

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

FELIPE DE AGUIAR LOPES

**ANÁLISE DA MORFODINÂMICA DE UMA SEÇÃO DO RIO IBICUÍ ATRAVÉS DE
IMAGENS DE SATÉLITE PARA O PERÍODO DE 1985 A 2024**

**Itaqui
2024**

FELIPE DE AGUIAR LOPES

**ANÁLISE DA MORFODINÂMICA DE UMA SEÇÃO DO RIO IBICUÍ ATRAVÉS DE
IMAGENS DE SATÉLITE PARA O PERÍODO DE 1985 A 2024**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Componente Curricular TCC II do Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel.

Orientador: Prof^o. Dr. Sidnei Luís Bohn Gass

**Itaqui
2024**

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) .

L864a Lopes, Felipe de Aguiar

Análise da morfodinâmica de uma seção do rio Ibicuí
através de imagens de satélite para o período de 1985 a
2024 / Felipe de Aguiar Lopes.

39 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)--
Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
E DE AGRIMENSURA, 2024.

"Orientação: Sidnei Luís Bohn Gass".

1. Mapeamento geomorfológico. 2. Sensoriamento
Remoto. 3. Itaqui. 4. Cartografia. I. Título.

FELIPE DE AGUIAR LOPES

**ANÁLISE DA MORFODINÂMICA DE UMA SEÇÃO DO RIO IBICUÍ ATRAVÉS DE
IMAGENS DE SATÉLITE PARA O PERÍODO DE 1985 A 2024**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Componente Curricular TCC II do Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 19/12/2024.

Banca examinadora:

Prof^o. Dr. Sidnei Luís Bohn Gass
Orientador
UNIPAMPA Campus Itaqui

Prof^o. Igor Silveira Elesbão
UNIPAMPA Campus Itaqui

Prof^o. MSc. Dieison Morozoli da Silva
UFRGS

Dedico este trabalho em memória de minha amada mãe Liana Teixeira de Aguiar e meu amado irmão Luyan de Aguiar Lopes. A dor da perda e da saudade são imensuráveis em minha vida. Minha eterna gratidão por tudo que aprendi com vocês, e por ter tido o grande privilégio de conviver com seres humanos tão incríveis. Amo-os eternamente!

AGRADECIMENTO

Primeiramente, gostaria de expressar minha profunda gratidão a Deus, pela saúde e pela vida que nos concede. Sem sua bênção, nada disso seria possível.

Sou imensamente grato a todos os professores que me auxiliaram em minha vida acadêmica. Tenho grande respeito e admiração por sua profissão e pelo impacto que tiveram na minha formação. A dedicação dos professores é crucial não apenas para nosso desenvolvimento acadêmico, mas também para a formação de todos os outros profissionais. Através de sua orientação e conhecimento, fui capaz não apenas de adquirir competências, mas também de entender a importância do aprendizado contínuo e da excelência profissional.

Agradeço aos meus pais, Luiz Afonso Lopes de Lopes e Liana Teixeira de Aguiar por todo amor, carinho, apoio e por terem me proporcionado a oportunidade de estudar e ter uma formação profissional. A todos meus colegas e amigos da faculdade, em especial aos quais tive mais proximidade: Jorge Atilio Vurvopulos Pereira, Allyson Campos Nunes, Iuri Vanderlei Gonçalves Vasconcellos, Danilo Venturini de Melo Sant Anna, Pedro Emanuel Peres Diani, Paulo Roberto Muller Amorim Junior, André Fontana Weber, Sandy Andrade Joia e Gustavo Simionato Campara. Deixo aqui meu sincero agradecimento por todas as experiências compartilhadas, vocês foram essenciais para tornar essa caminhada mais leve e enriquecedora. Quero expressar minha gratidão à minha namorada Gabrielen da Silva Soares, por seu carinho, compreensão e por estar sempre ao meu lado. Agradeço de coração ao meu orientador, Prof^o. Dr. Sidnei Luís Bohn Gass, e ao meu coorientador Prof^o. Igor Silveira Elesbão, por todo apoio e suporte durante essa jornada de TCC.

Sou eternamente grato por todas as oportunidades e desafios que encontrei ao longo do meu caminho. Cada obstáculo superado e cada conquista alcançada são frutos do esforço conjunto de todos aqueles que estiveram ao meu lado, me incentivando e acreditando em meu potencial. A todos os amigos que fiz durante essa jornada, que tornaram cada dia mais especial com suas presenças e companheirismo, meu sincero obrigado. Com imensa gratidão, encerro este capítulo da minha vida acadêmica, confiante de que os próximos passos serão igualmente desafiadores e recompensadores. A todos que contribuíram para o meu crescimento, meu muito obrigado!

“Não há no mundo exagero mais belo que a gratidão.”

Jean de la Bruyère

RESUMO

O município de Itaqui, a qual está localizada na fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul, é uma região marcada por sua estreita relação com as águas que a circundam. Ao longo dos anos, essa proximidade com os cursos d'água trouxe tanto benefícios quanto desafios, sendo um dos mais notáveis a recorrência de inundações devido ao elevado volume de chuvas na região. Neste contexto, o presente estudo concentra-se na análise da morfodinâmica do rio Ibicuí, um curso d'água de grande relevância na região. O rio Ibicuí é um afluente do rio Uruguai, que por sua vez integra a Bacia Platina, desaguando finalmente no Oceano Atlântico, a oeste do estado do Rio Grande do Sul. A importância desse rio na vida da comunidade de Itaqui é indiscutível, influenciando aspectos econômicos, sociais e ambientais. O objetivo deste trabalho é conduzir um acompanhamento minucioso da evolução do rio Ibicuí ao longo de cinco décadas, compreendendo o período de 1970 a 2024. Utilizando técnicas de sensoriamento remoto e mapeamento geomorfológico, a pesquisa busca não apenas entender a dinâmica fluvial do rio, mas também investigar os impactos de eventos hidrológicos extremos sobre o regime pluvio-fluviométrico da região. O conhecimento gerado por essa análise proporcionará informações as quais serão muito importantes para a compreensão das mudanças na paisagem e na gestão dos recursos hídricos.

Palavras-Chave: Sensoriamento Remoto; Rio Ibicuí; Itaqui; curso d'água; mapeamento geomorfológico.

ABSTRACT

The city of Itaqui, located on the western border of the state of Rio Grande do Sul, is a region marked by its close relationship with the waters that surround it. Over the years, this proximity to watercourses has brought both benefits and challenges, with one of the most notable being the recurrence of floods due to the high rainfall volume in the area. In this context, the present study focuses on the analysis of the morphodynamics of the Ibicuí River, a watercourse of great significance in the region. The Ibicuí River is a tributary of the Uruguai River, which in turn is part of the Platina Basin, eventually flowing into the Atlantic Ocean to the west of the state of Rio Grande do Sul. The importance of this river in the life of the Itaqui community is undeniable, influencing economic, social, and environmental aspects. The objective of this work is to conduct a thorough monitoring of the evolution of the Ibicuí River over five decades, covering the period from 1970 to 2024. Using remote sensing techniques and geomorphological mapping, the research aims not only to understand the river's fluvial dynamics but also to investigate the impacts of extreme hydrological events on the rainfall and river discharge regime in the region. The knowledge generated by this analysis will provide valuable information for understanding changes in the landscape and in water resource management.

Keywords: Remote Sensing; Ibicuí River; Itaqui; watercourse; geomorphological mapping.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da metodologia utilizada.....	17
Figura 2 - Imagens utilizadas no trabalho.....	20
Figura 3 - Mapa de localização da área de estudo.....	22
Figura 4 - Dados finais rasterizados para o ano de 1985.....	26
Figura 5 - Diagrama de Sankey para os anos de 1985 a 1994.....	27
Figura 6 - Dados finais rasterizados para o ano de 1994.....	28
Figura 7 - Diagrama de Sankey para os anos de 1994 a 2005.....	29
Figura 8 - Dados finais rasterizados para o ano de 2005.....	30
Figura 9 - Diagrama de Sankey para os anos de 2005 a 2013.....	31
Figura 10 - Dados finais rasterizados para o ano de 2013.....	32
Figura 11 - Diagrama de Sankey para os anos de 2013 a 2023.....	33
Figura 12 - Dados finais rasterizados para o ano de 2023.....	34
Figura 13 - Diagrama de Sankey para os anos de 1985 e 2023.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Intervalos de coleta e análise	18
Tabela 2 - Imagens utilizadas	19
Tabela 3 - Área, em hectares, dos dados rasterizados	25

LISTA DE SIGLAS

MDE - Modelo Digital de Elevação

NASA - National Aeronautics and Space Administration

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

ANA - Agência Nacional das Águas

L2 - Level 2

OLI - Operational Land Imager

TIRS - Thermal Infrared Sensor

C2 - Collection 2

SRC - Sistema de Referência de Coordenadas

EPSG - European Petroleum Survey Group

QGIS - Quantum GIS

ha - Hectares

cm - Centímetros

m - Metros

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 Geral.....	14
2.2 Específico	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 Mapeamento geomorfológico	14
3.1.1 Sensoriamento Remoto	16
4 MATERIAL E MÉTODOS	16
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	24
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
REFEÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

Situado na fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul, o município de Itaqui, que faz divisa com a Argentina, destaca-se por sua estreita relação com os recursos hídricos da região. Um representante desses recursos é o rio Ibicuí, que é um afluente do rio Uruguai, integrante da Bacia do Prata, cuja relevância é indiscutível para Itaqui, influenciando aspectos econômicos, sociais e ambientais.

O sensoriamento remoto, conforme Liu (2015), é uma ferramenta que permite a obtenção de dados sobre a superfície terrestre sem contato físico direto. Sensores em aeronaves ou satélites capturam informações em diversas faixas do espectro eletromagnético, gerando imagens e dados úteis em áreas como agricultura, cartografia, monitoramento ambiental e geologia. Essa técnica é fundamental para o monitoramento de mudanças na paisagem ao longo do tempo foi essencial para este estudo.

O mapeamento geomorfológico desempenha um papel crucial na investigação da superfície terrestre, fornecendo informações sobre as características geológicas, topográficas e hidrológicas de uma área. No caso do rio Ibicuí, esse método permitiu identificar e classificar formas de relevo, como vales, planícies aluviais e escarpas, além de revelar detalhes sobre a geologia local, como composição do solo e estruturas geológicas importantes.

Com base na geomorfologia da região, pode-se analisar padrões de drenagem e compreender como processos erosivos moldaram a paisagem ao longo do tempo. Tais informações são indispensáveis para a gestão de recursos hídricos e para estratégias de conservação ambiental.

Essa análise é relevante devido à importância do rio para a região de Itaqui, onde desempenha papel essencial no abastecimento de água potável, irrigação, transporte e lazer, além de abrigar uma rica biodiversidade. Ao compreender a dinâmica e o desenvolvimento da paisagem ao longo do rio Ibicuí, o estudo fornece subsídios para o planejamento ambiental e a gestão sustentável dos recursos naturais da região.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

- Objetiva-se com o presente estudo, mapear a morfodinâmica do rio Ibicuí, em sua seção final, entre a foz do rio Itu e o exutório da bacia do rio Ibicuí, no período de 1985 a 2024, a partir de dados de sensoriamento remoto.

2.2 Específico

- Realizar um mapeamento geomorfológico detalhado do rio Ibicuí, identificando e classificando as formas de relevo presentes, como vales, planícies aluviais, morros e escarpas.
- Investigar a influência da geomorfologia na dinâmica fluvial do rio Ibicuí, deduzindo padrões de drenagem e compreendendo como os processos erosivos influenciaram a paisagem ao longo do tempo.
- Realizar uma análise comparativa entre os dados de diferentes épocas, identificando padrões de evolução geomorfológica e detectando eventos específicos que influenciaram a dinâmica do rio.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A análise da morfodinâmica fluvial, como proposta neste estudo, requer a contextualização de conceitos e técnicas específicas para o entendimento da dinâmica dos cursos d'água e de suas interações com o meio ambiente. Nesse sentido, o referencial teórico abordará temas relacionados ao contexto geográfico, à importância do rio Ibicuí para a região de Itaqui, bem como às técnicas de sensoriamento remoto e mapeamento geomorfológico.

3.1 Mapeamento geomorfológico

A relevância de compreender as formas de relevo e os processos geradores, conforme destacado por Cunha, Mendes e Sanchez (2003), fundamenta-se no fato de

que o relevo constitui o substrato físico sobre o qual as atividades humanas se desdobram.

Segundo FUCKNER (2003), a Geomorfologia estuda as formas da superfície terrestre. Para isso, tende a identificar, descrever e analisar tais formas, entendidas genericamente como unidades de relevo, em seus aspectos genéticos, cronológicos, morfológicos, morfométricos e dinâmicos, tanto pretéritos como atuais e naturais ou antropogênicos. O mapeamento geomorfológico identifica os domínios morfoestruturais, as regiões geomorfológicas e as unidades geomorfológicas ou sistemas de relevo, que correspondem a formas fisionomicamente semelhantes em seus tipos de modelado.

De acordo com Botelho e Pelech (2019), nos anos 2000, ocorreu um avanço tecnológico significativo no cenário global com a obtenção e acesso a imagens de resoluções cada vez melhores, provenientes do sensoriamento remoto. Para as atividades de mapeamento geomorfológico, a disponibilidade de dados altimétricos do Modelo Digital de Elevação (MDE), produzido pela NASA em 2004, por meio da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), com resolução espacial de 90 metros, teve um impacto significativo. A equipe assimilou essas mudanças tecnológicas ao longo do levantamento, e o que inicialmente poderia representar um detalhamento satisfatório do Projeto RADAMBRASIL, em muitos casos, transformou-se em um mapeamento completamente novo devido à qualidade dos novos insumos e às possibilidades das ferramentas computacionais mais recentes.

Em um dos últimos livros do RADAMBRASIL (GATTO et al., 1983), diz-se que o avanço no mapeamento geomorfológico ocorreu devido ao aprimoramento na capacidade de observar e controlar como representar formas, materiais e processos morfogenéticos, além dos estudos experimentais realizados.

O Projeto RADAMBRASIL, concluído em 1985 após 15 anos de trabalho, foi essencial para avançar o mapeamento do relevo no Brasil. Sem experiências prévias nesse tipo de mapeamento em pequena escala, o projeto conseguiu mapear todo o relevo nacional usando imagens de radar em 37 folhas na escala de um milhão (NETO; ZAIDAN; JR, 2015).

Conforme destacado por Cruz (1980), iniciar o planejamento, especialmente ao lidar com a bacia hidrográfica como unidade de trabalho, requer a realização do levantamento das formas de relevo. Isso se justifica pelo fato de que as bacias de drenagem desempenham um papel fundamental na modelagem do relevo. Através do

mapeamento geomorfológico, torna-se possível não apenas identificar a morfologia, mas também, ao correlacionar com outros aspectos naturais, delinear áreas onde é possível sugerir usos potenciais e restrições.

3.1.1 Sensoriamento Remoto

De acordo com Crosta (1992), as imagens de sensoriamento remoto são compostas por uma grade de elementos digitais ou discretos. Cada célula dessa grade é chamada de pixel, que é uma abreviação de “picture element” em inglês. Cada pixel representa uma área com as mesmas dimensões na superfície da Terra. A localização de cada pixel é definida por um sistema de coordenadas de linha e coluna, representados por “x” e “y”, respectivamente. Por convenção, a origem da grade é sempre no canto superior esquerdo.

O sensoriamento remoto, conforme descrito por Câmara et al. (1997), refere-se ao conjunto de procedimentos e técnicas empregados com a finalidade de mensurar e registrar as características eletromagnéticas da superfície terrestre. Isso é realizado por meio da detecção do fluxo de energia radiante refletida ou emitida pelos alvos naturais e objetos.

Conforme Crosta (1992), o propósito do processamento digital de imagens em sensoriamento remoto é disponibilizar recursos que simplifiquem a identificação e extração de informações presentes nas imagens, visando uma interpretação posterior. Para alcançar esse objetivo, são empregados sistemas especializados de computação, destinados à análise e manipulação das imagens originais. O desfecho desse procedimento é a criação de novas imagens que já incorporam informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens originais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo, foram obtidos dados hidrométricos através do site Hidroweb, em seguida, na aba “Séries Históricas” foram aplicados os filtros, os quais podem ser observados no Quadro 1, para a seleção das estações.

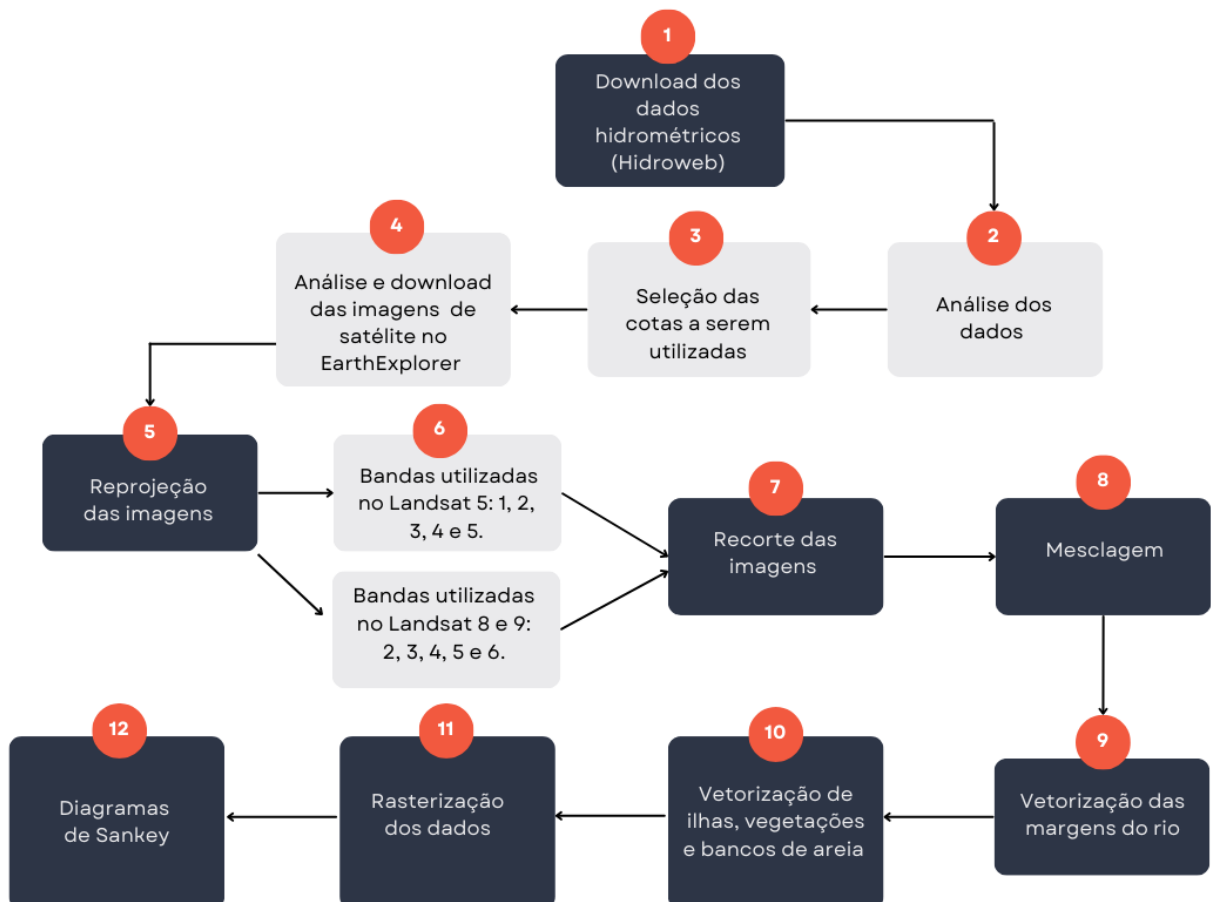
Quadro 1: Filtros das estações

Tipo de Estação:	Fluviométrica
Bacia:	Rio Uruguai
Sub-bacia:	Rios Uruguai, Ibicuí e outros
Rio:	Rio Ibicuí
Estado:	Rio Grande do Sul
Município:	Itaqui
Operando:	Sim

Fonte: Autoria própria.

Todo o processo da metodologia utilizada no presente estudo, é possível observar logo a seguir, na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma da metodologia utilizada



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os arquivos da estação Passo Mariano Pinto (código 76800000) foram baixados e o intervalo de tempo selecionado abrangeu os anos de 1985 à 2024. Posteriormente, os dados de cotas hidrométricas para os anos 1985, 1995, 2005, 2015 e 2024 foram analisados.

A seleção das cotas foi direcionada para períodos com níveis mais próximos de zero, correspondentes ao nível normal do Rio Ibicuí, para ter assim uma melhor comparação entre os anos selecionados. No entanto, enfrentaram-se limitações, como ausência de dados para determinados anos, valores de cotas elevados e imagens de satélite com muita sobreposição de nuvens. Observou-se também que para os meses 8, 9 e 10 de 2023, os dados de cotas estavam indisponíveis na tabela de séries históricas da ANA.

Para contornar essas limitações, ampliou-se o intervalo de coleta de dados para incluir até um ano antes e um ano depois, dos períodos originalmente estipulados. Assim como, para selecionar quais dados de cotas seriam utilizados no trabalho, foi estipulado que as cotas das imagens as quais iriam ser utilizadas, deveriam ter valores de cota com no máximo 10cm de diferença.

Assim, como é mostrado abaixo na Tabela 1, a coleta e análise dos dados passaram a abranger os seguintes intervalos de tempo:

Tabela 1 - Intervalos de coleta e análise

Intervalo de Coleta	Data inicial	Data final
1 ano	1º de janeiro de 1984	31 de dezembro de 1986
1 ano	1º de janeiro de 1994	31 de dezembro de 1996
1 ano	1º de janeiro de 2004	31 de dezembro de 2006
1 ano	1º de janeiro de 2013	31 de dezembro de 2016
1 ano	1º de janeiro de 2022	12 de abril de 2024

Fonte: Autoria própria.

As medições das cotas consideradas foram as das 7h da manhã, em razão da passagem do satélite em torno das 10h da manhã.

Com a ampliação do intervalo de análise e coleta dos dados, foi possível obter dados de cotas com níveis mais próximos de 0, assim como é possível observar na Tabela 2.

Tabela 2 - Imagens utilizadas

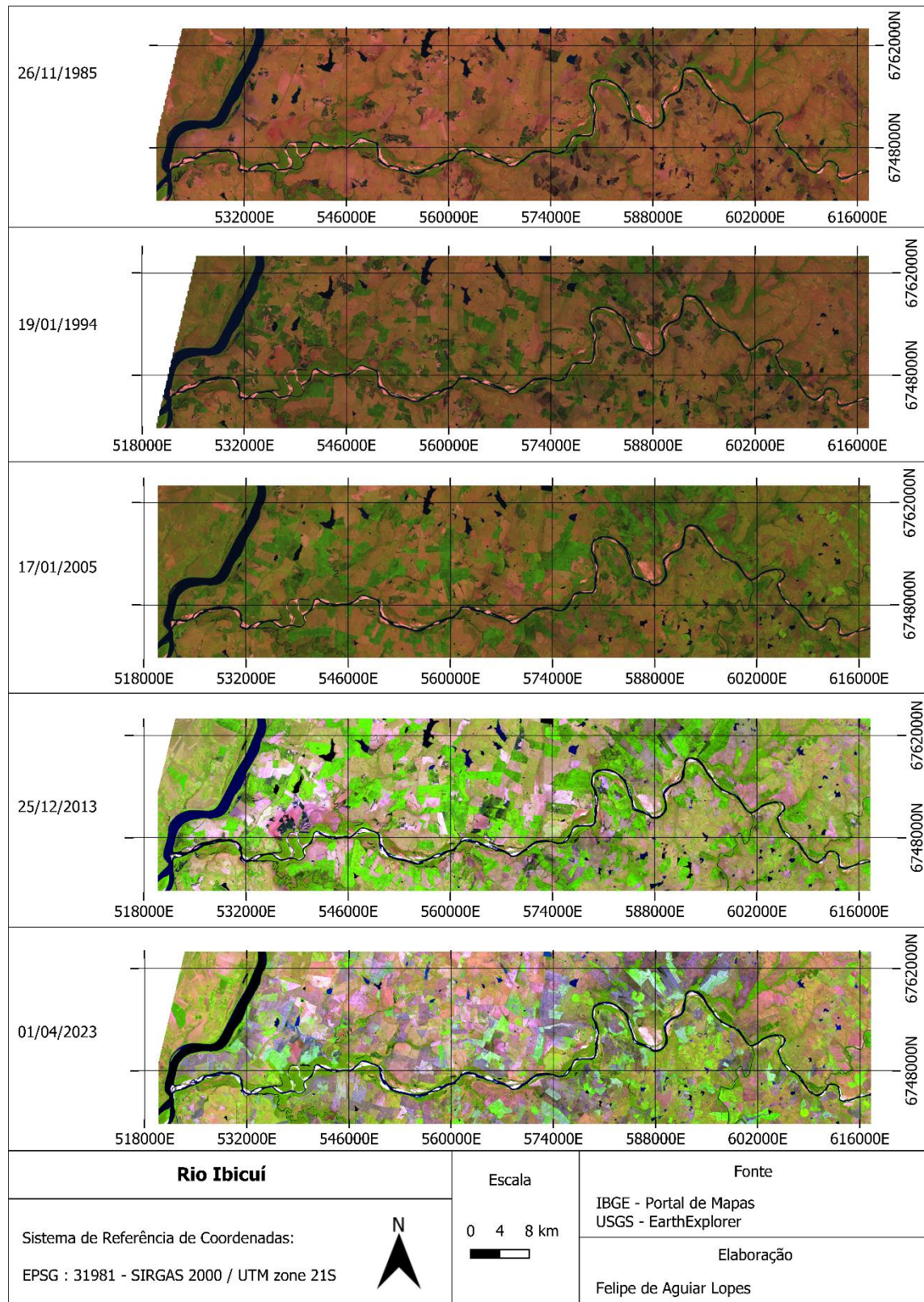
Satélite	Órbita	Ponto	Data	Cota (cm)
			19851126	103
Landsat 5			19940119	102
	224	080	20050117	101
Landsat 8			20131225	109
Landsat 9			20230401	107

Fonte: Autoria própria.

As imagens de satélite foram adquiridas do portal EarthExplorer, coletando-se imagens dos satélites Landsat 5 L2 (Level 2); Landsat 8 e 9 OLI (Operational Land Imager)/TIRS (Thermal Infrared Sensor) C2 (Collection 2) L2 (Level 2). A área de estudo é capturada pela linha 224 e caminho 080 dos satélites Landsat.

As imagens as quais foram selecionadas para o presente estudo, foram selecionadas através da comparação dos dados fluviométricos com as imagens de satélite, buscando imagens com pouca sobreposição de nuvens. As mesmas podem ser observas abaixo, na Figura 2.

Figura 2 - Imagens utilizadas no trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor.

As imagens Landsat fornecidas pelo site USGS são associadas a um sistema de referência e coordenadas do hemisfério norte. Posto que a área de estudo do presente trabalho está localizada no hemisfério sul, foi necessária a reprojeção, que precedeu os demais procedimentos realizados. Logo, todas as 5 imagens foram reprojadas para o Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) SIRGAS 2000 / UTM zone 21S EPSG (European Petroleum Survey Group): 31981.

As imagens do Landsat 5 são 8 bits sem sinal, e as imagens do Landsat 8 e 9 são 16 bits sem sinal. Para as imagens do satélite Landsat 5, utilizou-se as bandas 1,2,3,4,5, mostradas a seguir no Quadro 2.

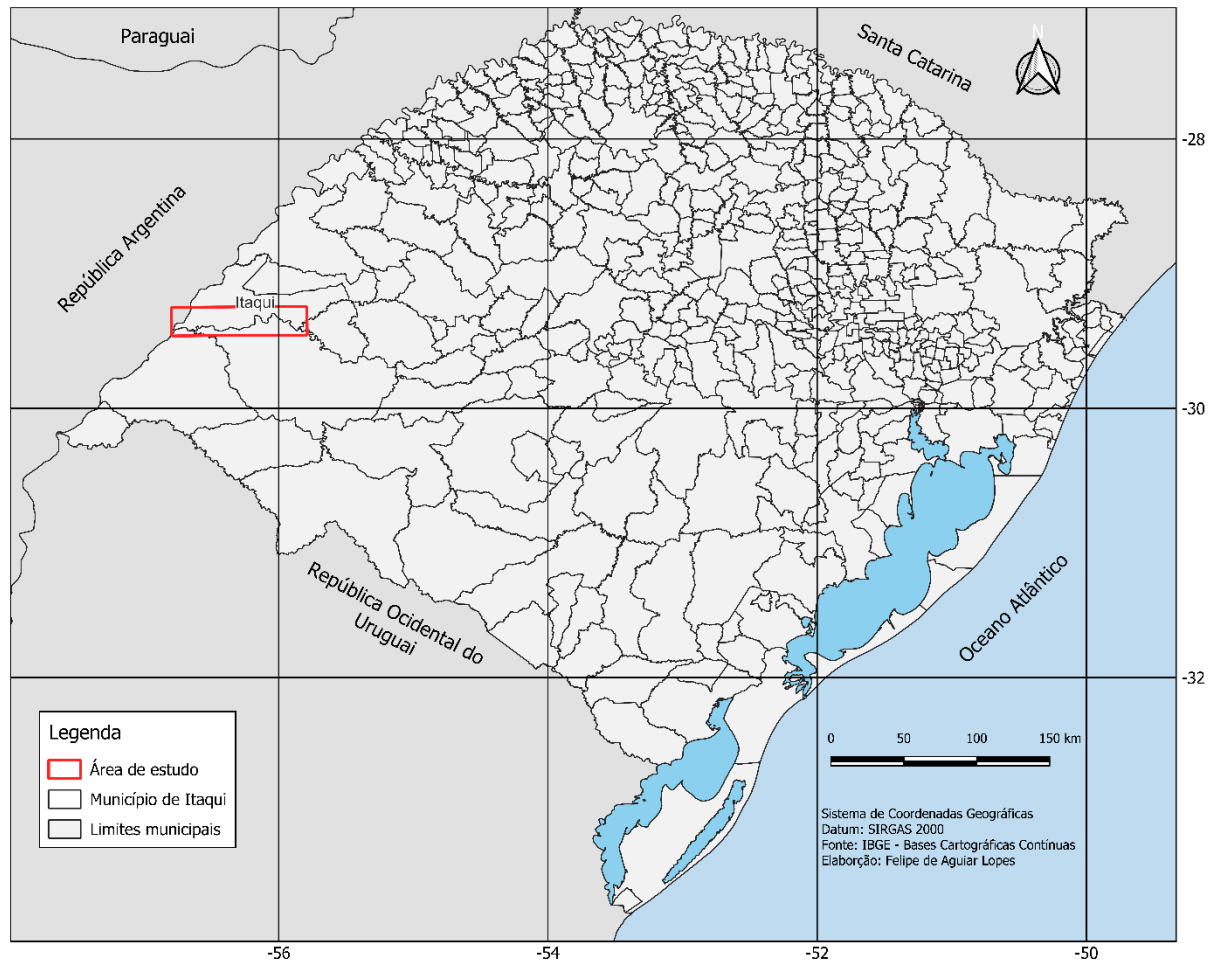
Quadro 2 - Bandas espectrais utilizadas do satélite Landsat 5

Bandas Espectrais	Cores
(B1)	Azul
(B2)	Verde
(B3)	Vermelho
(B4)	Infravermelho próximo
(B5)	Infravermelho médio
(B6)	Infravermelho termal

Fonte: Autoria própria.

Em vez de considerar toda a cena, utilizou-se apenas o retângulo destacado em vermelho para realizar o recorte das imagens, conforme ilustrado na Figura 3. Essa abordagem permite delimitar a área de estudo, e facilita o processamento dos dados posteriormente.

Figura 3 - Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

A mesclagem das imagens foi realizada no QGIS, com configurações específicas para cada tipo de Landsat. Para o Landsat 5, durante a etapa de Mesclagem, na opção “Tipo de dado de saída”, foi selecionada a configuração “Byte”, considerando que o Landsat 5 opera com 8 bits sem sinal.

Nas imagens dos Landsat 8 e 9 referentes aos anos de 2013 e 2023, utilizaram-se as bandas 2, 3, 4, 5 e 6, mostradas logo abaixo no Quadro 3. No entanto, o QGIS renumera automaticamente as bandas durante a mesclagem, atribuindo novos números às bandas originais. Assim, a banda 2, original, tornou-se a banda 1 no software, e assim sucessivamente, resultando em uma sequência renomeada para 1, 2, 3, 4 e 5. Para a composição falsa-cor, foi adotada a configuração 6, 5, 4.

Quadro 3 - Bandas espectrais utilizadas dos satélites Landsat 8 e 9

Bandas Espectrais	Cores
(B1)	Azul Costeiro
(B2)	Azul
(B3)	Verde
(B4)	Vermelho
(B5)	Infravermelho próximo
(B6)	Infravermelho médio

Fonte: Autoria própria.

As vetorizações das margens do Rio Ibicuí foram realizadas em uma escala de 1:40.000, enquanto as vetorizações de ilhas, vegetações e bancos de areia foram efetuadas com escala de 1:35.000, considerando as cinco imagens dos anos de 1985, 1994, 2005, 2013 e 2023.

Com o propósito de identificar melhor o rio, os bancos de areia, as ilhas e as vegetações em tons contrastantes, utilizou-se a composição Falsa-cor para os satélites Landsat 5, 8 e 9. Para as imagens dos satélites Landsat 8 e 9, usou-se as bandas 6, 5 e 4, enquanto nas imagens do satélite Landsat 5, usou-se as bandas 5, 4 e 3.

No processo de vetorização, foi utilizada a geometria do tipo String de linha, e o sistema de referência de coordenadas (SRC) foi definido como EPSG:31981 – SIRGAS 2000 / UTM zona 21S, correspondente ao SRC do projeto.

Após a conclusão da vetorização das margens do rio, iniciou-se o processo de vetorização dos bancos de areia, vegetações e ilhas, considerando as mesmas cinco imagens. O tipo de geometria foi definido como polígono, e o sistema de referência de coordenadas também seguiu em EPSG:31981 – SIRGAS 2000 / UTM zona 21S.

O próximo passo, consistiu em transformar as vetorizações das margens do rio Ibicuí em polígonos, com o objetivo de calcular posteriormente suas áreas. Para isso, foi necessário fechar todas as arestas e converter o arquivo vetorial em uma única linha contínua. Vale destacar, que esse processo foi realizado para os arquivos vetoriais das margens do rio, de todas as cinco imagens. Posteriormente, esses arquivos foram convertidos em polígonos.

Após o processo de vetorização, os dados foram convertidos para o formato raster, seguindo as etapas abaixo:

1. As feições correspondentes ao rio, bancos de areia e ilhas foram integradas em um único arquivo shapefile.
2. Foi atribuído um valor numérico para cada tipo de feição: 1 para bancos de areia, 2 para ilhas e 3 para o rio.
3. Foram realizados os ajustes topológicos para garantir que não houvesse sobreposição entre as feições mapeadas.
4. O arquivo raster foi gerado com base nos valores definidos no passo anterior, associando-os aos pixels da imagem. A resolução espacial do raster é de 3 metros.

Logo, com o objetivo de facilitar a interpretação e a representação visual dos dados, foi elaborado um diagrama de Sankey para cada uma das cinco imagens. Este tipo de diagrama é especialmente útil para demonstrar o fluxo e a distribuição das informações, permitindo uma análise mais clara das relações e proporções entre os elementos representados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por meio das vetorizações realizadas nos bancos de areia e ilhas, seguidas de sua rasterização, foi possível identificar mudanças significativas no leito do rio ao longo do período analisado. As alterações no formato e na localização das ilhas e bancos de areia evidenciam um dinamismo natural característico de sistemas fluviais, resultado de processos erosivos, sedimentares, assoreamento e da interação com eventos climáticos.

As comparações entre os dados rasterizados revelam que, em determinados trechos do rio, houve expansão de bancos de areia, enquanto em outros ocorreu o surgimento de novas ilhas. Esses fenômenos estão diretamente relacionados à variação no regime hidrológico, à ação antrópica e às mudanças ambientais ocorridas ao longo do tempo.

Na Tabela 3, a qual é mostrada abaixo, contém as informações das áreas em hectares (ha), das ilhas, dos bancos de areia e do rio. Essa tabela foi utilizada na análise dos resultados em conjunto com os diagramas de Sankey e os dados vetoriais, os quais foram rasterizados.

Tabela 3 - Área, em hectares, dos dados rasterizados

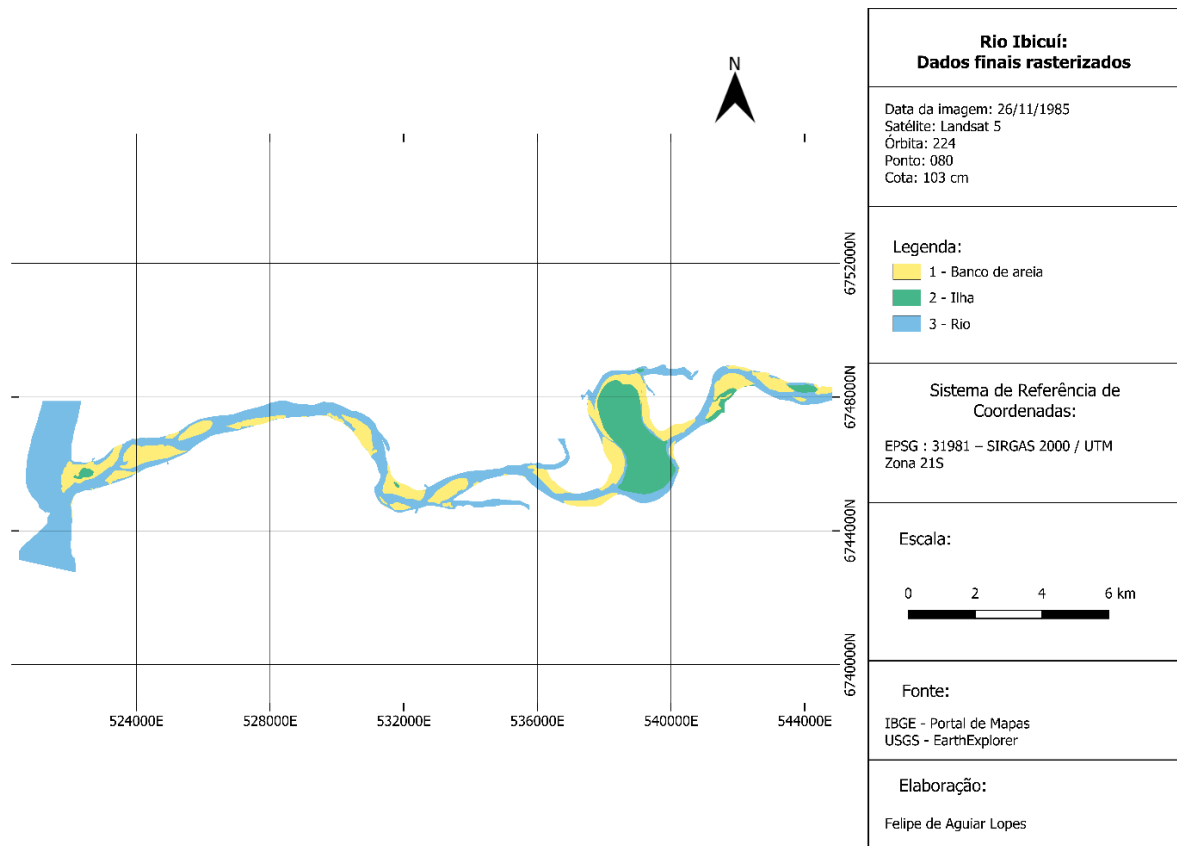
CATEGORIA	1985	1994	2005	2013	2023
Rio	4.089,59	4.210,59	4.440,71	4.169,25	4.075,09
Banco de areia	1.985,18	1.935,50	1.658,58	2.077,69	2.000,76
Ilha	513,29	509,44	560,29	529,37	558,46
TOTAL	6.588,06	6.655,53	6.659,58	6.776,31	6.634,31

Fonte: Autoria própria.

Para uma análise mais detalhada dessas alterações, foram utilizados diagramas de Sankey, que apresentam de forma detalhada as perdas e ganhos de áreas sofridas entre as feições mapeadas e a redistribuição das áreas ao longo dos anos. Esses diagramas destacam as transformações nas margens, no deslocamento ou desaparecimento de ilhas, e na expansão ou redução dos bancos de areia, evidenciando as áreas de maior dinamismo.

A Figura 4, apresentada a seguir, mostra os dados rasterizados para o ano de 1985, oferecendo uma base inicial para a análise temporal. Essa imagem evidencia a configuração inicial do leito fluvial, permitindo observar os bancos de areia e ilhas que existiam à época. Quando comparada às imagens mais recentes, as transformações tornam-se ainda mais perceptíveis, reforçando a importância do monitoramento contínuo para compreender as mudanças ambientais e fluviais.

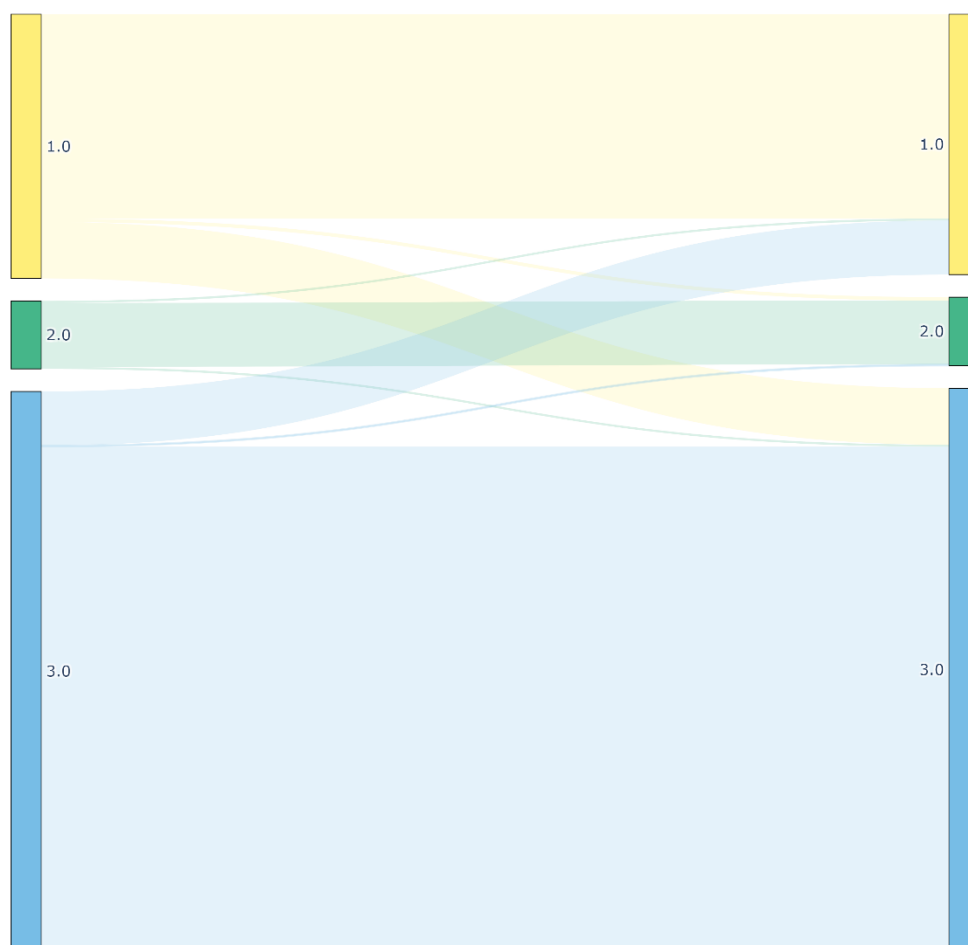
Figura 4 - Dados finais rasterizados para o ano de 1985



Fonte: Elaborado pelo autor.

O diagrama de Sankey apresentado na Figura 5, permite observar de maneira mais clara e intuitiva, os fluxos de mudança nas diferentes áreas ao longo dos anos. Na ilustração, as áreas representadas em amarelo correspondem aos bancos de areia, identificados pelo número 1, enquanto as ilhas são representadas pelo número 2 e o rio pelo número 3.

Figura 5 - Diagrama de Sankey para os anos de 1985 a 1994



Fonte: Autoria própria.

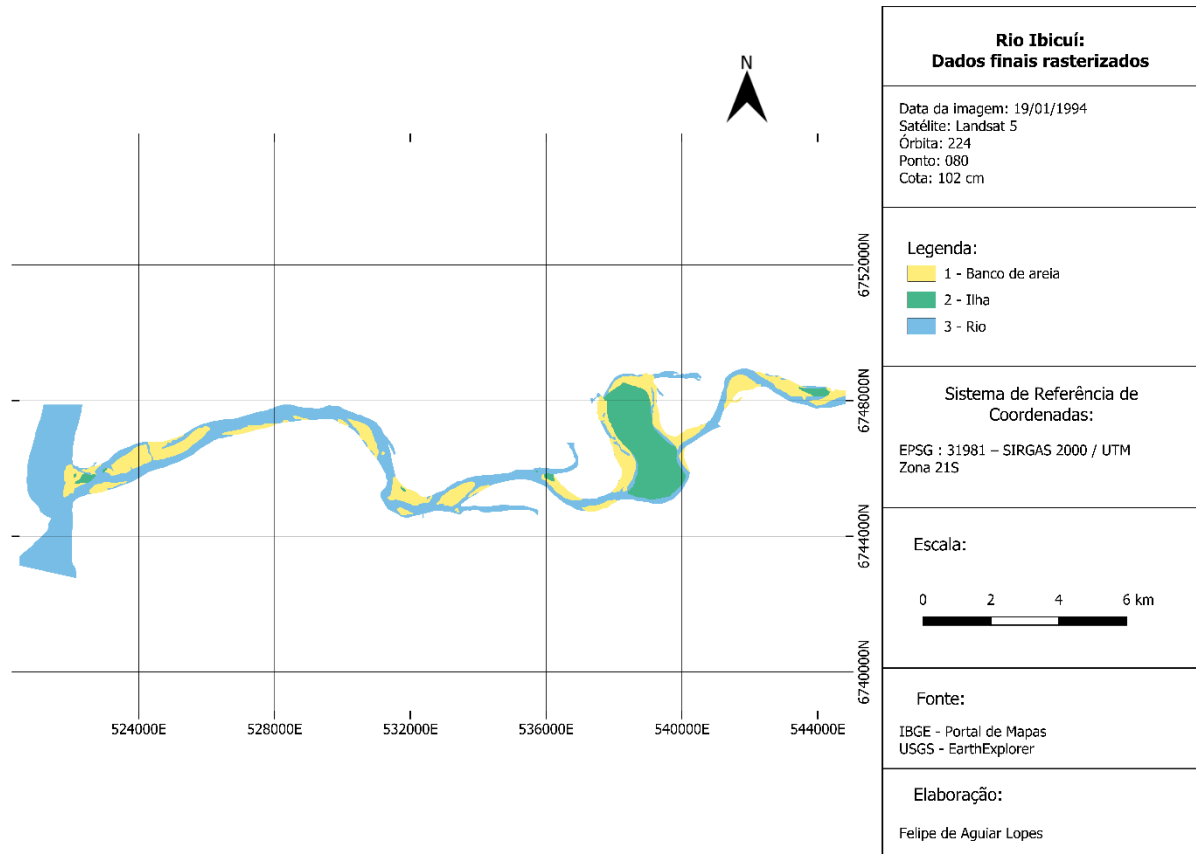
Com base na visualização do diagrama, podemos inferir as seguintes mudanças significativas no Rio Ibicuí entre 1985 e 1994:

Entre 1985 e 1994, houve um aumento da área total do rio, que passou de 4.089,59 ha em 1985 para 4.210,59 ha em 1994, indicando expansão do leito fluvial, possivelmente devido à erosão das margens, deposição de sedimentos ou alterações no regime hídrico. A área total dos bancos de areia reduziu de 1.985,18 ha para 1.935,50 ha, sugerindo erosão, assoreamento ou redistribuição de sedimentos.

Ocorreu também, uma pequena redução das ilhas e vegetações, onde a área total de ilhas e vegetações diminuiu de 513,29 ha para 509,44 ha, potencialmente causada por processos erosivos ou mudanças no nível d'água.

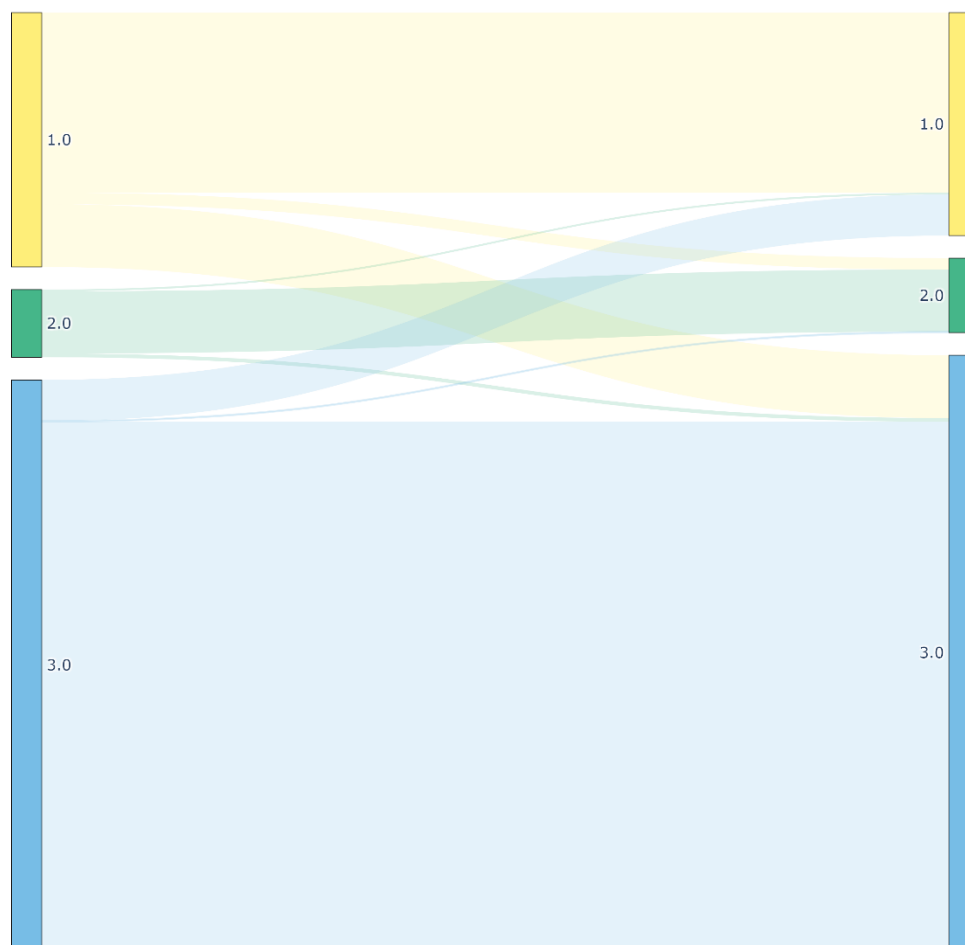
Nas figuras 6 e 7, são apresentados o mapa rasterizado e o diagrama de Sankey, que ilustram de forma mais detalhada as mudanças ocorridas ao longo do período analisado.

Figura 6 - Dados finais rasterizados para o ano de 1994



Fonte: Autoria própria.

Figura 7 - Diagrama de Sankey para os anos de 1994 a 2005



Fonte: Autoria própria.

Analisando-se o diagrama de Sankey e as informações de áreas relativas ao período de 1994 a 2005, é possível deduzir as seguintes transformações ocorridas:

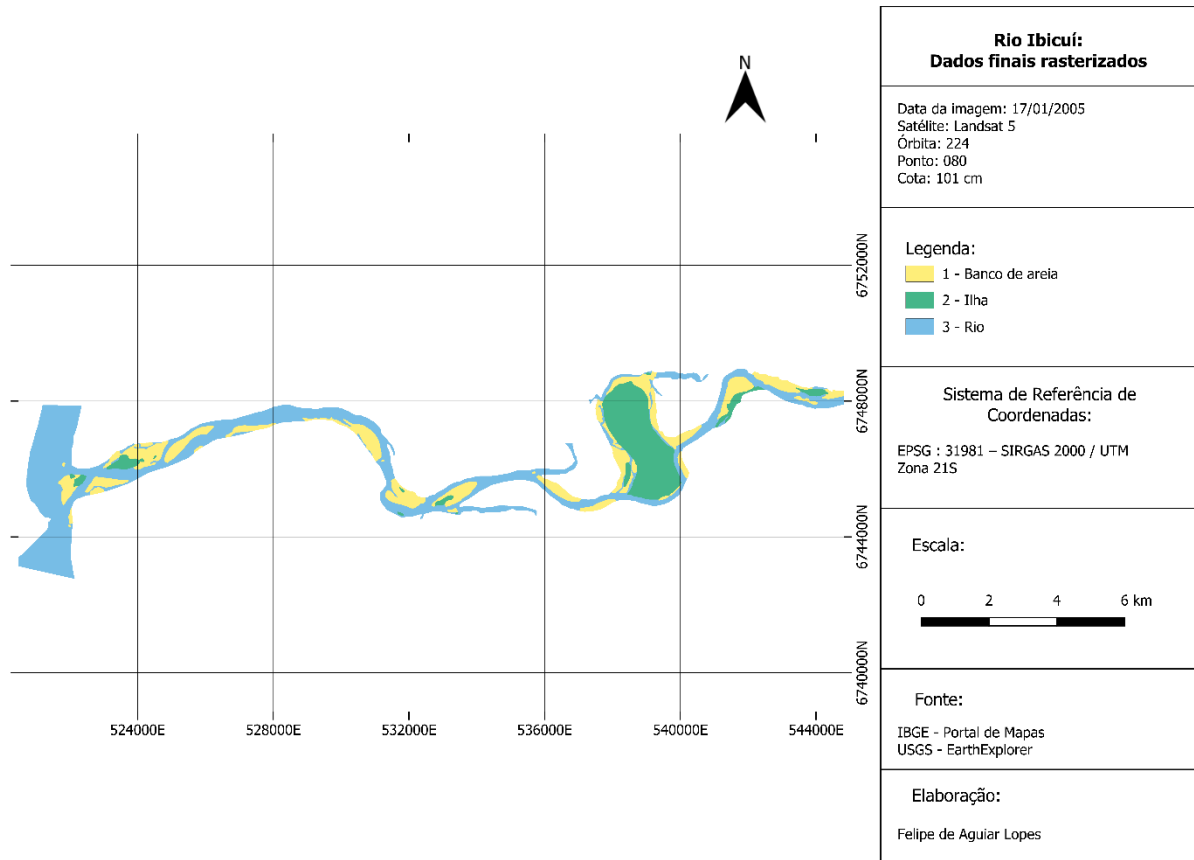
Entre 1994 e 2005, ocorreu um aumento da área total do rio, a qual cresceu de 4.210,59 ha em 1994, para 4.440,71 ha em 2005, destacando uma contínua expansão do leito fluvial.

A área dos bancos de areia teve uma redução significativa, pois, diminuiu de 1.935,50 ha para 1.658,58 ha, indicando uma grande redistribuição de sedimentos.

A área de ilhas e vegetações teve um aumento, onde cresceu de 509,44 ha para 560,29 ha, possivelmente devido à deposição de sedimentos.

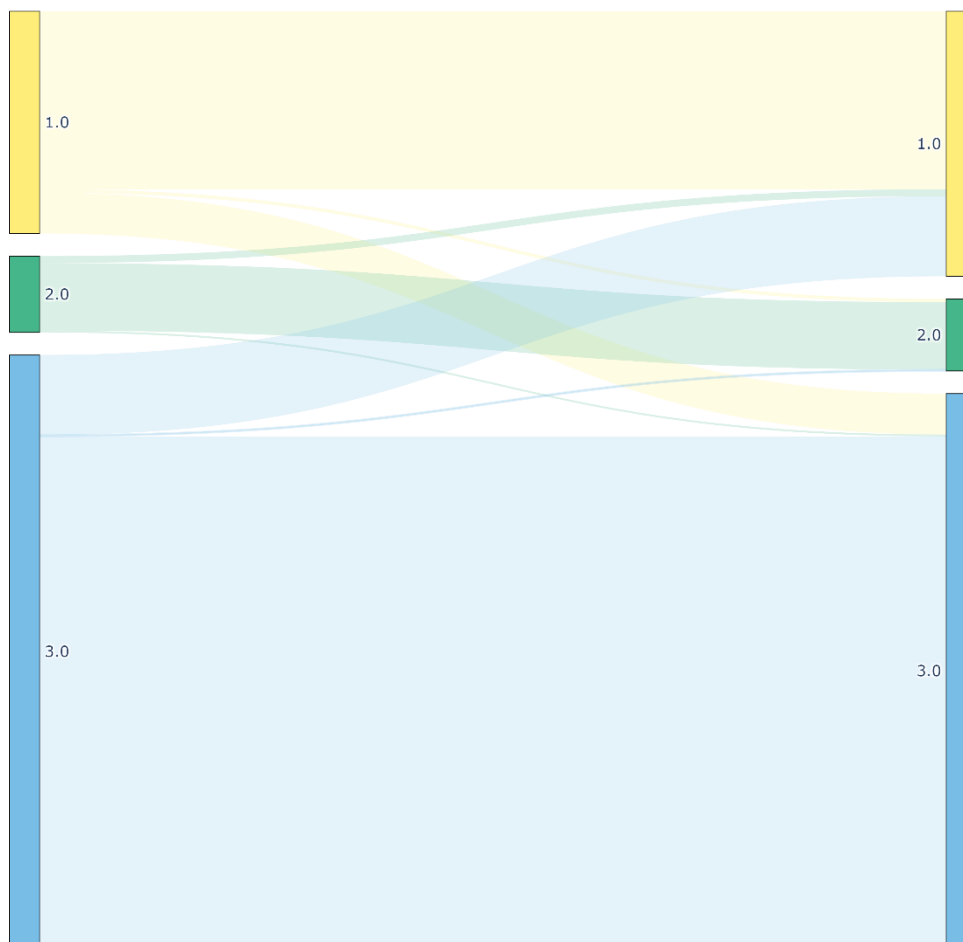
Nas figuras 8 e 9, visualizam-se mudanças na morfodinâmica do Rio Ibicuí entre os anos de 2005 e 2013.

Figura 8 - Dados finais rasterizados para o ano de 2005



Fonte: Autoria própria.

Figura 9 - Diagrama de Sankey para os anos de 2005 a 2013



Fonte: Autoria própria.

Logo, com os dados de áreas e o diagrama de Sankey, consegue-se observar as seguintes mudanças ocorridas entre 2005 e 2013:

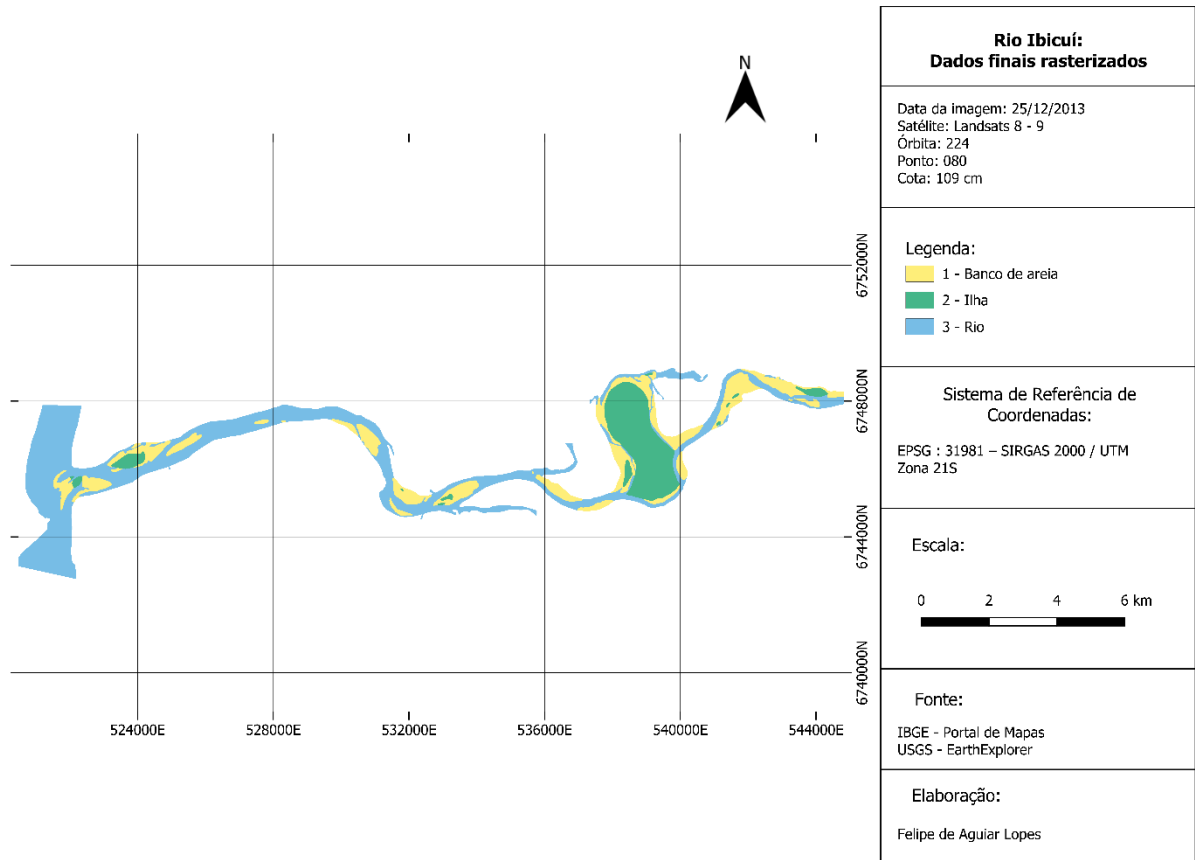
Entre 2005 e 2013, verificou-se a redução da área total do rio, através da diminuição de sua área que era 4.440,71 ha e passou para 4.169,25 ha, apontando retração do leito fluvial.

O aumento dos bancos de areia também foi observado, anteriormente era 1.658,58 ha e aumentou para 2.077,69 ha, sugerindo acúmulo de sedimentos devido à menor velocidade da correnteza.

Teve uma redução das Ilhas e vegetação, onde a área total reduziu de 560,24 ha para 529,37 ha, resultado de erosão e alterações na dinâmica fluvial.

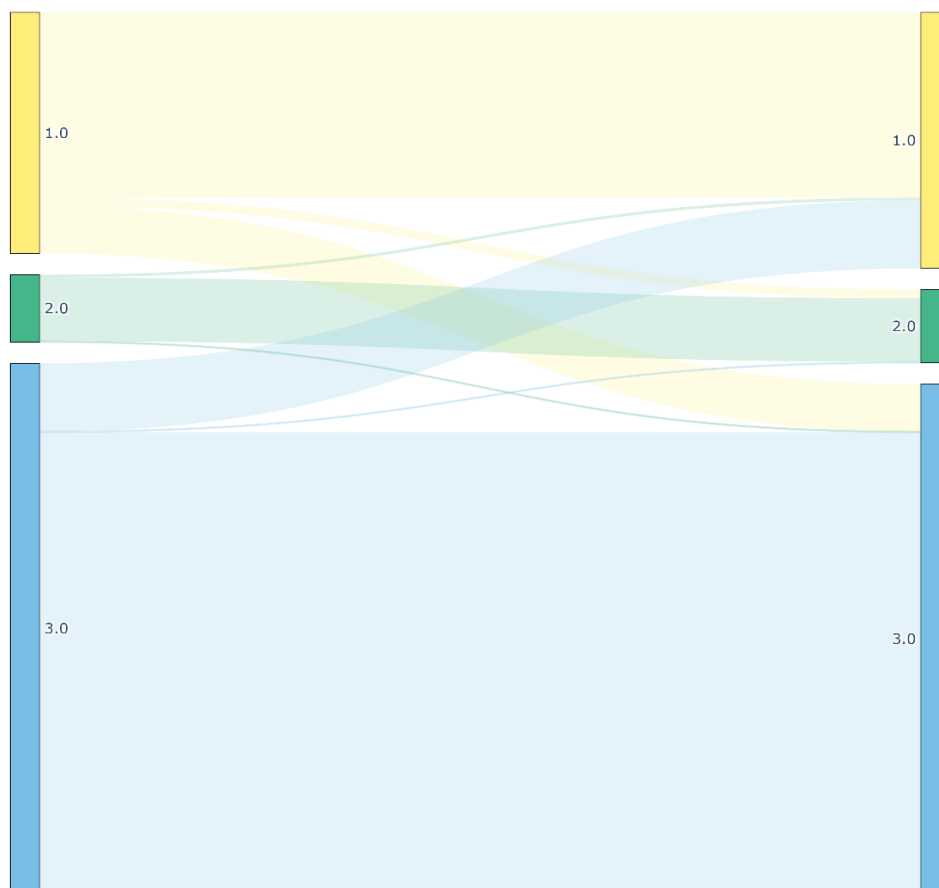
A seguir, nas figuras 10 e 11, temos os dados finais rasterizados do ano de 2013, e o diagrama de Sankey referente ao período de tempo de 2013 a 2023.

Figura 10 - Dados finais rasterizados para o ano de 2013



Fonte: Autoria própria.

Figura 11 - Diagrama de Sankey para os anos de 2013 a 2023



Fonte: Autoria própria.

Para o período de 2013 a 2023, nas figuras 10 e 11, é possível observar:

Entre 2013 e 2023, se deu a redução da área total do rio, onde área que era de 4.169,25 ha diminuiu para 4.075,09 ha, confirmando então a retração contínua do leito fluvial.

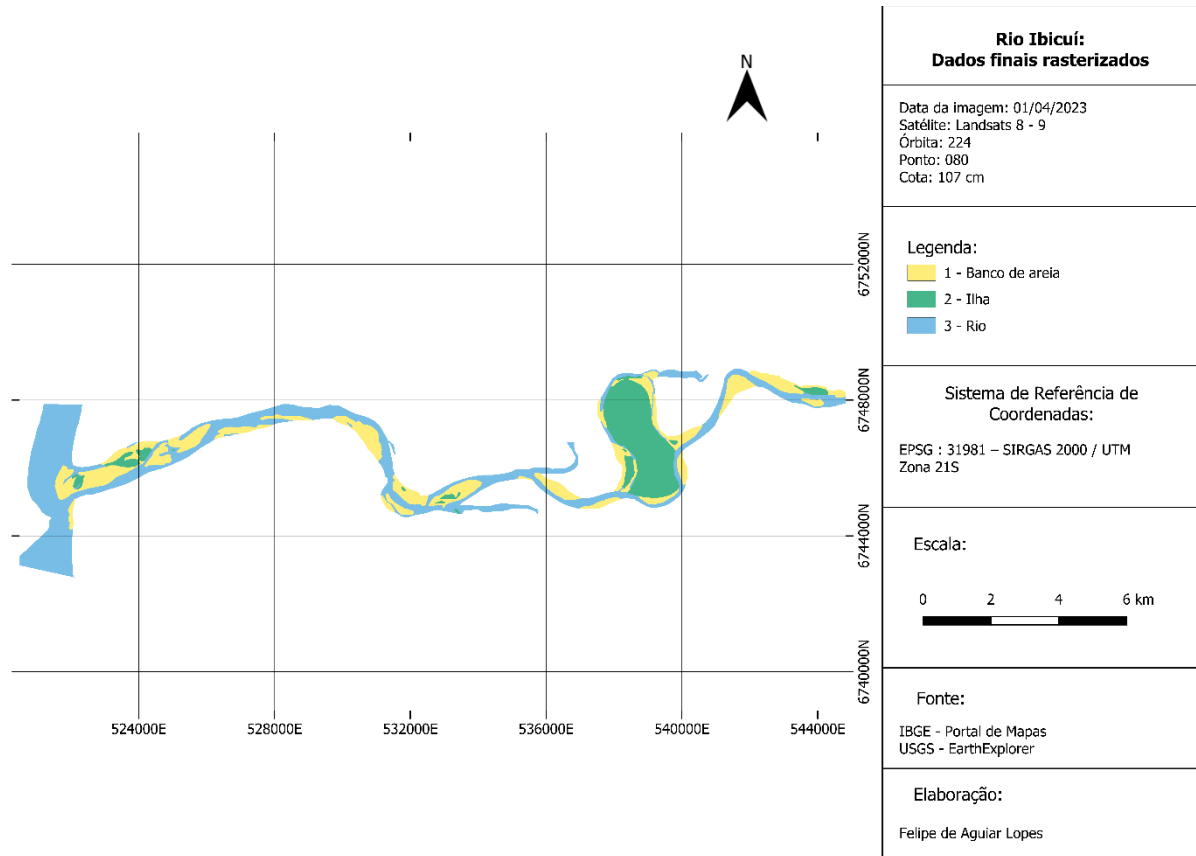
Uma leve redução dos bancos de areia foi constatada, pois a área que anteriormente tinha 2.077,69 ha reduziu para 2.000,76 ha, refletindo a redistribuição moderada de sedimentos.

Foi registrado um leve aumento da área total das Ilhas e vegetações. A área cresceu para 558,46 ha, e anteriormente a mesma possuía apenas 529,37 ha, indicando a deposição de sedimentos em ilhas existentes.

Nas figuras 10 e 11, referentes ao ano de 2023, foi realizada uma comparação, por meio do diagrama de Sankey, analisando as mudanças ocorridas desde a primeira imagem, de 1985, até a mais recente, de 2023.

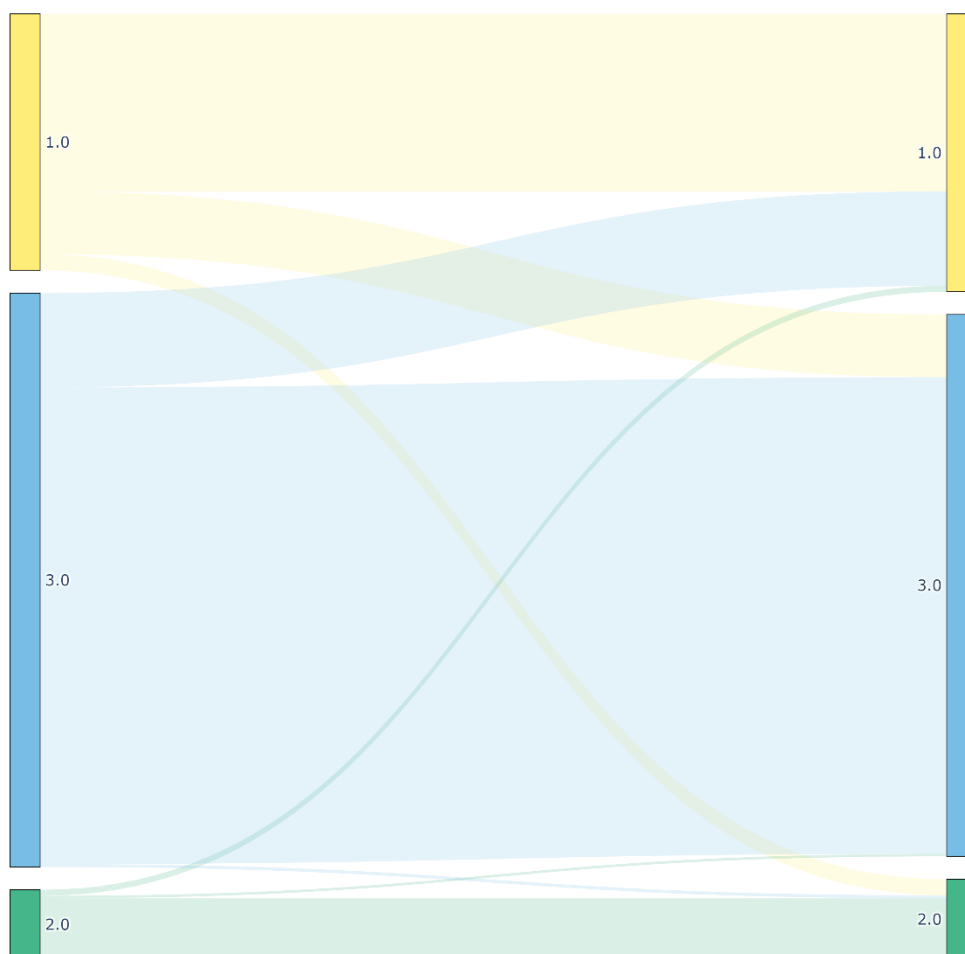
As Figuras 12 e 13, apresentadas a seguir, exibem os dados finais rasterizados e o diagrama de Sankey, que representa o intervalo de tempo estudado, de 1985 a 2023.

Figura 12 - Dados finais rasterizados para o ano de 2023



Fonte: Autoria própria.

Figura 13 - Diagrama de Sankey para os anos de 1985 e 2023



Fonte: Autoria própria.

Nas figuras 12 e 13, referentes ao ano de 2023, foi realizada uma comparação, por meio do diagrama de Sankey e os dados de áreas, analisando-se as mudanças ocorridas desde a primeira imagem, de 1985, até a mais recente, de 2023.

Comparando os dados dos anos de 1985 e 2023, obteve-se que a área total do rio teve uma leve redução, de 4.089,59 ha para 4.075,09 ha, evidenciando um processo gradual de retração.

Já nos bancos de areia, a área apresentou um aumento, de 1.985,18 ha cresceu para 2.000,76 ha, apontando mudanças na dinâmica sedimentar.

Nas ilhas e vegetações, a área total cresceu de 513,29 ha para 558,46 ha, destacando processos de estabilização e crescimento da vegetação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu uma análise detalhada das alterações morfodinâmicas do Rio Ibicuí ao longo de um período de quase quatro décadas, por meio da vetorização e rasterização de imagens de satélite e da utilização de diagramas de Sankey. Os resultados obtidos evidenciam mudanças significativas no leito fluvial, especialmente no que se refere à migração e transformação dos bancos de areia e das ilhas, além de modificações nas áreas alagadas e na vegetação ribeirinha.

As comparações temporais entre as imagens de 1985, 1994, 2005, 2013 e 2023 destacaram o dinamismo do sistema fluvial, evidenciando processos naturais de erosão e deposição, assim como a influência das variações climáticas e das atividades humanas sobre o curso do rio. A expansão ou retração das áreas alagadas, a movimentação dos bancos de areia e a alteração na distribuição das ilhas e vegetação indicam que o Rio Ibicuí continua a passar por transformações importantes, o que reforça a necessidade de monitoramento contínuo e de estratégias de gestão adequadas.

Os diagramas de Sankey, ao ilustrarem de forma clara e intuitiva os fluxos e as redistribuições das áreas ao longo do tempo, proporcionaram uma visão abrangente das mudanças ocorridas no ecossistema fluvial, facilitando a compreensão das interações entre os diferentes componentes do ambiente. Essa metodologia mostrou-se eficaz na identificação de padrões de alteração e na quantificação das transformações, permitindo uma análise temporal precisa.

A realização desse trabalho permitiu identificar uma geomorfodinâmica de transformações constantes. Esse cenário chama atenção para a manutenção desses recursos naturais, pois, a ação humana especialmente o desmatamento, a construção de barragens e a extração de areia, pode interagir diretamente com os processos naturais, como a erosão fluvial e a sedimentação, podendo impactar a morfologia do rio de maneira significativa. Além disso, as variações climáticas, como períodos de chuvas intensas ou secas prolongadas, podem desempenhar um papel fundamental na dinâmica fluvial, potencializando ou atenuando os efeitos dos processos erosivos e do assoreamento.

REFERÊNCIAS

BOTELHO, Rosangela Garrido Machado; PELECH, André Souza. **DO MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DO IBGE A UM SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DO RELEVO**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Andre-Pelech-2/publication/335599025_Do_Mapeamento_Geomorfologico_do_IBGE_a_um_Sistema_Brasileiro_de_Classificacao_do_Relevo/links/5d6f1617a6fdccf93d386f04/Do-Mapeamento-Geomorfologico-do-IBGE-a-um-Sistema-Brasileiro-de-Classificacao-do-Relevo.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Séries históricas. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 11 abr. 2024.

CRÓSTA, ALVARO P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54735007/Livro_Alvaro.pdf-libre.pdf?1508198387=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DLivro_Alvaro.pdf&Expires=1701494241&Signature=WJnkYENI29eX3bEe1zme1puNnORCwky2UHF1c-clRtsoyHNqblhGZ5mCKOmxF-AFTfepecPKwxGiN9INdjM9GTVyvMwoZMHjwDREbHlsKXF3ZILr6FR8WGCtkCOUyjUhlDGK7jyePxvd8BENU8zUB2jYdQu9PW1w01CfCvzclBmaJ8HRzu85vSOjE~ZT6UolO8zH5dp0wbzRk53Gzl~Wqfhvx38NVx0Zj6~STA3UQj-G2rEeejNhMj3fYEiflhTYnPCJ6cZhORc~wrFRWVuRNkVfY5CH8qxjwp0wHvwXaIV9FBWUAK0PdwSV5LtlKbk3dhOaqalTCc2EULeo-E4g_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA>. Acesso em: 28 nov. 2023.

CRUZ, O. Importância das cartas geomorfológicas em estudos ambientais. Geografia. Ano 5, Vol. 9 – 10 : 97 – 102p, 1980.

CUNHA, C. M. L.; MENDES, I. A.; SANCHEZ, M. C. **A cartografia do relevo**: uma análise comparativa de técnicas para a gestão ambiental. Revista Brasileira de Geomorfologia, Rio de Janeiro, n 1, p.01-09. 2003.

FUCKNER, Marcus Andre. **Geomorfologia do Brasil**. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/dc08bdf7-dcd9-4aa4-a5f4-bf3c642089f9>>. Acesso em: 23 nov. 2023.

GATTO, L.C.S.; RAMOS, V.L.S.; NUNES, B.T.A.; MAMEDE, L.; GÓES, M.H.B.; MAURO, C.A.; ALVARENGA, S.M.; FRANCO, E.M.S.; QUIRICO, A.F.; NEVES, L.B. Geomorfologia. In: PROJETO RADAMBRASIL. Folhas SF 23/24 Rio de Janeiro/Vitória, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Projeto RADAMBRASIL - Rio de Janeiro, 1983 780 p. 6 mapas (Levantamento de Recursos Naturais, 32).

G. Câmara, R. Cartaxo, M. Souza, U. M. Freitas, J. Garrido, and F. M. Li. **Spring: Integrating remote sensing and GIS by object oriented data modeling.** *Computers and Graphics*, 20(3):395–403, 1996

L. Wenyin and D. Dori. **From raster to vectors:** Extracting visual information from line drawings. *Pattern Anal. Appl*, 2(1):10–21, 1999.

LIU, William Tse Horng. **Aplicações de sensoriamento remoto.** Oficina de Textos, 2015. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=YNEtCQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT811&dq=sensoriamento+remoto&ots=vzdky4NJSt&sig=tRH3nhKxDh_QvKikYOEINkim9MA#v=onepage&q&f=false>
Acesso: 12/03/2024.

NETO, Roberto Marques; ZAIDAN, Ricardo Tavares; JR, Waltencir Menon. **MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE LIMA DUARTE (MG).** Disponível em: <<https://www.rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/641/455>>. Acesso em: 25 nov. 2023.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Earth Explorer. U.S. Geological Survey. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 12 abr. 2024.