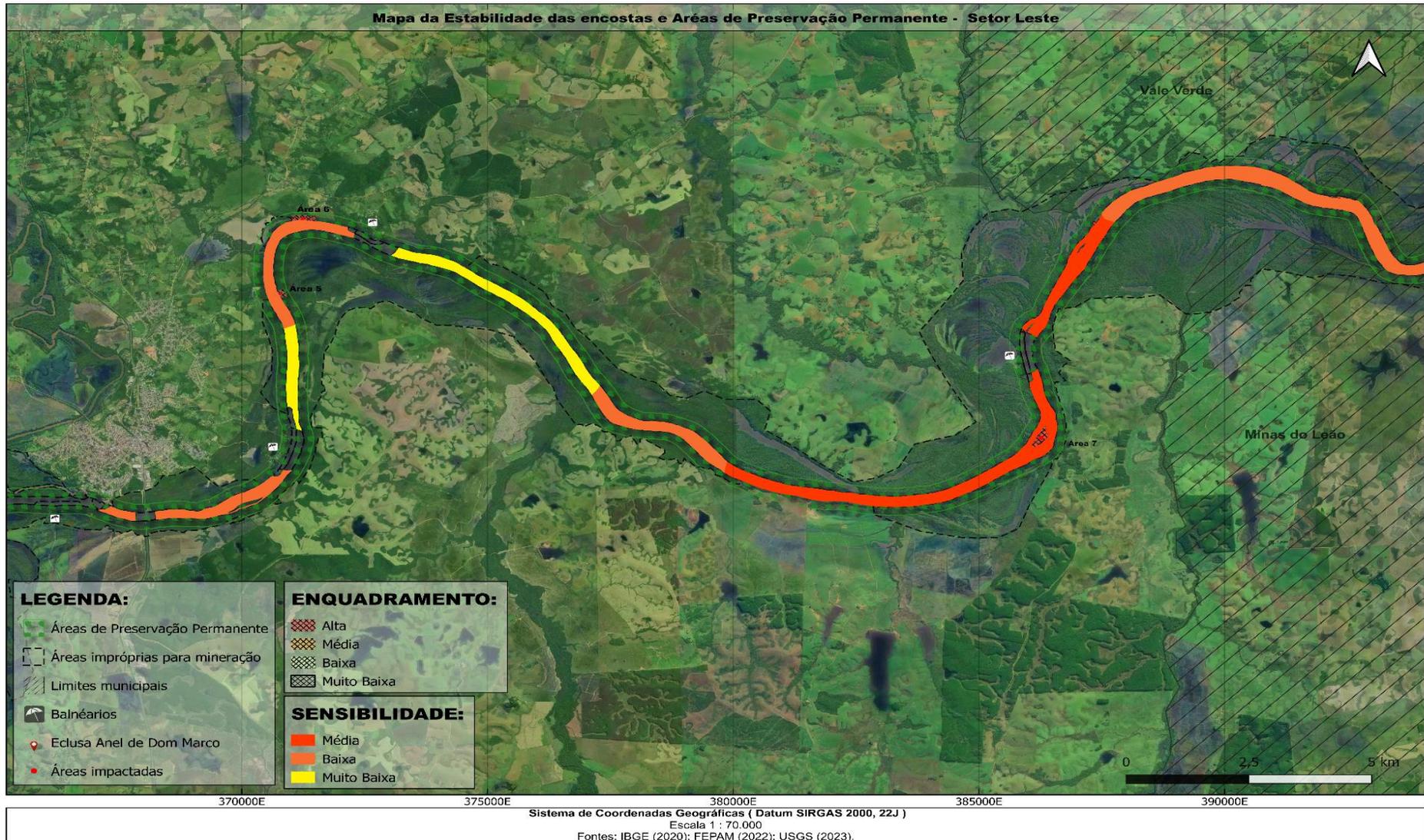
Vale ressaltar que a FEPAM considerou as APP como 500 metros a partir das margens do rio, em todos os seus trechos e subtrechos. Enquanto, neste estudo utilizou-se os 200 metros, de acordo com a figura 11, e em conformidade com o Código Florestal Brasileiro de 2012 (BRASIL, 2012).

Figura 21 – Mapas de Estabilidade das encostas e Áreas de Preservação Permanente: Setor Oeste.



Fonte: IBGE (2020); FEPAM (2022); e USGS (2023) [Adaptado].

Figura 22 – Mapas de Estabilidade das encostas e Áreas de Preservação Permanente: Setor Leste.



Fonte: IBGE (2020); FEPAM (2022); e USGS (2023) [Adaptado].

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fiscalização da erosão das margens de rios e a perda progressiva da mata ciliar, principalmente na estimativa dos reais impactos de empreendimentos minerários na extração de areia, é muitas vezes um desafio, tanto para os órgãos reguladores dessas atividades, quanto para profissionais liberais e empresas de consultoria do ramo ambiental. A interdisciplinaridade desse tema é fator essencial na resolução e na mitigação desses impactos naturais e antrópicos.

Conforme já mencionado, a instabilidade das margens é de difícil mensuração em termos quantitativos. E, desta forma, enquadrá-las em classes de risco, com auxílio de ferramentas SIG, são as metodologias mais adequada na regulamentação, e na fiscalização dessas atividades minerárias. Colaborando no processo de tomada de decisão dos órgãos fiscalizadores, como a FEPAM, na parametrização das medidas compensatórias e na escolha das diretrizes ambientais necessárias. Tornando o emprego do sensoriamento remoto a ferramenta mais eficiente neste contexto, de preferência com a utilização de imagens de satélites orbitais de altas resoluções espaciais e radiométricas.

No presente estudo, a utilização de imagens de satélite na escala de tempo de 2007 a 2023, junto com a integração dos dados fornecidos pelo zoneamento ambiental para atividade de extração de areia no rio Jacuí, realizado pela FEPAM, se demonstraram satisfatórios na análise da instabilidade das margens do rio Jacuí, e no estado de conservação das APPs, em diferentes locais ao longo do rio no município de Rio Pardo.

O município apresentou uma boa conectividade entre as matas ciliares ao longo do rio Jacuí, exceto pelas áreas 3 e 6. Com razoável conservação das APPs dentro do período analisado, principalmente próximos a locais impróprios para mineração pela FEPAM.

No entanto, foram observados diversos locais dentro das delimitações de APP com uso para lavoura e pastagem. Inclusive algumas muito próximas às próprias margens do rio, como as áreas 1, 2, e 3. Estando estas atividades em desconformidade com as leis vigentes de aproveitamento para APP. Necessitando a cooperação dos órgãos municipais e estaduais na fiscalização desses conflitos territoriais.

O maior gargalo do trabalho foi a inexistência de imagens de satélite em determinado intervalo de tempo, ou dificuldade de visualização fenômeno estudado, em algumas áreas impactadas no município. O que acaba defasando o processo de aquisição dos dados, principalmente em demonstrar a perda gradual das margens e mata ciliar ao longo do tempo, e a influência sazonal da coluna d'água do rio. Podendo, se não for interpretado corretamente, causar superestimativas dos impactos analisados.

Outro gargalo foi a inviabilidade da realização dos trabalhos de campo, que constava no registro fotográficos das margens, e as medições de Sólidos Totais Dissolvidos com e sem a operação de dragas. Esse impedimento foi devido às cheias do rio Jacuí no decorrer do desenvolvimento do estudo.

Para futuros trabalhos inseridos neste contexto, sugere-se a realização dessas atividades complementares de campo nas áreas impactadas no presente estudo. Em conjunto com a continuidade da coleta e às interpretações das imagens de satélite nos anos subsequentes. Assim como aplicação de novas metodologias para medição da perda dessas encostas no rio Jacuí. Corroborando assim com dados mais fidedignos dessas perdas, com o objetivo na mitigação das taxas de erosão das margens, principalmente daquelas áreas próximas a comunidades ribeirinhas e unidades de conservação.

9 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DA MINERAÇÃO (ANM). **Acesso à Informação – Disponibilidade de Áreas**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/acao-a-informacao/disponibilidade-de-areas>>. Acesso em: 13 abr. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DA MINERAÇÃO (ANM). **Sistema de Informações Geográficas da Mineração – SIGMINE**. Disponível em: <<https://geo.anm.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=6a8f5ccc4b6a4c2bba79759aa952d908>>. Acesso em: 13 abr. 2023.

BANDEIRA, Iris Celeste Nascimento et al. Terras caídas: Fluvial erosion or distinct phenomenon in the Amazon?. **Environmental earth sciences**, v. 77, p. 1-16, 2018. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-018-7405-7>> Acesso em: 18 abr. 2023.

BARBOSA, C. C. F.; NOVO, E. M. L. M.; MARTINS, V. S. **Introdução ao sensoriamento remoto de sistemas aquáticos: princípios e aplicações**. INPE: São José dos Campos, 2019.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidente da República, [2023]. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 18 abr. 2023.

BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Ano CXLIX, n. 102, 28 maio 2012. Seção 1, p.1. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 1 jul. 2023.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. 1986. **Resolução CONAMA nº 001/1986**. Estabelece critérios básicos e diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impactos Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente – IBAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, Brasil.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. 1986. **Resolução CONAMA nº 010/1990**. Dispõe sobre normas específicas para o licenciamento ambiental de extração mineral da classe II.

CPRM. **MAPA GEOLÓGICO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/cartografia_regional/mapa_rio_grande_sul.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2023.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER (FEPAM). Arquivos digitais para uso em SIG – base cartográfica digital do RS 1:250.000. 2022. Disponível em: <https://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp> Acesso em: 5 abr. 2023.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER (FEPAM). **Zoneamento ambiental para a atividade de mineração de areia nos cursos médio e baixo do rio Jacuí**: relatório final. Porto Alegre. Governo do Estado do Rio Grande do Sul, SEMA, FEPAM, 2021. Disponível em: <<https://fepam.rs.gov.br/zoneamento-ambiental-para-a-atividade-de-mineracao-de-areia-nos-cursos-medio-e-baixo-do-rio-jacui>>. Acesso em: 5 abr. 2023.

FILHO, L. C. Z.; QUADROS, T. F. P. Efeito da dinâmica fluvial e da ação antrópica sobre a erosão de margens fluviais: o caso da mineração de areia no rio Jacuí. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 11, n. 1, p. 49-64, 2017. Disponível em: <<https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/article/download/3179/pdf>>. Acesso em: 9 abr. 2023.

GOOGLE EARTH PRO. **Google Earth Pro®**; versão 7.3.6.9345, 64 bits. [S.l.]: Windows 11 Home Single Language. Google Corporation, 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico: Rio Pardo** [2021]. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/rio-pardo.html>>. Acesso em: 1 abr. 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: **Malha Municipal** [2020]. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>> Acesso em: 1 abr. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE) - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. **LANDSAT**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>>. Acesso em: 7 abr. 2023.

JELINEK, A. R.; SOMMER, C. A. Contribuições à Geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. **Repositório UFRGS**, 2021.

MILANI, E. J. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-ocidental. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, v. 1 e 2, 1997. 235p. 1997. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado.

NOGUEIRA, G. R. F. A extração de areia em cursos d'água e seus impactos: proposição de uma matriz de interação. **Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária na Universidade Federal de Juiz de Fora**, Juiz de Fora, v. 29, 2016.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto**: princípios e aplicações. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008. v. 1. 363p

PINTO, António Augusto Sampaio. Estabilização de margens fluviais. Uma abordagem multifuncional. **Repositório Aberto da Universidade do Porto FEUP – Faculdade de Engenharia FEUP – Tese**, 2018.

QGIS Development Team, [2021]. QGIS - Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. **QGIS 3.28.5**. versão 64 bits. [S.I]: Windows 11 Home Single Language. Disponível em: <<https://qgis.org/en/site/>>. Acesso em: 1 jul. 2023.

RODRIGUES, R. M.; LIMA, J. J.; SANTOS, M. S. **Apontamentos para a regularização urbanística e fundiária em Áreas de Preservação Permanente (APP) em meio urbano na Amazônia: o caso do município de Mãe do Rio.** Seminário Nacional sobre o Tratamento de Áreas de Preservação Permanente em Meio Urbano e Restrições Ambientais ao Parcelamento do Solo, v. 3, 2014.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SEMA – Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. [2023]. Disponível em: <<https://sema.rs.gov.br/g070-bh-baixo-jacui>>. Acesso em: 1 jul. 2023.

SILVEIRO, Mauro Emanuel Pinheiro. **Caracterização morfológica de cavidades de erosão em ambiente laboratorial com aplicação de geomática.** 2020. Tese de Doutorado. Universidade da Beira Interior (Portugal).

TAGLIARI, Paula Durante; BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello. Monitoramento de áreas de preservação permanente (APP) interceptadas pela ferrovia norte-sul em um trecho do estado de Goiás/Brasil, por meio de dados de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 8, n. 3, 2020.

TRF4 – **TRIBUNAL REGIONAL FEDERAL DA 4ª REGIÃO.** Disponível em: <https://www.trf4.jus.br/trf4/controlador.php?acao=noticia_visualizareid_noticia=23663>. Acesso em: 8 abr. 2023.

UFMS – Universidade Federal de Santa Maria. **Solos do Rio Grande do Sul.** [2023]. Disponível em: <<https://www.ufsm.br/museus/msrs/unidade-de-solos>>. Acesso em: 1 jul. 2023.

USGS – United States Geological Survey. **Earth Explorer.** Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>> Acesso em: 11 out. 2023.

VIEIRA, E. G.; REZENDE, E. N. Exploração Mineral de Areia e um Meio Ambiente Ecologicamente Equilibrado: É possível conciliar?. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 6, n. 2, p. 171-172, mai-ago. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.18472/SustDeb.v6n2.2015.10795>> Acesso em: 8 abr. 2023.