

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

LUCAS RICARDO DE SOUZA FERREIRA

**ANÁLISE TEMPORAL DA DINÂMICA MORFOLÓGICA FLUVIAL EM UMA
SEÇÃO DO RIO IBICUÍ**

Itaqui

2024

LUCAS RICARDO DE SOUZA FERREIRA

**ANÁLISE TEMPORAL DA DINÂMICA MORFOLÓGICA FLUVIAL EM UMA
SEÇÃO DO RIO IBICUÍ**

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

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Galafassi

**Itaqui
2024**

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

F933a Ferreira, Lucas Ricardo de Souza

Análise temporal da dinâmica morfológica fluvial em uma seção do Rio Ibicuí / Lucas Ricardo de Souza Ferreira.

33 p.

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

1. Sensoriamento remoto. 2. Morfologia fluvial. 3. Redes neurais. 4. Segmentação de imagens. I. Título.

LUCAS RICARDO DE SOUZA FERREIRA

**ANÁLISE TEMPORAL DA DINÂMICA MORFOLÓGICA FLUVIAL EM UMA
SEÇÃO DO RIO IBICUÍ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao 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: 12, julho e 2024.

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br **CRISTIANO GALAFASSI**
Data: 22/07/2024 10:10:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Cristiano Galafassi
Orientador
UNIPAMPA

Documento assinado digitalmente
gov.br **SIDNEI LUIS BOHN GASS**
Data: 08/08/2024 10:08:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Sidnei Luís Bohn Gass
UNIPAMPA

Documento assinado digitalmente
gov.br **IGOR SILVEIRA ELESBAO**
Data: 22/07/2024 10:16:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Igor Silveira Elesbão
UNIPAMPA

AGRADECIMENTO

Primeiramente agradeço a Deus por me dar essa oportunidade de chegar até este momento.

Ao Prof. Dr Cristiano Galafassi, por ter aceitado a ser meu orientador neste trabalho. Obrigado pelos ensinamentos e por ter feito com que eu me encantasse mais por essa área, pela paciência e por ter acreditado em mim.

Gostaria de agradecer aos meus familiares que puderam ajudar durante toda a trajetória da minha graduação.

A minha mãe Valeria Cristina e meu pai Ricardo Ferreira, por terem me apoiado incondicionalmente, mesmo que distante sempre me deram forças para continuar nos momentos em que eu achei que não seria possível. Muito obrigado por terem paciência comigo em todos esses anos e pelo amor que me faz entender que sempre estarão comigo

A minha irmã Maria Catarina, que além da distância tem sido minha companheira, por me mostrar que nunca estarei sozinho e que nosso amor vai para além das nossas vidas.

Ao meu primo Gabriel Batista e aos meus amigos distantes, que mesmo assim me aconselharam e me ajudaram, e que me mostraram que eu nunca vou estar sozinho.

A todos os amigos que fiz nessa trajetória em especial ao Gabriel Avelar e ao André Luiz, por terem deixado essa trajetória mais leve e menos solitária.

Agradeço a todos os professores e ensinamentos passados com muita excelência e qualidade durante esta passagem

E por fim agradeço a Universidade Federal do Pampa, por me proporcionar tudo isso e por ter sido o meu lar durante todos esses anos. Muito obrigado por tudo, por ter realizado esse sonho.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma com nos acostumamos a ver o mundo”.

Albert Einstein

RESUMO

Com a crescente preocupação ambiental e a necessidade de monitorar os recursos hídricos, o uso de tecnologias com sensoriamento remoto torna-se fundamental para obter dados precisos e abrangentes. A pesquisa fundamenta-se na aquisição e análise de imagens de satélites abordando diferentes espectros utilizando programas de processamento de imagens e IA para identificar de forma automática variações nos padrões fluviais ao longo do tempo. Proporcionando uma compensação com aprofundamento nas dinâmicas fluviais, fornecendo informações cruciais para uma gestão sustentável dos recursos hídricos. A combinação de sensoriamento remoto e inteligência artificial proporciona uma melhora na precisão e eficácia na detecção de mudanças como também para avanços tecnológicos de monitoramento da superfície terrestre. Frente a atual demanda na preocupação ambiental o presente trabalho tem como objetivo propor métodos para determinar a linha base de comparação das mudanças da dinâmica morfológica dos rios para enriquecer o campo de pesquisa ambiental e contribuir para a sustentabilidade de ecossistemas fluviais do rio Ibicuí, auxiliando as práticas de gestão ambiental para sua preservação e o manejo responsável dos recursos hídricos.

Palavras-Chave: Sensoriamento remoto, Inteligência Artificial, dinâmica morfológica, recursos hídricos.

ABSTRACT

With growing environmental concerns and the need to monitor water resources, the use of remote sensing technologies becomes essential to obtain accurate and comprehensive data. The research is based on the acquisition and analysis of satellite images covering different spectrums using image processing and AI programs to automatically identify variations in river patterns over time. Providing compensation with an in-depth look at river dynamics, providing crucial information for the sustainable management of water resources. The combination of remote sensing and artificial intelligence provides an improvement in accuracy and effectiveness in detecting changes as well as technological advances in monitoring the Earth's surface. In view of the current demand for environmental concerns, the present work aims to propose methods to determine the baseline for comparing changes in the morphological dynamics of rivers to enrich the field of environmental research and contribute to the sustainability of river ecosystems on the Ibicuí River, helping environmental management practices for their preservation and responsible management of water resources.

Keywords: remote sensing, artificial intelligence, morphological dynamics, water resources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa Area estudo: Rio Ibicuí.....	12
Figura 2 - Images de satélites utilizadas para a segmentação.	20
Figura 3 - Mapa de comparação da Morfologia do Rio Ibicuí nos anos de 1985 e 1994	23
Figura 4 - Mapa de comparação da morfologia do Rio Ibicuí nos anos de 1994 e 2005	24
Figura 5 - Mapa de comparação da Morfologia do Rio Ibicuí nos anos de 2005 e 2013	25
Figura 6 - Mapa de comparação da Morfologia do Rio Ibicuí nos anos de 2013 e 2023	26
Figura 7 - Mapa de comparação da Morfologia do Rio Ibicuí nos anos de 1985 e 2023	27

LISTA DE SIGLAS

ANA- Agência Nacional de Águas

ERST – *Earth Resources Technology Satellite*

IA - Inteligência Artificial

MSS – *Multispectral Scanner System*

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*

OLI - *Operational Land Imager*

RNA - Rede Neural Artificial

TM – *Thematic Mapper*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1	Area de estudo.....	12
2.2	Sensoriamentos remoto.....	12
2.3	Imagens Landsat.....	14
2.4	Redes Neurais e Segmentação de imagens.....	17
3	METODOLOGIA	18
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
	REFERÊNCIAS.....	31

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia nas últimas décadas, o sensoriamento remoto se tornou uma técnica essencial na coleta de informações na forma como observamos e analisamos a terra. Imagens capturadas por satélites, drones e aviões oferecem uma visão ampla dos rios e ao seu redor. Entretanto, interpretá-las de forma eficaz demanda um entendimento de métodos avançados de processamento de dados.

Nesta circunstância a Inteligência Artificial (IA) se tornou uma ferramenta promissora para a análise de imagens de satélite, possibilitando resultados precisos e de forma automática para a dinâmica morfológica dos rios. A IA tem uma capacidade de identificar padrões, mudanças temporais e algumas características em uma grande quantidade de dados onde podem extrair informações significativas a respeito da mudança dos rios ao longo do tempo.

Em síntese, o sensoriamento remoto é indispensável para entender as mudanças que acontecem na superfície da terra. Porém a complexidade na análise de suas imagens faz com que a inteligência artificial se torne mais eficaz. Neste sentido, a sua eficácia nos traz resultados que auxiliam para o melhor entendimento na dinâmica dos rios, na utilização sustentável de seus recursos.

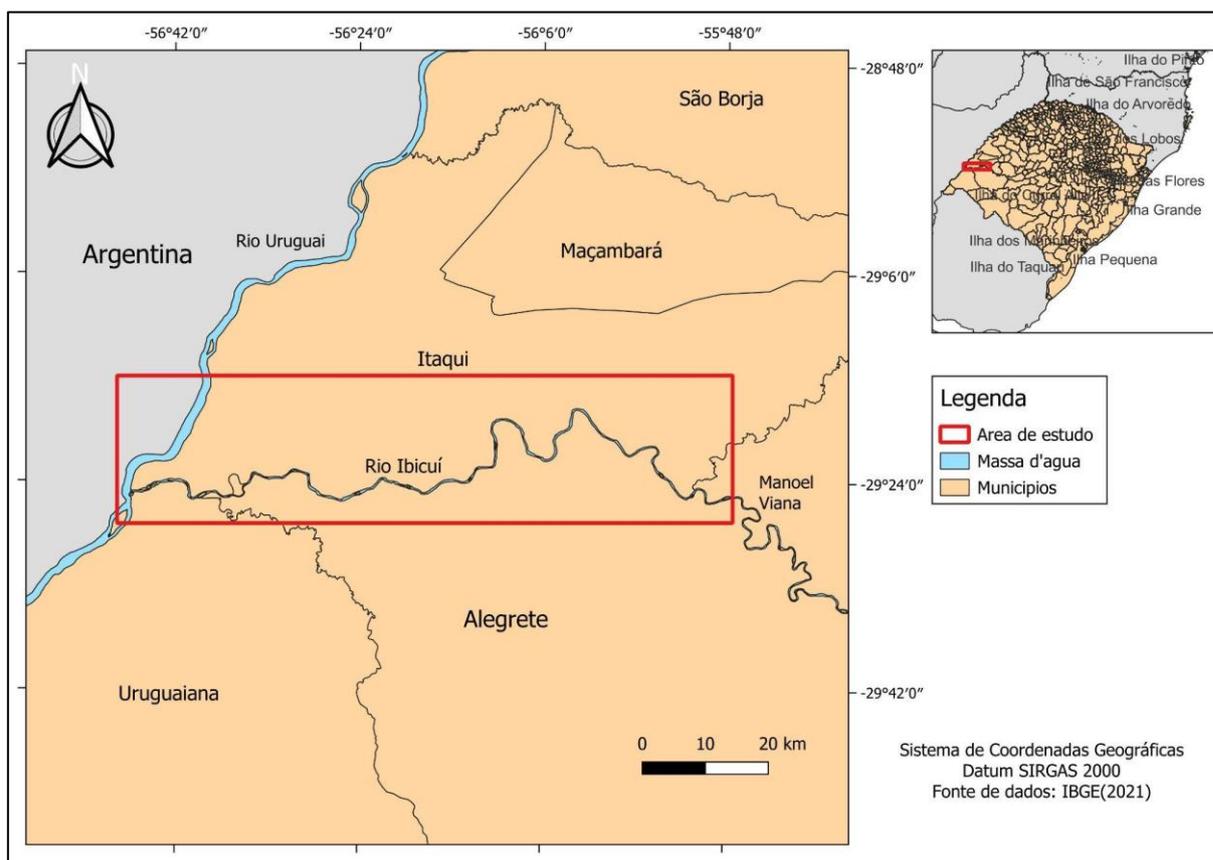
Nesse sentido, o presente trabalho tem o objetivo de realizar uma análise inicial e exploratória das diferenças morfológicas do rio Ibicuí utilizando técnicas de inteligência artificial. Para isso, propõem-se uma forma de seleção das imagens, as quais precisam atender a alguns critérios, a criação de um conjunto de dados de treinamento e a criação de um modelo de aprendizado de máquina para segmentar a imagem.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Área de estudo

A área de estudo selecionada para este trabalho é uma seção do Rio Ibicuí, partindo da foz do Rio Itu localizada nos limites dos municípios de Manoel Viana-RS, Alegrete-RS e Itaqui-RS até a sua foz no rio Uruguai entre os municípios de Itaqui-RS e Uruguaiana-RS. Segundo Moss (2007) Rio Ibicuí, com seus 385 quilômetros de extensão, caracteriza-se por margens de baixa altitude e leito composto por areia, sua importância é notável para o avanço da agricultura e pecuária local, desempenhando um papel essencial nessas atividades econômicas regionais.

Figura 1 - Mapa Area estudo: Rio Ibicuí



Fonte: adaptado pelo autor.

2.2 Sensoriamento remoto

Sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. (FLORENZANO, 2007). Segundo Sausen (2005)

as imagens são obtidas através de sensores que estão acoplados nos satélites, os quais são responsáveis pela observação e imageamento da superfície terrestre. Segundo Amiri *et al.* (2014), as técnicas de sensoriamento remoto são as mais econômicas e eficazes para prever as mudanças ambientais e auxiliar nas tomadas de decisões.

O sensoriamento remoto envolve a detecção, obtenção e análise (interpretação e extração de informações) da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores remotos (MORAES, 2002). Segundo Florenzano (2002), os sensores detectam a energia por meio da radiação eletromagnética, a qual é representada pelo espectro eletromagnético. Esse espectro divide-se em regiões com diferentes comprimentos de onda. Para estudos com relação aos recursos naturais, os sensores utilizam as regiões do visível e do infravermelho, as faixas espectrais na região do visível, onde o olho humano consegue diferenciar as cores, e a faixa do infravermelho para detectar o calor.

Segundo Novo (2001), a energia refletida pela água é consideravelmente menor que os outros alvos da superfície pois há uma diferença em seu comportamento espectral. Os trabalhos de comportamento espectral da água baseiam-se na aquisição simultânea de dados espectrorradiométricos e dados *in situ* de parâmetros de qualidade da água e concentram-se, principalmente, na faixa espectral correspondente à radiação fotossinteticamente ativa, entre 350 e 700nm. De um modo geral, a reflectância da água limpa diminui com o aumento dos comprimentos de onda. Verificam-se as maiores reflectâncias na região do visível, mais especificamente, nos comprimentos de onda do azul e verde, decrescendo gradualmente na direção do infravermelho, limitando-se os estudos de qualidade da água ao espectro visível (ROBERT *et al.*, 1995).

A função primordial do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração da informação contidas nas imagens, para posterior interpretação. Nesse sentido, sistemas dedicados de computação são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação das imagens brutas. (CROSTA, 2002).

O Brasil concentra grande parte da riqueza da água doce do mundo, e essa disponibilidade hídrica torna os estudos aquáticos ainda mais relevantes para a gestão desses ecossistemas. O sensoriamento remoto reforçou a capacidade de

monitoramento e entendermos a composição e a dinâmica de grandes rios e lagos. (BARBOSA *et al.*, 2019). A dinâmica nos ambientes fluviais acarreta mudanças nos padrões de produção, transporte e deposição de sedimentos ao longo do curso de um rio com o decorrer do tempo (SILVA, 2012).

Durante longos períodos, influências geológicas como tectônica e controle de nível de base conduzem à evolução da paisagem, moldando o relevo, a declividade, o confinamento do vale e padrões de erosão e sedimentação (Ab'SABER, 1950; BIGARELLA, 1965). Estas correspondem às condições de limite impostas ao sistema. Em contraste, influências climáticas definem as condições de limite do fluxo dentro das quais os rios operam. Ou seja, interações entre fluxo, sedimento e vegetação determinam o regime comportamental dos trechos de rios (MURRAY *et al.*, 2014).

A declividade, por sua vez, é um fator dependente, comumente ajustado aos processos atuantes dentro do canal. Outros fatores básicos dependentes incluem a largura e a profundidade, velocidade de fluxo e rugosidade do leito. As interações desses vários fatores constituem a geometria hidráulica do canal (SUGUIO e BIGARELLA, 1990).

2.3 Imagens Landsat

O projeto Landsat representa a maior coleção mundial continuamente adquirida de média resolução espacial de dados de sensoriamento remoto. As quatro décadas de imagens fornecem um recurso único para aqueles que trabalham na agricultura, geologia, silvicultura, planejamento regional, educação, mapeamento e pesquisas em mudanças globais. As imagens de Landsat também são de valor inestimável para a resposta de emergência e assistência em catástrofes. (USA, 2015).

A série LANDSAT teve início na segunda metade da década de 60, a partir de um projeto desenvolvido pela Agência Espacial Americana e dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres. Essa missão foi denominada Earth Resources Technology Satellite (ERTS) e em 1975 passou a se chamar Landsat. (EMBRAPA, 2022)

O primeiro satélite, e o primeiro desenvolvido para atuar diretamente em pesquisas de recursos naturais, foi lançado em 1972 e denominado ERTS-1 ou Landsat-1. (EMBRAPA, 2022)

Em 1º de março de 1984, a NASA lançou o Landsat 5, o último satélite Landsat originalmente obrigatório da agência. O Landsat 5 foi projetado e construído ao

mesmo tempo que o Landsat 4 e transportava a mesma carga útil: os instrumentos Multispectral Scanner System (MSS) e Thematic Mapper (TM). Em janeiro de 2013, os instrumentos do Landsat 5 foram desligados e o satélite foi movido para uma órbita mais baixa. Sobrevivendo à sua vida útil de três anos, o Landsat 5 forneceu dados globais de alta qualidade da superfície terrestre da Terra durante 28 anos e 10 meses. (NASA, 2013). O quadro 1 mostra as propriedades do satélite Landsat 5.

Quadro 1 - Propriedades das Bandas do Sensor TM do satélite Landsat 5

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Area Imageada	Resolução Radiométrica
TM (Thematic Mapper)	(B1) Azul	0.45 - 0.52 μ m	30m	16 dias	185 km	8 bits
	(B2) Verde	0.59 - 0.60 μ m				
	(B3) Vermelho	0.63 - 0.69 μ m				
	(B4) Infravermelho Próximo	0.76 - 0.90 μ m				
	(B5) Infravermelho Médio	1.55 - 1.75 μ m	120m			
	(B6) Infravermelho Termal	10.4 - 12.5 μ m				
	(B7) Infravermelho Médio	2.08 - 2.35 μ m	30m			

Fonte: ENGESAT (2013)

Segundo a NASA (2021), o satélite Landsat 8, possui a bordo um sensor Operational Land Imager (OLI), que coleta imagens da Terra em luz visível, infravermelho próximo, infravermelho de ondas curtas e um sensor Thermal Infrared Sensor (TIRS), que mede a temperatura das superfícies terrestres.

O sensor OLI possui 9 bandas, sendo 8 delas com resolução espacial de 30 metros e uma banda pancromática com resolução espacial de 15m. A quadro 2 mostra as informações disponibilizadas pela NASA para cada uma das bandas.

Quadro 2 - Propriedades das Bandas do Sensor OLI do satélite Landsat 8

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Area Imageada	Resolução Radiométrica
OLI (Operational Land Imager)	(B1) Azul Costeiro	0.43 - 0.45 μ m	30m	16 dias	170 x 180 km	16 bits
	(B2) Azul	0.45 - 0.51 μ m				
	(B3) Verde	0.53 - 0.59 μ m				
	(B4) Vermelho	0.64 - 0.67 μ m	30m			
	(B5) Infravermelho Próximo	0.85 - 0.88 μ m				
	(B6) Infravermelho Médio	1.57 - 1.67 μ m				
	(B7) Infravermelho Médio	2.11 - 2.29 μ m	15m			
	(B8) Pancromática	0.50 - 0.68 μ m				
	(B9) Cirros	1.36 - 1.38 μ m	30m			
TIRS (Thermal Infrared Sensor)	(B10) Infravermelho Termal	10.6 - 11.19 μ m	100m			
	(B11) Infravermelho Termal	11.5 - 12.51 μ m	100m			

Fonte: ENGESAT (2013)

2.4 Redes neurais e segmentação de imagens

Segundo Cunha (2020), as redes neurais artificiais são uma forma computacional de representar os neurônios do cérebro humano. A partir de algoritmos essas redes podem identificar padrões através de um treinamento que aprende a modelar relações entre entradas e saídas de dados complexos utilizando métodos mais rápidos e precisos.

Segundo Vasconcelos e Novo (2004), os métodos manuais para a interpretação do mapeamento através de imagens de satélite demandam muito tempo. A alternativa para minimizar o tempo é o uso de classificação automática de imagens, onde as redes neurais utilizam métodos disponíveis para classificar pixel a pixel automaticamente. Os novos métodos de classificação automática baseados na segmentação de imagens e na classificação por regiões produzem resultados muito mais precisos (Nascimento, 1997).

A segmentação é o processo que permite que uma imagem seja subdividida em partes constituintes ou regiões, a partir de propriedades dos pixels, tais como nível de cinza e textura (Hussain, 1991). No contexto do processamento digital de imagens provenientes de sensores remotos, a segmentação de imagem assume um papel crucial na análise, focalizando na delimitação de objetos geográficos específicos ou na identificação de regiões distintas dentro da imagem (Moik, 1980).

3 METODOLOGIA

Este trabalho consiste em uma pesquisa exploratória a fim de propor critérios de seleção de imagens a fim de analisar as mudanças morfológicas dos rios utilizando técnicas de IA. Os primeiros critérios adotados para a seleção das imagens foram:

- Cotas do rio;
- Data das imagens;
- Período do ano em que as imagens foram obtidas;
- Cobertura de nuvens.

Para dar início ao procedimento metodológico, foi necessário analisar os dados obtidos via web através do portal hidroweb da Agência Nacional das Águas (ANA). Esses dados incluem informações sobre as cotas do rio Ibicuí, registradas na estação fluviométrica de Passo Mariano Pinto, código 76800000. O objetivo foi identificar os níveis do rio correspondente à cota zero ou com o valor mais próximo de sua cota zero para obter uma maior precisão, ao comparar as imagens. Em seguida, identificar as cotas mencionadas correlacionando-as com os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2024, a fim de se obter uma comparação de aproximadamente dez anos de diferença entre uma imagem e outra. E por fim, identificá-las na estação do verão onde a angulação do sol faz com que tenha menos sombra na imagem, assim não prejudica as informações das imagens e sua resolução espectral, além do fato que no verão a menos cobertura de nuvens tornando a visibilidade das imagens melhor.

Portanto ao analisar esses fatores, foi identificado que as cotas nos anos propostos anteriormente foram muito acima da cota zero, então os dados foram analisados e foi necessário estabelecer e identificar datas em que a estação fluviométrica coletou cotas aproximadamente entre 100 centímetros e 110 centímetros. Vale ressaltar que de acordo com a informação acima não foi possível realizar a coleta das imagens com exatos 10 anos de diferença, pois em determinados anos as cotas ficaram acima de 200 centímetros.

Tendo como base esse cenário, foram utilizadas as imagens do satélite landsat 5, órbita/ponto 224080, foi realizado o download das bandas espectrais 1,2,3,4 e 5 do sensor TM e foram utilizadas imagens do Landsat 8 e 9, órbita/ponto 224080, foi realizado o download de 5 bandas espectrais do sensor OLI, do satélite, sendo elas

as bandas 2,3,4,5 e 6. A partir disso as imagens foram coletadas nas datas conforme mostra o Quadro 3.

Quadro 3 - Relação das informações das imagens utilizadas no processamento com as cotas do Rio Ibicuí registradas pela estação Passo Marino Pinto

Satélite Imagiador	Órbita/ponto	Data	Estação Mariano Pinto (cm)
Landsat 5	224080	26/11/1985	103
		19/01/1994	102
		17/01/2005	101
Landsat 8		25/12/2013	107
Landsat 9		01/04/2023	105

Fonte: adaptado pelo autor.

Estas imagens foram obtidas no site *Earth Explorer*, site gerenciado pela USGS, que é um site que fornece imagens de satélites gratuitas.

As imagens utilizadas, do satélite Landsat 5, 8 e 9, capturadas com o sensor TM (Landsat 5), e OLI (Landsat 8 e 9), possuem 30m de resolução espacial, e estas foram processadas inicialmente no software QGIS. Foi realizado o procedimento de recorte das imagens correspondente a área a ser estudado destacado em vermelho na (Figura 1), e posteriormente foi realizada a criação de uma composição com as 5 bandas espectrais para todas as imagens. No entanto as imagens foram compostas com as bandas RGB 5, 4 e 3 para as imagens do Landsat 5 e as bandas RGB 6, 5 e 4 para as imagens do Landsat 8 e 9 conforme Figura 2, a fim de identificar com facilidade as diferenças entre onde é água e onde não é água

Figura 2 - Imagens de satélites utilizadas para a segmentação.



Fonte: adaptado pelo autor.

A Partir destas imagens foram feitos pequenos recortes, para compor o banco de dados s fins de treinamento da rede neural, os recortes das imagens onde pode ser reconhecido os pixels onde se sabe se é água ou não água.

Utilizando o Google Collaboratory (Colab), foi feito uma conversão dos dados de treinamento que estão nos bancos de dados transformando cada pixel em um vetor com o seu respectivo valor e sua classificação. E então foi utilizado um modelo baseado em rede neural utilizando tensorflow, sklearn e keras, para treinar a rede.

Após o treinamento, o modelo classificou os pixels das 5 imagens e originou as imagens da máscara contendo os valores de zeros e uns correspondentes aos pixels da camada de entrada. Nesta imagem terá os pixels resultantes que segmentam o que é “água” e “não água”.

Ainda no colab foram realizadas uma comparação nos pixels das imagens máscara de um ano para o outro, as comparações foram realizadas entre os anos de 1985 para 1994, 1994 para 2005, 2005 para 2013 e de 2013 para 2023. Desta forma foi possível classificar os pixels comparando as mudanças ocorridas da seguinte forma os pixels em que deixaram de ser rio de um ano para o outro foi classificado com a cor vermelha e o que passou a ser rio foi classificado com a cor azul e o que se manteve igual entre os dois anos foi classificado com a cor preta.

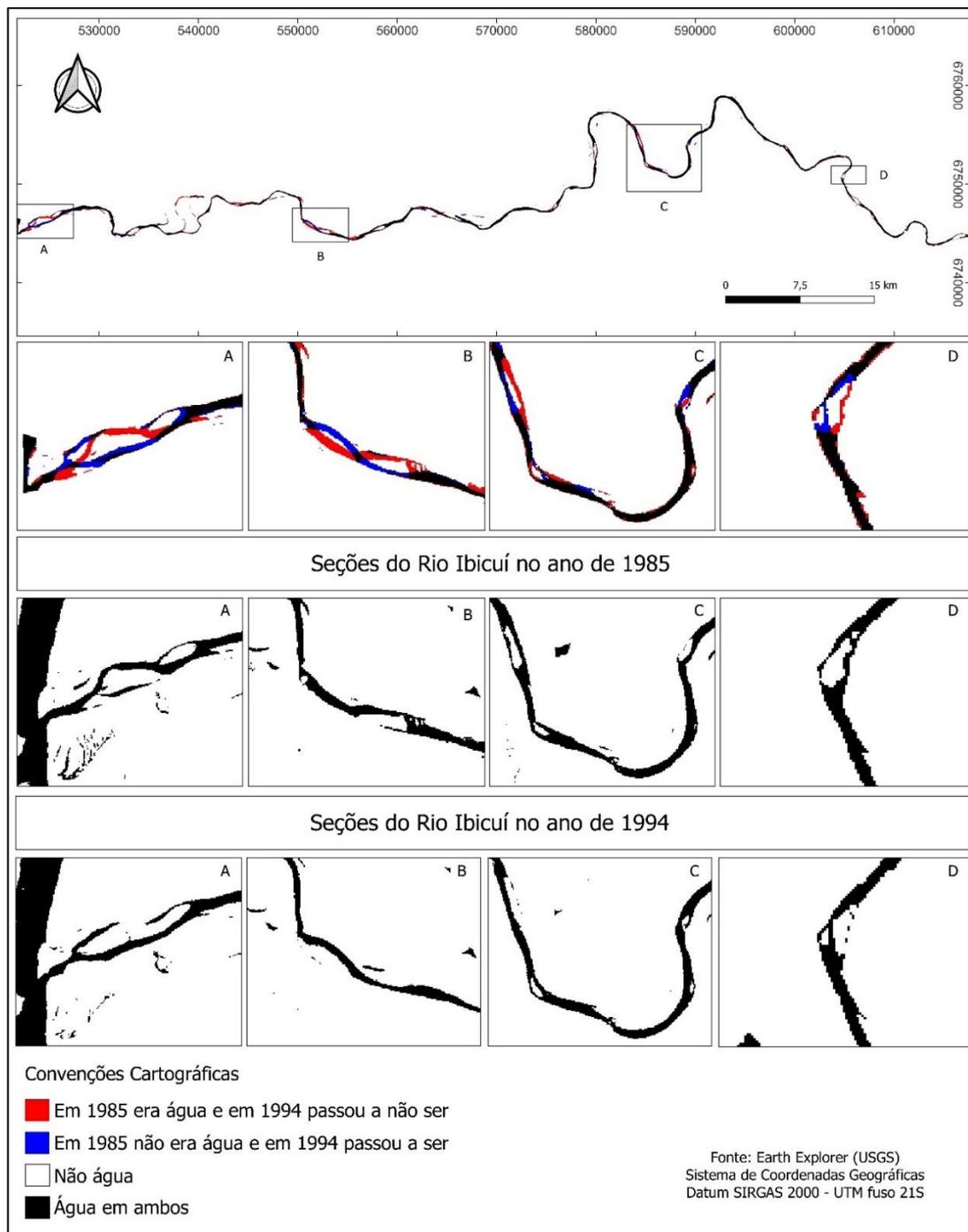
Por fim, com as imagens de comparação geradas foi possível realizar a análise da morfologia do rio entre os respectivos anos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão apresentados em duas etapas. Na primeira etapa, serão apresentadas as comparações do rio Ibicuí, identificando as áreas onde ocorreram alteração em sua morfologia entre os anos de 1985 e 1994, 1994 e 2005, 2005 e 2013 e 2013 e 2023. Na segunda etapa, a evolução histórica será a partir das análises temporais realizadas na primeira etapa e análise das mudanças de 1985 e 2023 e o que a ocasionaram.

Para iniciar a apresentação dos experimentos, as imagens foram processadas em separado, utilizando um modelo de aprendizado de máquina. Em seguida, realizou-se uma comparação entre as máscaras geradas pelo processo de segmentação das imagens. Vale ressaltar que as imagens foram georreferenciadas utilizando a ferramenta georreferenciador no QGIS, então ela não tem uma precisão no georreferenciamento é apenas uma aproximação, para a execução das figuras 3, 4, 5, 6 e 7 abaixo. Nesse sentido, a Figura 3 apresenta a comparação entre as imagens referentes aos anos de 1985 e 1994, onde a coloração vermelha, na imagem, indica as áreas do rio onde deixaram de ser água em 1994, a coloração azul indica as áreas do rio que passaram a ser água no ano de 1994 e a coloração preta indica as áreas onde o rio se manteve durante esses anos.

Figura 3 - Mapa de comparação da Morfologia do Rio Ibicuí nos anos de 1985 e 1994



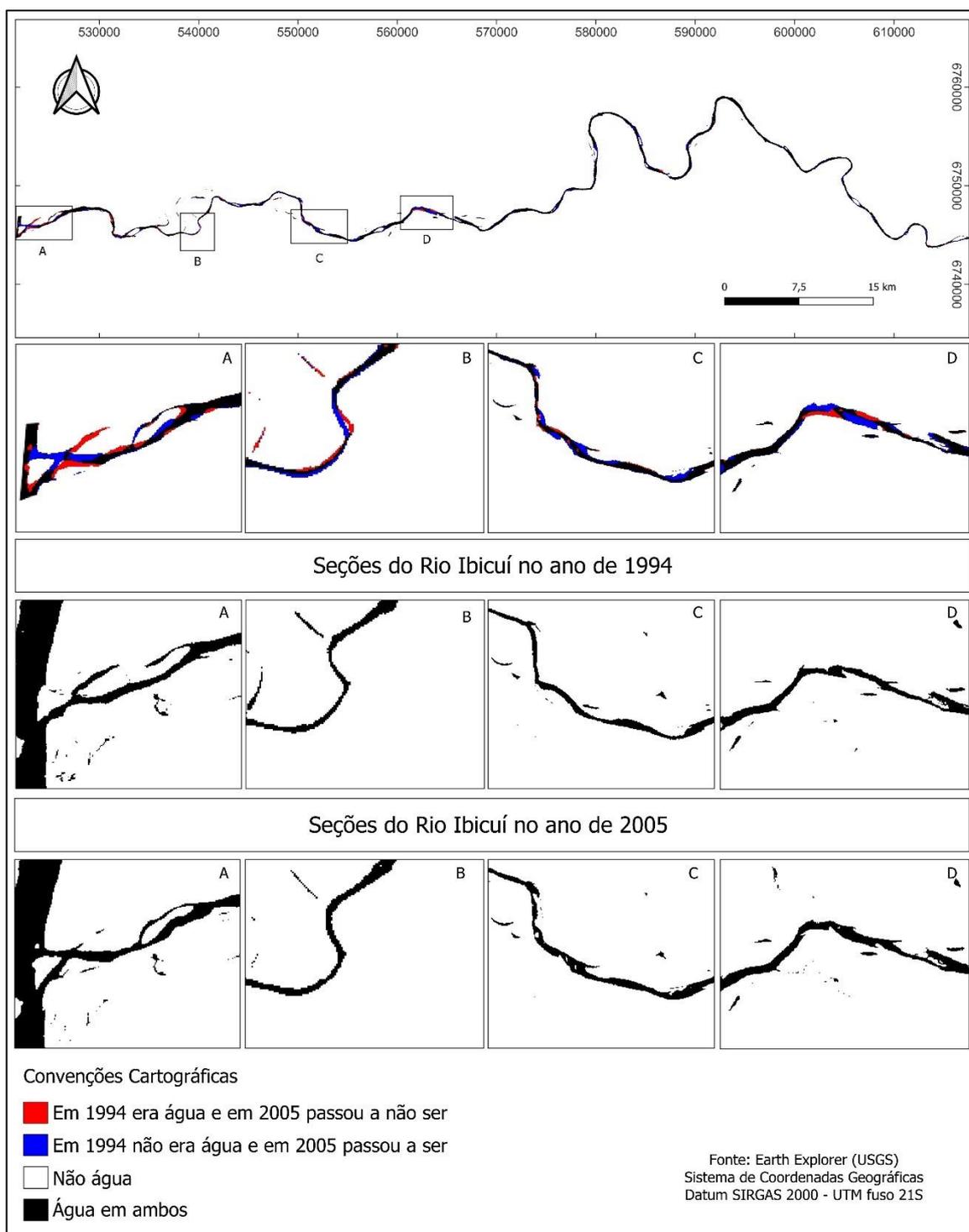
Fonte: adaptado pelo autor.

Ao observarmos a Figura 3 e analisarmos de forma qualitativa este trecho do rio Ibicuí entre os anos de 1985 e 1994 nota-se que como pontuado nos trechos A, B, C e D a morfologia do rio Ibicuí sofreu uma mudança significativa, percebe-se nitidamente os pontos onde em 1994 deixou de ser água (vermelho) em relação ao

ano de 1994 e o que passou a ser água 1994 o que em 1985 não era água.

A seguir, será analisada a comparação entre as imagens dos anos de 1994 e 2005. A Figura 4 apresenta a mesma dinâmica de cores da Figura 3.

Figura 4 - Mapa de comparação da morfologia do Rio Ibicuí nos anos de 1994 e 2005

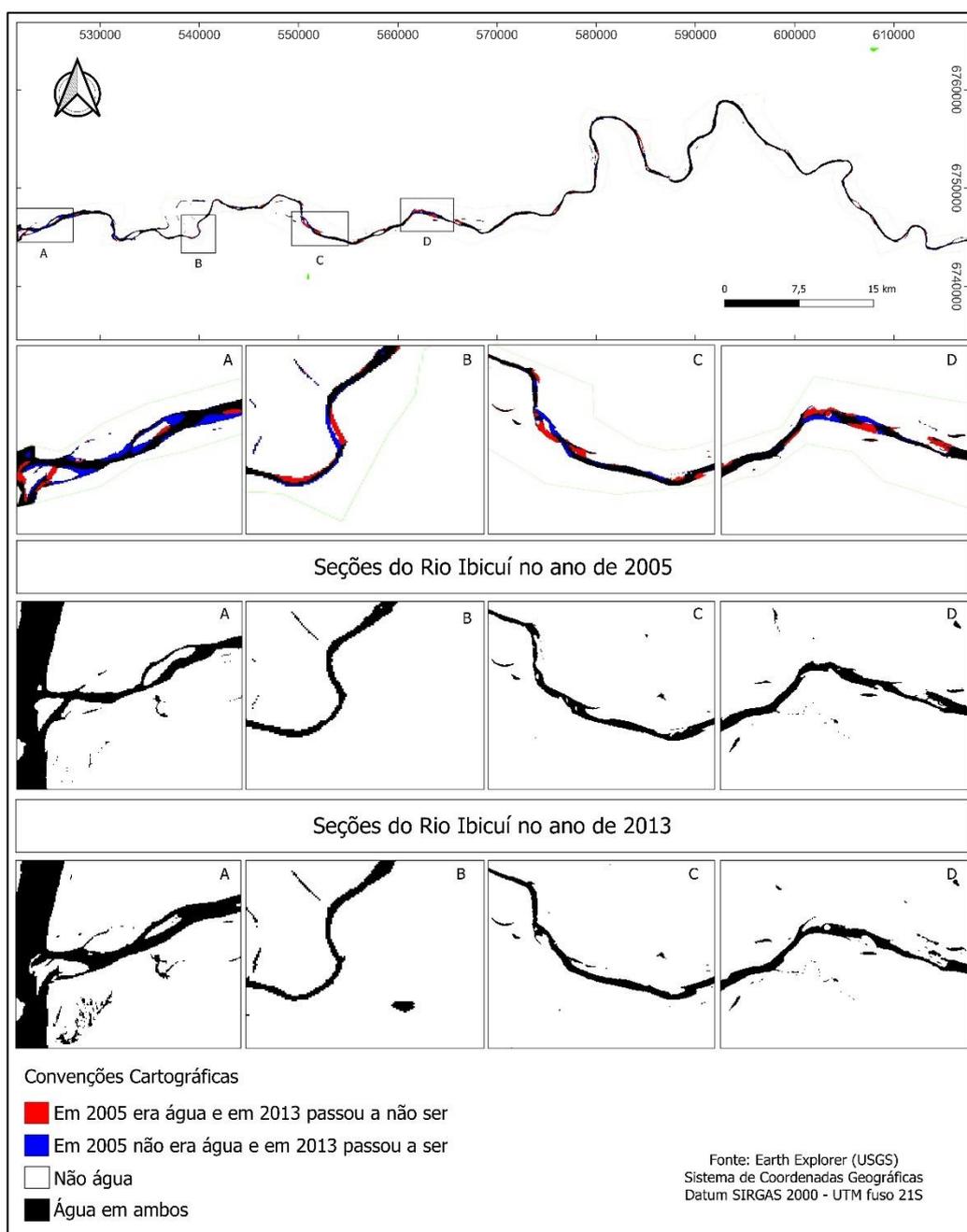


Fonte: adaptado pelo autor.

Conforme pode-se analisar a Figura 4, as mudanças morfológicas que ocorreram entre os anos de 1994 e 2005, perceptíveis visualmente foram destacadas na imagem nos pontos A, B, C e D do rio Ibicuí

A Figura 5 a seguir, será analisada a comparação entre os anos de 2005 e 2013, utilizando como linha de comparação as mesmas cores utilizadas nas Figuras 5 e 3.

Figura 5 - Mapa de comparação da Morfologia do Rio Ibicuí nos anos de 2005 e 2013

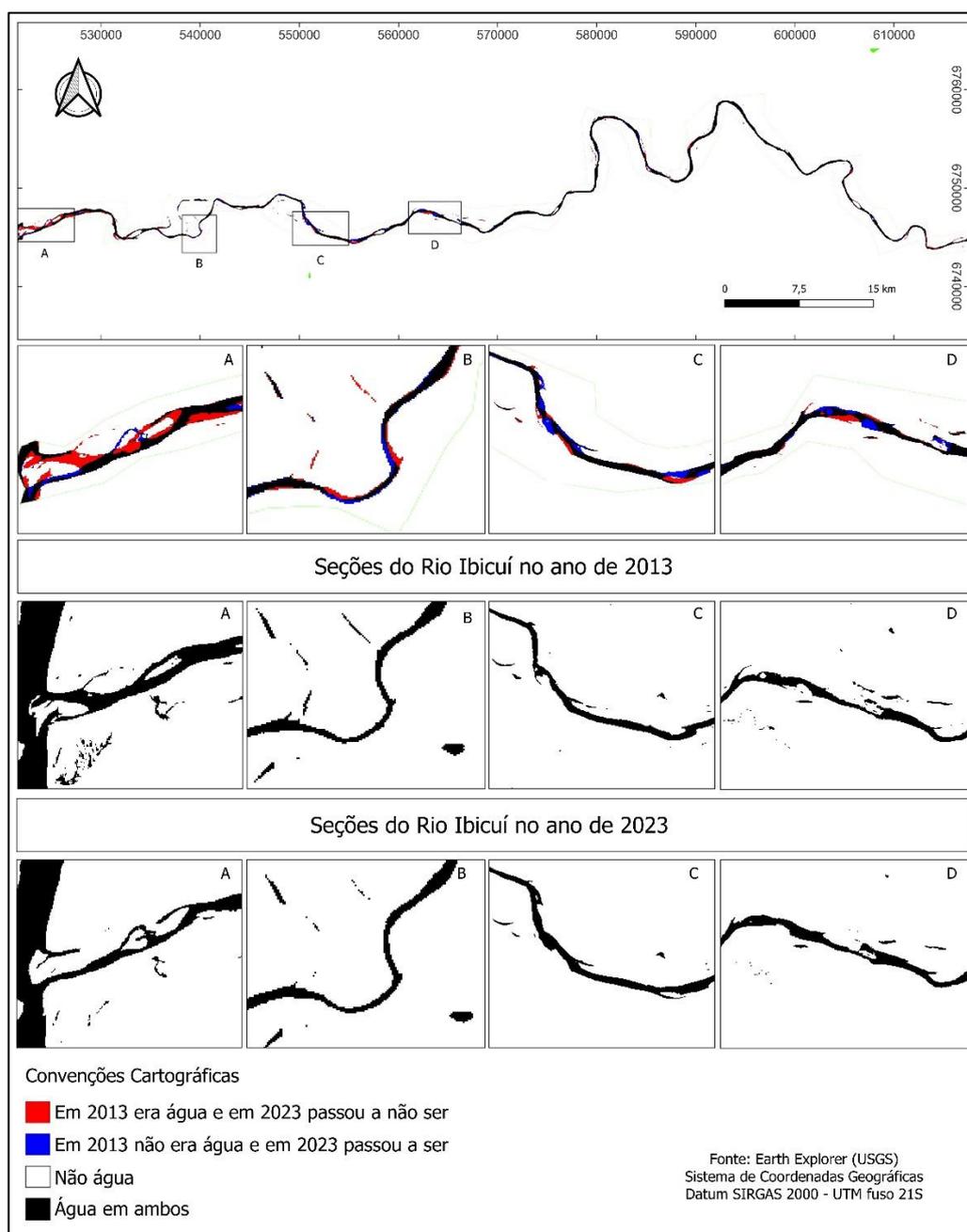


Fonte: adaptado pelo autor.

Ao analisar a Figura 5, pode-se perceber as alterações morfológicas que ocorreram nos anos de 2005 e 2013, visíveis na imagem destacando os pontos A, B, C e D do rio.

Para a análise da figura 6 a seguir, referente a comparação dos anos de 2013 e 2023, foi utilizado a mesmas cores de comparação utilizadas nas figuras 3, 4 e 5, apresentadas anteriormente.

Figura 6 - Mapa de comparação da Morfologia do Rio Ibicuí nos anos de 2013 e 2023

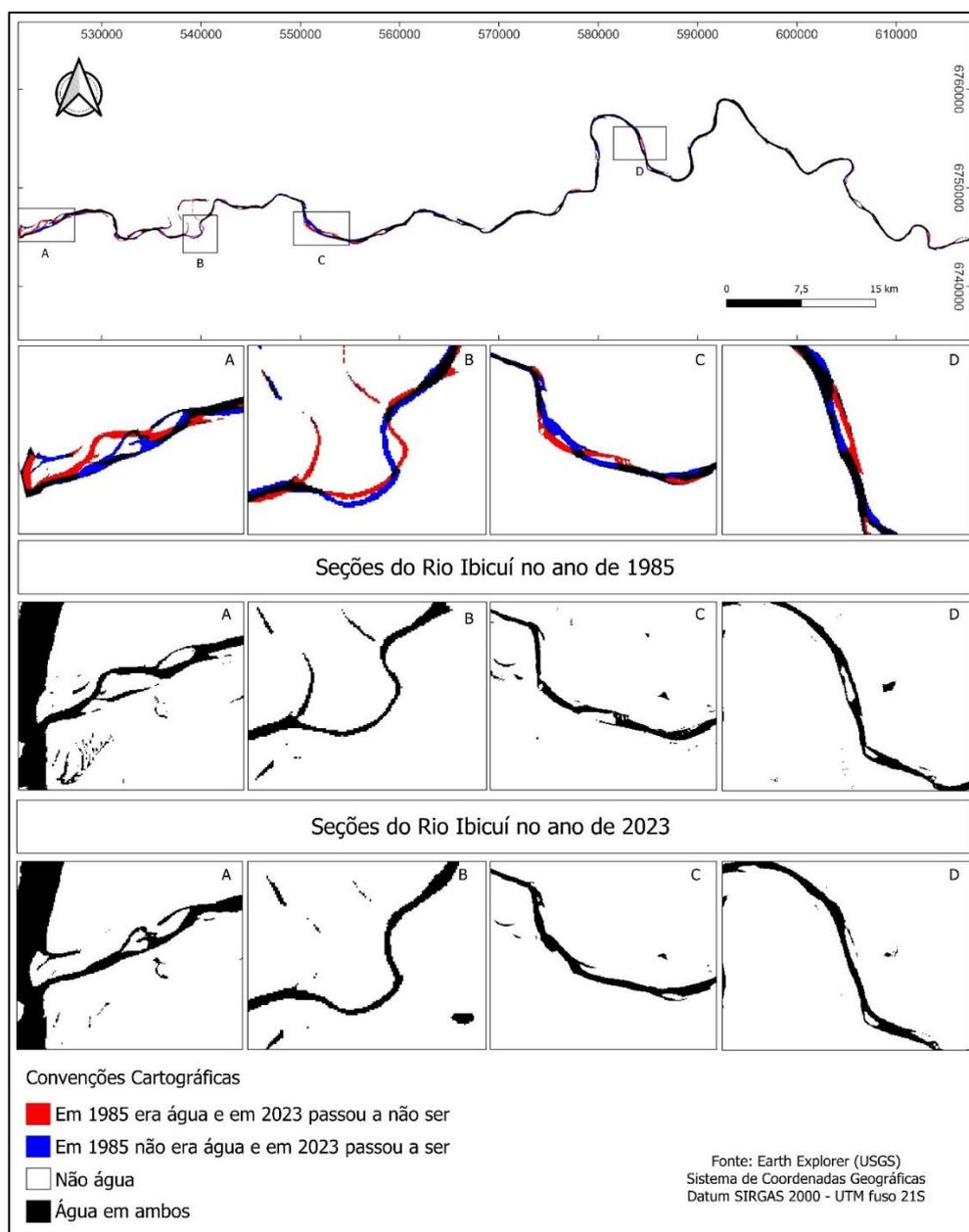


Fonte: adaptado pelo autor.

Tendo como base as alterações morfológicas da Figura 6, percebe-se suas alterações para os anos de 2013 e 2023, presentes nos trechos A, B, C e D do rio Ibicuí que foram destacados.

A seguir, será analisada a comparação entre as imagens dos anos de 1985 e 2023. A Figura 7 apresenta a cor vermelha para áreas onde deixaram de ser água em 2023 azul para pixels onde passou a ser água em 2023 e preto para onde se manteve água em ambas as imagens.

Figura 7 - Mapa de comparação da Morfologia do Rio Ibicuí nos anos de 1985 e 2023



Fonte: adaptado pelo autor.

Ao analisarmos a figura 7, percebe-se que as mudanças morfológicas do rio ficaram evidentes visualmente nos trechos A, B, C, e D. O quadro 4 traz uma relação entre a quantidade de pixels que representam as mudanças do rio e área correspondentes aos pixels em cada comparação.

Quadro 4 - Relação das contagens de pixels em cada comparação e suas respectivas áreas.

Imagens	Número de pixels em vermelho	Número de pixels em azul	Área em vermelho (km ²)	Área em azul (km ²)
1985-1994	7216	3123	6,494	2,811
1994-2005	2720	7145	2,448	6,431
2005-2013	4301	5338	3,871	4,804
2013-2023	5314	3851	4,783	3,466
1985-2023	6140	8643	5,526	7,779

Fonte: adaptado pelo autor.

Analisando o quadro 4 observa-se que de 85 para 94 grande parte da área do rio passou não ser mais rio. Em contraste, esse fenômeno se inverte na década seguinte, ao compararmos os anos de 94 e 05. Analisando a altura do rio medida pela estação Passo Mariano Pinto, conforme mostrado no quadro 3, observa-se que entre 84 e 95 temos uma diferença de 1 cm entre as medições nos dias correspondentes a obtenção das imagens. Similarmente, essa diferença também ocorre analisando as imagens nas décadas seguintes (94 e 05), onde a diferença é de 1 cm. Em contrapartida a diferença que ocorre nas imagens analisadas para os anos de 2005 e 2013 teve uma diferença de 6 cm e para os anos de 2013 e 2023 uma diferença de 2 cm.

Portanto não podemos afirmar que a real mudança da morfologia aconteceu devido a diferença de cota entre os anos. Mesmo que entre os anos de 2005 e 2013 se obteve uma diferença maior, não se pode afirmar que este foi o fator significativo para identificar a real mudança na morfologia do rio.

Observando a quadro 4, nota-se que na comparação entre os anos de 1985 e 2023, se obteve 6140 pixels que correspondem áreas que deixaram de ser água em 2023 totalizando 5,526km² e 8643 pixels que passaram a ser água no ano de 2023

com uma área de 7,7787km². Portanto 14,14% da área deixou de ser água em 1985 (vermelho) e 19,90% passaram a ser água em 2023 (azul), e 65,96% se mantiveram água (preto).

No entanto podemos afirmar que com a segmentação a partir das imagens de satélite, consegue-se identificar as mudanças que ocorreram na morfologia do rio Ibicuí durante os anos. Ressaltando que para identificar os fatores da mudança faz-se necessário um estudo específico in loco sobre as características que podem ter afetado estas mudanças como estudos de sedimentos, levantamentos topográficos, modelagem hidráulica e as características físicas do rio, para evidenciar as reais ocorrências destas mudanças.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo desenvolver e aplicar uma metodologia para avaliar as mudanças morfológicas dos rios.

Percebeu-se que o uso de técnicas de segmentação de imagens para análise de imagens de satélite é eficaz para a identificação das mudanças nas morfologias dos rios. A aplicação de redes neurais para a segmentação de imagens de satélite permitiu a análise de grandes quantidades de dados de forma automática e precisa das áreas de alteração na morfologia do rio em diferentes períodos.

A utilização de sensoriamento remoto, através das imagens disponíveis dos satélites Landsat, mostra ser essencial para se obter uma visão ampla e contínua das dinâmicas morfológicas. A qualidade dos dados fornecidos mostrou-se indispensável para estudos ambientais ao longo prazo. A associação dessas imagens com a inteligência artificial, particularmente redes neurais, pode automatizar o processo, fazendo com que a análise da grande quantidade de dados fosse realizada em pouco tempo reduzindo significativamente o esforço.

Pode-se concluir, que os resultados indicam mudanças significativas na morfologia do rio Ibicuí entre os anos que foram analisados (1985, 1994, 2005, 2013, e 2023). A identificação das áreas onde o rio teve perdas e ganhos de água trazem confirmações para a aplicação desta metodologia além de trazer informações valiosas para futuros estudos e para o desenvolvimento de políticas de uso sustentável. A análise quantitativa dos pixels que representam as áreas onde ocorreram mudanças trazem uma precisão e uma avaliação mais detalhadas das transformações morfológicas.

Deve-se destacar que para que haja uma determinação dos motivos reais das causas das mudanças morfológicas do rio é necessário um estudo detalhado das características físicas do rio e suas informações históricas. Com tudo utilizando a metodologia deste trabalho com as informações deste estudo pode-se gerar um resultado melhor para a determinação das reais mudanças morfológicas do Rio Ibicuí.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A.N. 2003. **Os Domínios de Natureza no Brasil – potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 159p.
- AMIRI, F.; RAHDARI V.; NAJAFABADI S.M.; PRADHAN B. **Multitemporal landsat images based on eco-environmental change analysis in andaround Chah Nimeh reservoir, Balochestan (Iran)**. Environ. Earth Sci. 2014. p.801-809
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**. Tradução de Raul Rubenich. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BIGARELLA, J. J; ANDRADE, G. O. **Contribution to the Study of the Brazilian Quaternary**. In: WRIGHT, H. E. Jr.; FREY, D. G. (Eds.). **International Studies on the Quaternary**. Geol. Soc. Am. Spec. Papers. New York, 84, 1965, p. 433-451.
- CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. UNICAMP/Instituto de Geociências. 1999.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Satélites de Monitoramento - Missões Landsat**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>>. Acesso em: 07 jul. 2024.
- ENGESAT. “Landsat - 8”. ENGESAT, 2013. Disponível em: <<http://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/Landsat/>>. Acesso em: 22 de maio 2024.
- FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**, Oficina de Textos, São Paulo, 2002, p 97.
- FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. Oficina de textos, 2007.
- HUSSAIN, Z. **Digital Image Processing: practical applications of parallel processing techniques** Ellis Horwood. 406p. 1991.
- MORAES, E.C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos. 30 p, 2002.
- MOSS, M, *et al.* **Rio Ibicuí: Relatório**. Brasil das Águas, 2013. Disponível em: <https://brasildasaguas.com.br/wp-content/uploads/sites/4/2013/05/Rio-Ibicui_Relatorio.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2024.
- MURRAY, A. B.; COCO, G.; GOLDSTEIN, E. B. **Cause and Effect in Geomorphic Systems: Complex Systems Perspectives**. Geomorphology, v. 214, p. 1-9, 2014.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Landsat 8**. Disponível em: <<https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>> . Acesso em: 22 de maio de 2024.

NASCIMENTO, P.S.R. **Avaliação de técnicas de segmentação e classificação em imagens Landsat-TM visando o mapeamento de unidades de paisagem na Amazônia São José dos Campos.** Dissertação (Mestrado) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. 120p. 1997.

NOVO, E. M. L. M. Comportamento Espectral da Água. In: MENESES, P.R.; MADEIRA NETTO, J. da S. (orgs). **Sensoriamento Remoto: Reflectância dos alvos naturais.** Brasília: UnB; Embrapa Cerrados, 2001. p.203-222.

PEJOVIĆ, M.; GOSPAVIĆ, Z.; MILOVANOVIĆ, B.; ARSIĆ, I. (2014). **Solving a surveying problem by using R and QGIS – Setting out of a land expropriation zone.** Genouka, 2(2), 12-18.

ROBERT, A.; KIRMAN, C.; LESACK, L. **Suspended sediment concentration estimation from multi-spectral video imagery.** International Journal Remote Sensing, v.16, p.2439-2455, 1995.

SAUSEN, T. **Sensoriamento Remoto. Meio ambiente e ciências atmosféricas.** São José dos Campos: INPE. 2005.

SILVA, V. A. **Geomorfologia antropogênica: mudanças no padrão de drenagem do canal principal e delta, no baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha/BA.** Tese de Doutorado (Doutorado em Geografia) Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. 2012.

SUGUIO, K. & BIGARELLA, J.J. **Ambientes fluviais.** 2.ed. Florianópolis: Editora da UFSC/UFPR, 1990.

VASCONCELOS, C. H., & NOVO, E. M. L. D. M. . **Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens-fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat5, na região do reservatório de Tucuruí-PA.** Acta Amazônica, 34, 487-493. 2004.