



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

**ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO MATHIAS ALMADA NOS ANOS 2013 E 2023: DELIMITAÇÃO E
QUANTIFICAÇÃO**

JUAN GABRIEL OCÁRIZ OCAMPOS

Foz do Iguaçu - PR

2023

**ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO MATHIAS ALMADA NOS ANOS 2013 E 2023: DELIMITAÇÃO E
QUANTIFICAÇÃO**

JUAN GABRIEL OCÁRIZ OCAMPOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura.

Orientador: Prof^a M^a Mara Rubia Silva

Coorientadora: Prof^a Dr^a Mariana Barbosa de Souza

Foz do Iguaçu - PR

2023

JUAN GABRIEL OCÁRIZ OCAMPOS

**ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
MATHIAS ALMADA NOS ANOS 2013 E 2023: DELIMITAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof^a M^a Mara Rubia Silva
UNILA

Prof^a Dr^a Juliana Rammé
UNILA

Prof^a Dr^a Naomi Anaue Burda
UNILA

Foz do Iguaçu, 14 de dezembro de 2023.

AGRADECIMENTOS

Aunque esta sea la última sección que escribí, ya pensé en comenzar mucho mucho antes, luego de todas las veces que pensé en desistir de este ciclo universitario y de que en todas ellas siempre hubo alguien de las personas que voy a mencionar en seguida, para darme apoyo en inúmeros sentidos, acogida, un abrazo, un consejo, palabras de aliento, un “¿quierés pausar ahí un rato y salimos para distraernos un poco?”.

Agradezco a mis orientadoras Mara y Mari, por sus enseñanzas a lo largo de estos años y por ser referencias de prácticas docentes humanizadas para mí, por la amistad y paciencia conmigo después de yo desaparecer por semanas y dejar de dar señales sobre el trabajo.

A Lange, cuyo trabajo de acogida e indagaciones hicieron suelo fértil y plantaron semillas para yo poder llegar hasta acá de la forma en la que llegué.

A mi familia en Asunción, Nelli, Esteban, Sixto, Mari y Lucero por hacerse presentes a lo largo de estos años y darme palabras de aliento, recuerdos confortantes y medios materiales para estudiar afuera de mi país.

A mi gran familia en Foz do Iguaçu, primeramente con quienes en algún momento compartimos casa e hicimos de ella un hogar seguro, a Yumi, Renan, Ju, Thiago y Altaveyda, por las largas conversaciones existenciales, las inúmeras risas de doler la panza, los llantos, la compañía y convivencia acogedoras. A mis amores que también fueron familia en estos años, Aleph, Thams, Lu, Humber, Gal, Ana, Yeni, Circe, Yuri (sirigaita), Gil, Alta, Karen, Jéssica, Luísa, Luz, Val, Karol, Tati, por los viajes, las idas a las cachoeiras y ríos, por compartir conmigo sus visiones de mundo y sus vidas, por los picnics, las fiestas, los shows, por las memorias maravillosas que creamos juntas y que me afectaron radicalmente.

A mis amigos y compas de curso, Lari, Ju, Ruth, Isa, Tom, Ara, Andrés, Gloria, Mari B., Mari D., Gabs por el compañerismo y esa red de apoyo interna que hicieron de estos años y semestres más llevaderos y pasables.

A mis camaradas Rebe y Pam por apoyarme en todas, por los debates profundos y la inspiración a seguirme formando,

Este trabajo sólo fue posible a través de los vínculos con cada una de estas personas en mi vida, llegamos, gente! <3

RESUMO

A urbanização se apresenta como atividade antrópica, cujos aspectos de expansão e ocupação interagem com o meio ambiente, que impacta de forma direta no equilíbrio e biodiversidade do meio em que ocorre. Diante do processo histórico de expansão urbana planejada seguindo apenas interesses econômicos é que, há alguns anos, o Estado entende a bacia hidrográfica como uma unidade geográfica de planejamento do uso e ocupação do solo, na qual interesses econômicos deveriam estar integrados com princípios físicos como a força gravitacional, ecológicos, sociais e políticos. Como medida de mitigação do risco causado pela deterioração ambiental a nível mundial é que, no Brasil, desenvolveram-se leis e resoluções federais, estaduais e municipais, dentre as quais cita-se a Lei de Proteção da Vegetação Nativa, ou novo Código Florestal (lei federal nº 12.651 de 25 de maio de 2012), que revogou o Código Florestal de 1965 (lei federal nº 4.771/65), e que dispõe, entre outras coisas, sobre a proteção de vegetação nativa e delimita áreas de preservação permanente – APP, correspondentes às faixas marginais, próximas a qualquer curso de água natural perene e intermitente, que protegem do uso e ocupação antrópicos em áreas de largura relativa à largura das correntes de água. O objetivo desta pesquisa foi analisar a situação de uso e ocupação do solo nas áreas de proteção legal na bacia hidrográfica do rio Mathias Almada, por esta tratar-se da segunda mais populosa da cidade de Foz do Iguaçu – Paraná, segundo disposições legais vigentes concernentes às áreas de preservação permanente - APP através do geoprocessamento, nos anos 2013 e 2023. Delimitou-se as margens de proteção dos trechos e nascentes da área em análise, e logo quantificou-se que, embora tenha existido um aumento de 7,7% na mata ciliar em 10 anos, em 2023 ainda existe uma área faltante de 33,63% de mata ciliar estabelecida por lei, correspondente a 80,85 hectares, cuja ocupação majoritária continua sendo pela cultura agrícola, e que preocupa pelo despejo de agrotóxicos diretamente no rio ou através do lençol freático, contaminando o ecossistema a jusante.

Palavras-chave: Uso e Ocupação de Solo; Geoprocessamento; Sensoriamento Remoto; Preservação; Código Florestal.

RESUMEN

La urbanización se entiende como actividad antrópica, cuyos aspectos de expansión y ocupación interactúan con el medio ambiente, que impacta de manera directa en el equilibrio y la biodiversidad del entorno en el que ocurre. Ante el proceso histórico de expansión urbana siguiendo únicamente intereses económicos es que, desde hace algunos años, el Estado entiende la cuenca hidrográfica como unidad geográfica de planificación del uso y ocupación del suelo, en la cual los intereses económicos deben integrarse con principios físicos como la fuerza gravitacional, ecológicos, sociales y políticos. Como medida de mitigación del riesgo causado por la crisis climática mundial, en Brasil se desarrollaron leyes y resoluciones federales, estatales y municipales, entre las cuales se menciona la Ley de Protección de la Vegetación Nativa, o nuevo Código Forestal (ley federal n° 12.651 de 25 de mayo de 2012), que derogó el Código Forestal de 1965 (ley federal n° 4.771/65), y que trata sobre la protección de la vegetación nativa y delimita áreas de preservación permanente - APP, correspondientes a las franjas marginales de cualquier curso de agua natural permanente e intermitente, que protegen del uso y ocupación antrópicos en áreas de ancho relativo a la anchura de los cursos de agua. El objetivo de esta investigación fue analizar la situación del uso y ocupación del suelo en las áreas de protección legal en la cuenca hidrográfica del río Mathias Almada, por tratarse de la segunda más poblada de la ciudad de Foz do Iguaçu - Paraná, según las disposiciones legales vigentes relacionadas con las áreas de preservación permanente - APP, mediante el uso de geoprocésamiento en los años 2013 y 2023. Se delimitaron los márgenes de protección de los segmentos y nacientes del área en análisis y luego se cuantificó que, aunque hubo un aumento del 7,70% en la vegetación de ribera en 10 años, en el 2023 todavía existe un área faltante del 33,63% de la vegetación de ribera exigida por ley, correspondiente a 80,85 hectáreas, cuya ocupación mayoritaria continúa siendo por actividades agrícolas, lo que preocupa debido al vertido de agrotóxicos directamente en el río o a través del agua subterránea, contaminando el ecosistema aguas abajo.

Palabras clave: Uso y ocupación del suelo; Geoprocésamiento; Teledetección; Preservación; Código Forestal.

ABSTRACT

Urbanization is presented as an anthropic activity, whose aspects of expansion and occupation interact with the environment and directly affects the balance and biodiversity of the environment it occurs. Faced with the historical process of planned urban expansion driven solely by economic interests, in recent years the Brazilian State has come to view that a watershed is a geographical unit for land use and occupation planning. In this approach, economic interests should be integrated with physical principles such as gravitational force, alongside ecological, social, and political considerations. As a measure to mitigate the risk caused by global climate crisis, the Brazilian State has developed federal, state and municipal laws and regulations. Among these, the Native Vegetation Protection Law, also known as the new Forest Code (Federal Law No.12,651 of May 25, 2012) stands out. This law repealed the Forest Code of 1965 (Federal Law No. 4,771/65) and addresses, among other things, the protection of native vegetation and delimits permanent preservation areas (PPAs), corresponding to marginal strips near any perennial and intermittent natural watercourse. These areas safeguard against anthropic use and occupation in widths relative to the watercourse widths. The objective of this research was to analyze the situation of land use and occupation in the legal protection areas in the Mathias Almada River watershed, which is the second most populous in the city of Foz do Iguaçu – Paraná. This analysis was conducted in accordance with current legal requirements related to permanent preservation areas (PPAs) for the years 2013 and 2023. The protection margins of the segments and sources were delineated and it was quantified that, despite a 7.7% increase in riparian forest over 10 years, in 2023, there is still a missing area of 33.63% of riparian forest required by law, corresponding to 80.85 hectares. The majority of this area is still occupied by agricultural practices, raising concerns about the discharge of pesticides directly into the river or through the groundwater, contaminating the downstream ecosystem.

Keywords: Land Use and Occupation; Geoprocessing; Remote Sensing; Preservation; Forest Code.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização do município de Foz do Iguaçu - PR.....	25
Figura 2 - Localização da bacia do rio Mathias Almada em Foz do Iguaçu	26
Figura 3 – Bairros na área de drenagem do rio Mathias Almada em Foz do Iguaçu	27
Figura 4 – Delimitação da bacia hidrográfica junto com o traçado viário da cidade.	28
Figura 5 - Visualização da área em análise em composições Natural (acima) e Falsa-Cor (abaixo) nas imagens do ano 2013.....	33
Figura 6 – Mapas com 5 classes de uso e ocupação de solo da bacia do Rio Mathias Almada nos anos 2013 e 2023	37
Figura 7 – Mapas de 4 classes de uso e ocupação de solo da bacia do Rio Mathias Almada nos anos 2013 e 2023	40
Figura 8 – Delimitação de APP e interseção com classes de uso e ocupação nos anos 2013 e 2023.....	41
Figura 9 – Porcentagem das classes de uso e ocupação em APP – comparativo..	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Largura da faixa de proteção dos rios segundo a largura dos canais.....	18
Tabela 2 - Bandas espectrais do satélite Landsat 8 com suas resoluções respectivas	21
Tabela 3 – Sub-bacias de maior população em Foz do Iguaçu	26
Tabela 4 – Área em km ² de cada classe de uso e cobertura de solo da bacia em análise	28
Tabela 5 - Detalhamento das imagens obtidas	30
Tabela 6 - Classes de uso e ocupação segundo fase do processo metodológico ...	32
Tabela 7 - Composições de bandas espectrais do satélite Landsat 8	32
Tabela 8 - Respostas espectrais na combinação R6G5B4 de cada classe de cobertura de solo junto às cores resultantes da classificação.	34
Tabela 9 - Avaliação de qualidade da precisão da classificação utilizando o índice Kappa (K)	36
Tabela 10 – Índices Kappa obtidos para a classificação de cada ano em análise...	38
Tabela 11 – Valores em porcentagem de precisões do produtor e do usuário.	38
Tabela 12 - Áreas totais de cada uma das 5 classes de uso e ocupação, nos anos 2013 e 2023.....	39
Tabela 13 - Áreas totais de cada uma das 4 classes de uso e ocupação, nos anos 2013 e 2023.....	40
Tabela 14 – Detalhamento das quatro classes de uso e ocupação nas APP, nos anos 2013 e 2023.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Áreas de Preservação Permanente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPSG	<i>European Petroleum Survey Group</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NASA	Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço
PMFI	Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu
PMGRH	Plano Municipal de Gestão de Recursos Hídricos
QGIS	<i>Quantum Geographic Information System</i>
SCP	<i>Semi-Automatic Classification Plugin</i>
SCUT	Sistema de Classificação da Cobertura e Uso da Terra
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SMPCR	Secretaria de Planejamento e Captação de Recursos
UNILA	Universidade Federal da Integração Latino-Americana
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>
WGS84	<i>World Geodetic System 1984</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 SÍNTESE DA BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL.....	15
3.1 URBANIZAÇÃO – CRESCIMENTO E EXPANSÃO URBANA	15
3.1.1 Uso E Ocupação De Solo.....	16
3.1.2 Legislação Ambiental – Áreas de Preservação Permanente (APP)	17
3.2 SENSORIAMENTO REMOTO	18
3.2.1 Sensoriamento Remoto E Uso E Ocupação De Solo	19
3.2.2 Satélite LANDSAT	21
3.2.2.1 <i>Classificação digital de imagem</i>	22
4 METODOLOGIA	24
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	24
4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	29
4.2.1 Aquisição Das Imagens De Satélite	29
4.2.2 Pré-Processamento Das Imagens.....	30
4.2.3 Determinação Das Classes De Uso E Ocupação De Solo	31
4.2.4 Processamento E Classificação Das Imagens	32
4.2.5 Avaliação Da Precisão Da Classificação	35
4.2.6 Delimitação De APP	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO NA BACIA DO RIO MATHIAS ALMADA.....	37
5.2 AVALIAÇÃO DA DELIMITAÇÃO DAS APP.....	40
5.3 IMPACTOS E IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS	43
5.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	44
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Durante os anos de graduação percebeu-se um aumento nos loteamentos municipais e nas plantações em locais imediatos ao rio Mathias Almada próximo dos Campus da UNILA, que são o edifício Mathias Almada, o atual Campus Integração e o Jardim Universitário. Desta maneira, surgiu o interesse em saber qual a realidade de uso e cobertura da terra, e possíveis mudanças ao longo do tempo, das margens desse rio, e quais os instrumentos legais e órgãos públicos responsáveis pela regulação da urbanização e o planejamento urbano.

Assim, Tucci (2012) afirma que o processo de urbanização resulta na vasta aglomeração de pessoas em espaços reduzidos, elevando assim o consumo dos recursos naturais de solo e água, que por sua vez acarreta a perda de biodiversidade, entre outras consequências, como a necessidade de políticas públicas de planejamento urbano.

Existe a necessidade de determinar um ponto de partida e um norteamento para o planejamento urbano a fim de equilibrar elementos humanos, sociais e ambientais. Nesse contexto, a bacia hidrográfica é entendida como uma unidade geográfica de planejamento do uso e ocupação do solo, na qual interesses econômicos devem estar integrados com princípios físicos como a força gravitacional, ecológicos, sociais, políticos e econômicos (CAMPOS, 2010).

Desta forma, a necessidade de implantação de políticas que visem a regulamentação da expansão urbana de forma planejada e visando a sustentabilidade resultou na redação de leis federais, como o Código Florestal Brasileiro, de resoluções federais como as do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), de leis estaduais e diretrizes previstas no Estatuto das Cidades, e de leis municipais, como o Plano Diretor (RIZZO, RODRIGUES, 2014).

Assim, a Lei de Proteção da Vegetação Nativa, ou novo Código Florestal (lei federal nº 12.651 de 25 de maio de 2012), que revogou o Código Florestal de 1965 (lei federal nº 4.771/65), que dispõe, entre outras coisas, sobre a proteção de vegetação nativa, estabelece no seu artigo 4º, faixas de proteção permanente limitando o uso e ocupação em áreas próximas a qualquer curso de água. A largura das faixas marginais dependerá da largura do curso de água e nelas a vegetação será

conservada pela pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado que a possua (BRASIL, 2012).

Sendo assim, a expansão irregular nas bacias hidrográficas, especialmente sobre áreas de mananciais correspondentes às áreas de preservação permanente – APP, que abastecem o consumo humano, é considerada como um dos principais problemas relacionados ao uso do solo e que acaba comprometendo a sustentabilidade hídrica das cidades (TUCCI, 2012), especialmente nos dias atuais, em que os avanços das mudanças climáticas colocam em dúvida o presente e futuro da humanidade.

Segundo dados apresentados no Plano Municipal de Gestão dos Recursos Hídricos (PMGRH) da Secretaria Municipal de Planejamento e Captação de Recursos (SMPCR) da Prefeitura de Foz do Iguaçu (SMPCR, 2019), a bacia hidrográfica do rio Mathias Almada corresponde à segunda bacia mais populosa do município, contando com 58.482 habitantes estimados que correspondem a 28% da população total da cidade, através de dados obtidos no senso do IBGE de 2010.

Desta forma, o interesse em estudar a bacia, na qual está implantada boa parte da UNILA, fundamenta-se também no dado da quantidade de iguaçuenses morando na área, em que a APP, além de atuar como margem de preservação do ecossistema hídrico, visa a proteger as pessoas que vivem no local, contra inundações e deslizamentos que, com a crise climática global, vêm sendo mais frequentes e de maior intensidade.

Considerando a dimensão que abrange uma bacia, surge a indagação sobre quais as ferramentas possíveis a serem adotadas e que deem conta do estudo e da quantificação que se objetivam no presente trabalho, assim, encontra-se plausível o uso do sensoriamento remoto como instrumento de pesquisa.

Segundo Lillesand *et al.* (2015) o sensoriamento remoto espacial trouxe novas dimensões no entendimento, não somente das maravilhas naturais e processos que operam no planeta terra, mas também dos impactos das atividades humanas na frágil e interconectada base de recursos terrestres. Para além disso, o sensoriamento remoto espacial é uma ferramenta útil que pode contribuir com o diagnóstico e tomada de decisão no processo de elaboração de políticas públicas de planejamento urbano, a fim de melhorar a qualidade de vida das pessoas em uma determinada região.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as Áreas de Preservação Permanente (APP) da bacia hidrográfica do rio Mathias Almada, Foz do Iguaçu – Paraná, nos anos 2013 e 2023, segundo disposições da legislação ambiental vigente e utilizando métodos de geoprocessamento.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Verificar a existência de dados cadastrais e de uso e ocupação de solo coletados pelo órgão competente dentro da Prefeitura de Foz do Iguaçu – PR discriminado por anos;
- b) Desenvolver mapas de uso e ocupação do solo a partir da classificação supervisionada de imagens obtidas através de sensoriamento remoto e processadas no QGIS;
- c) Conferir a legislação federal sobre APP da bacia hidrográfica e possíveis atualizações relevantes que compreendam os anos 2013 e 2023;
- d) Computar a quantidade de mata ciliar em APP nos anos contemplados para a análise da área em estudo, considerando os trechos do rio e as nascentes;
- e) Comparar as áreas computadas com a legislação vigente;
- f) Explicar as mudanças ocorridas ao longo do tempo de análise e suas implicações ambientais.

3 SÍNTESE DA BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL

Nesta seção, mediante a realização de pesquisa bibliográfica apresenta-se uma breve, mas não exclusiva, revisão teórica do conteúdo a ser abordado no presente trabalho, que por sua vez encontra-se listado a seguir:

3.1 URBANIZAÇÃO – CRESCIMENTO E EXPANSÃO URBANA

De acordo com o IBGE (2015), durante as décadas de 1970 e 1980 ocorreu no Brasil um processo de deslocamento da população rural para as cidades, denominado de êxodo rural. Este processo se deu principalmente com a crescente mecanização da produção agrícola que obrigou as pessoas trabalhadoras do campo a procurarem oportunidades de trabalho e sustento nas cidades.

No que tange a Foz do Iguaçu, um marco histórico na sua demografia ocorreu com a construção da Hidrelétrica de Itaipu que atraiu contingentes populacionais do próprio e de outros Estados brasileiros, assim como estrangeiros, principalmente do Paraguai. Segundo dados do IBGE da época, em 1970 Foz do Iguaçu contava com 33.966 habitantes e passou a ter 136.321 para 1980, obtendo assim um crescimento populacional de quase 300% em apenas 10 anos (DE MARTINS e RUSCHMANN, 2010).

Para este efeito, foi preciso criar as vilas operárias da Itaipu conhecidas como Vila A, Vila B e Vila C para acolher os trabalhadores das distintas áreas de atuação no processo de construção da barragem, urbanizando assim essas áreas não povoadas ou que anteriormente eram consideradas áreas rurais do município.

Segundo dados do levantados pela Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) do IBGE, a porcentagem da população brasileira que habita áreas urbanas é de 84,72%, enquanto o restante 15,28% habita áreas rurais. Esses números ressaltam a importância de se pensar alternativas humanizadas, democráticas e sustentáveis para o planejamento do espaço urbano.

Tucci (2012, p. 9) afirma que o processo de urbanização resulta na vasta aglomeração de pessoas em espaços reduzidos, elevando assim o consumo dos recursos naturais de solo e água, que por sua vez, acarreta a perda de biodiversidade.

Segundo o mesmo autor “o meio formado pelo ambiente natural e pela população (socioeconômico urbano) é um ser vivo e dinâmico que gera um conjunto de efeitos interligados que, sem controle, pode levar a cidade ao caos.”

3.1.1 Uso E Ocupação De Solo

A expansão irregular sobre áreas de mananciais que abastecem o consumo humano é apontada por Tucci (2012) como um dos principais problemas relacionados ao uso do solo e que acaba comprometendo a sustentabilidade hídrica das cidades. Da mesma forma, o autor afirma que devido à falta de planejamento (entendido como democrático) e fiscalização da expansão urbana, a população de baixa renda das cidades é quem tende a ocupar áreas de risco de encostas e de inundação ribeirinha.

Diante dessa realidade, são citadas a seguir pesquisas científicas locais que buscam explorar a falta de planejamento democrático e humanizado em detrimento da lógica de interesses de grandes grupos econômicos que são os que orientam a conformação e produção das cidades, particularmente de Foz do Iguaçu, e quais os efeitos dessa lógica no dia a dia dos habitantes do município, principalmente da parcela da população vulnerável.

Sendo assim, Rammé (2020) discute as relações entre a estrutura físico-espacial da paisagem urbana e as atividades cotidianas que regem a vida pública antes, durante e após o período de intensa expansão urbana pela implantação da Hidrelétrica da Itaipu, na região norte da cidade, em que a construção, no lado brasileiro, das suas vilas operárias A, B e C são associadas, dentre outras coisas, com a reprodução de uma lógica habitacional segregadora vinculada a grandes obras de engenharia. Isso porque as Vilas A, B e C foram construídas seguindo o perfil dos trabalhadores que iam habitá-las, refletindo na morfologia desses bairros (e qualidade das construções) e acessos a estruturas urbanas que permanecem até os dias atuais.

Se tem também a pesquisa de Bortoluzzi (2022) sobre a vulnerabilidade socioambiental em áreas de fundo de vale ou áreas de preservação permanente no município, explorando os processos históricos de produção do espaço urbano ligados à expressiva migração para a construção da usina da Itaipu que, junto à desconsideração de rios e córregos do planejamento urbano e da preservação ambiental, resultam, entre outras coisas, em crescentes casos de inundações e

alagamentos que acabam afetando, em maior medida, à população iguaçuense mais vulnerável que se vê obrigada a ocupar as áreas de proteção permanente.

Ambos autores demonstram que, em consonância com esses processos de segregação e vulnerabilização de certas populações enquanto se produz a cidade, a regularização de ocupações em áreas de proteção para atividades agrícolas, mas não só, por um grupo de pessoas que detém alto poder aquisitivo, além de licenciamentos estatais, é cada vez mais rotineira nas cidades brasileiras, enquanto esse grupo de pessoas também ocupam os espaços menos vulneráveis das bacias hidrográficas.

3.1.2 Legislação Ambiental – Áreas de Preservação Permanente (APP)

Decorrente da necessidade de ação do Estado em matéria de aplicação de políticas que visem a regulamentação da expansão urbana de forma planejada e visando a sustentabilidade, resultou na redação de leis federais, como o Código Florestal Brasileiro de 1965, de resoluções federais como as do CONAMA, de leis estaduais e diretrizes previstas no Estatuto das Cidades, e de leis municipais, como o Plano Diretor (RIZZO, RODRIGUES, 2014).

A Lei de Proteção da Vegetação Nativa, ou novo Código Florestal (lei federal nº 12.651 de 25 de maio de 2012), que revogou o Código Florestal de 1965 (lei federal nº 4.771/65), considerada por esta ser de aplicação quase integral no tempo considerado de pesquisa, dispõe sobre a proteção de vegetação nativa, conceitua a APP como uma área protegida legalmente, com cobertura vegetal nativa ou não, e que serve, entre outras coisas, para a manutenção da biodiversidade, de recursos hídricos, da paisagem e estabilidade geológica para além da superfície terrestre a proteção da mesma, elencado ao estado de bem-estar humano (BRASIL, 2012).

A mesma lei supracitada dispõe no seu artigo 4º, inciso I, acerca da proteção da vegetação nativa, estabelecendo distâncias de vegetação marginal, ou mata ciliar, a serem mantidas e que dependem da largura do canal do rio, como mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Largura da faixa de proteção dos rios segundo a largura dos canais.

Largura do rio	Largura da faixa marginal (APP)
< 10 m	30 m
Entre 10 m – 50 m	50 m
Entre 50 m – 200 m	100 m
Entre 200 m – 600 m	200 m
> 600 m	500 m

Fonte: adaptada de BRASIL (2012).

Seguindo o mesmo artigo da Lei, desta vez o inciso IV estabelece que as áreas ao redor das nascentes e dos olhos d'água perenes deve ser um raio de, no mínimo, 50 m.

3.2 SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto, segundo Zaidan (2017), forma parte de um vasto grupo de geotecnologias definidas como:

“[...] o conjunto de tecnologias para coleta, armazenamento, edição, processamento, análise e disponibilização de dados e informações com referência espacial geográfica. São compostas por soluções em *hardware*, *software*, *peopleware* e *dataware*. [...]” (ZAIDAN, 2007, p. 198)

O mesmo autor supracitado refere a outras geotecnologias como “o geoprocessamento, SIG, Cartografia Digital ou Automatizada, Sistema de Posicionamento Global (ex. GPS), Aerofotogrametria, Geodésia, entre outros”. Desta maneira, no presente trabalho escolhe-se abordar, além do sensoriamento remoto por imagens de satélite, uma ferramenta de geoprocessamento livre e gratuito chamado QGIS.

Assim, a definição de sensoriamento remoto dada por Meneses *et al.* (2012, p. 3) consiste em “uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres.” Como dito acima, o sensoriamento remoto tem contribuído para o planejamento urbano e diagnósticos que podem contribuir para a melhora da qualidade de vida das pessoas.

Florenzano (2002) explica o termo sensoriamento é relacionado à aquisição de dados através de sensores localizados no planeta terra, podendo estes estarem no espaço aéreo, instalados em balões e aeronaves, como também na órbita, em forma

de satélites artificiais; por sua vez o termo remoto, que é palavra sinônima de afastado, utiliza-se devido ao fato de que não há contato físico entre os objetos na superfície terrestre e os sensores. A mesma autora também aponta a origem do sensoriamento remoto estar vinculada ao surgimento da fotografia aérea estreitamente ligada ao uso militar, cujo objetivo principal era a detecção de tropas inimigas e espionagem em conflitos bélicos através de veículos aéreos como aviões usados para o combate.

O processo de sensoriar remotamente a superfície terrestre é feito por meio de equipamentos chamados radiômetros, que, segundo Moreira (2011) têm por objetivo quantificar os níveis de radiação emitida pelos objetos na superfície terrestre de modo a constituir um produto que permita ser estudado e analisado para obter informações úteis aos seus objetivos de uso das distintas áreas do conhecimento.

Como afirmam Lillesand *et al.* (2015), os campos de estudo da atividade humana em que o sensoriamento remoto pode ser utilizado são numerosos, desde seu uso no planejamento urbano para a construção de modelos 3D de cidades, passando pela ecologia e caracterização de áreas de tipos de massas florestais, sistemas de transporte, a indústria mineira, etc., todas essas aplicações seguem o mesmo processo geral: Dados sensorados remotamente são transformados em informações úteis por meio de uma combinação de interpretação visual de imagens e/ou análises quantitativas.

3.2.1 Sensoriamento Remoto E Uso E Ocupação De Solo

Segundo Vicens *et al.* (2001), a utilização de técnicas de sensoriamento remoto implica a determinação de escalas como a regional e a municipal, de diferentes tipos de uso de solo (floresta, atividades agrícolas, solo exposto, etc.) e sua localização em áreas de conservação e circundantes, além de fragmentos florestais remanescentes que rodeiam as reservas naturais.

Dentre as utilidades do sensoriamento remoto, é possível encontrar trabalhos científicos que utilizam esta técnica para delimitar e quantificar áreas de maneira mais exata e prática, com o fim de representar qual é a situação real em matéria de APP e uso e ocupação de vastas regiões, e incluso de difícil acesso terrestre.

Como exemplo, Jesus e Souza (2016) desenvolvem uma metodologia rápida e eficiente com ajuda de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para delimitar as APP dos principais rios e afluentes do rio Sergipe, desta maneira, com ajuda do ajuste inicial das larguras das faixas marginais protegidas permanentemente em função da largura das correntes de água correspondentes, seguindo a legislação vigente, delimitam um total de 5.003,82 hectares de áreas de preservação permanente às margens dos rios analisados, gerando erros de delimitação de menos de 1% em termos de largura dos rios, representando assim uma técnica inovadora e relativamente simples para uso pelos órgãos públicos.

De maneira similar, Da Rocha *et al.* (2023) procedem a delimitar a APP do rio dos Sinos, seguindo a legislação vigente, e a quantificar a área de formação florestal no local de estudo por meio de uma classificação de uso e cobertura de terra que se estende por 10 municípios da região em análise, assim, o trabalho resulta em que cerca de 73% (8,77 Km²) da área de estudo são de formação florestal, concluindo que desses dez municípios, dois possuem a maior quantidade de APP com 81% e o que possui a menor quantidade está com 55% da área exigida por lei, com uma acurácia global de análise de 0,86.

Em consonância, Bortoluzzi (2022) realiza um diagnóstico da condição da composição das áreas de proteção permanente da área urbana e periurbana da cidade através da elaboração de mapas de uso da terra nos anos 2004 e 2020, em que demonstra os conflitos de usos e o descumprimento da legislação ambiental vigente no que tange à proteção dos rios urbanos por meio das APP, quantificando um total de 17,53 km² de áreas do município que se enquadram na legislação.

Assim, o mesmo autor quantifica que em 2004, 68% da área era florestada e com mata ciliar adequada à legislação ambiental, enquanto do percentual não florestado a maior parte era ocupada por cultura agrícola, já em 2020 houve um aumento de área florestada de 6%, resultando em 74%, onde o resto continuava sendo majoritariamente ocupado por gramíneas ou vegetação herbácea.

Com o supracitado, vê-se que a utilização do sensoriamento remoto através da elaboração de mapas de uso e ocupação do solo tem auxiliado amplamente a pesquisadores nos seus objetivos de controle e fiscalização das responsabilidades do

Estado em matéria de garantia democrática de moradia digna e segura e de proteção ambiental, ligadas ao planejamento urbano.

3.2.2 Satélite LANDSAT

Segundo Meneses *et al.* (2012), a era do sensoriamento moderno foi inaugurada em 1972 com o lançamento do primeiro satélite artificial de sensoriamento remoto, denominado LANDSAT-1, a cerca de 919 km de altura que, a cada 18 dias, obtinha uma imagem de qualquer área do planeta com resolução espacial de 76 m. Rosa (2005, p. 83) afirma que “o sistema LANDSAT foi desenvolvido pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA) com o objetivo de permitir a aquisição de dados espaciais, espectrais e temporais da superfície terrestre, de forma global, sinóptica e repetitiva.”

Após o primeiro lançamento em 1972, sucederam-se satélites nos anos 1975, 1978, 1982, 1984, 1993, 1999 e o último sendo o LANDSAT-8, lançado em 2013 (INPE), segundo uma atualização feita por Fernández (2021), o satélite que permite a identificação das atividades humanas e seus impactos na terra ao longo dos anos teve sua nona versão, sendo assim lançado em 2021 o LANDSAT-9.

Tanto o LANDSAT 8 quanto o 9, segundo USGS (2021) são munidos de sensores chamados Imageador do Solo Operacional (OLI) e Sensor Térmico Infravermelho (TIRS), mediante os quais 11 bandas espectrais permitem a visualização da terra e identificação de objetos em diversas resoluções espaciais. Dentre estas, as bandas 1 a 7, principais neste trabalho e descritas na Tabela 2, possuem uma resolução espacial de 30 metros, enquanto a banda pancromática capta imagens com resolução de até 15 m.

Tabela 2 - Bandas espectrais do satélite Landsat 8 com suas resoluções respectivas

Bandas espectrais	Resolução espectral	Resolução espacial
(B1) Costal	0,433 – 0,453 μm	30 m
(B2) Azul	0,450 – 0,515 μm	30 m
(B3) Verde	0,525 – 0,600 μm	30 m
(B4) Vermelho	0,630 – 0,680 μm	30 m
(B5) Infravermelho próximo	0,845 – 0,885 μm	30 m
(B6) Infravermelho médio	1,560 – 1,660 μm	30 m
(B7) Infravermelho médio	2,100 – 2,300 μm	30 m

Fonte: Adaptado de Embrapa Territorial (2018)

Como visto na Tabela 2, a largura captada pelas bandas no espectro eletromagnético, utilizadas no trabalho, vai desde o espectro do visível pelo olho humano sem deficiência na captação cromática, passando pelo infravermelho próximo para o de ondas curtas.

3.2.2.1 Classificação digital de imagem

Depois da obtenção das imagens de satélite usando o sensoriamento remoto, a pessoa analista procede à classificação desses dados digitais num processo descrito por Novo (2010) em que se utilizam computadores e programas computacionais para obter informações das propriedades numéricas (espectrais e/ou espaciais) de cada *pixel* componente da imagem, para assim serem etiquetados fazendo sua correspondência com os alvos do mundo real originalmente imageados.

Analogamente, Moreira (2011) coloca que o alvo ou objeto do plano real recebe o nome de classe ou classe temática que, ao ser sensoreado, passa a ter sua correspondente digital no formato de *pixels* cujos padrões espectrais serão reconhecidos, na fase inicial da classificação digital nomeada de treinamento (entendido como o momento prévio à classificação em que o algoritmo é “treinado” sobre o tipo de produto que ele terá de fornecer à pessoa analista) e rotulados, numa segunda fase chamada de classificação propriamente dita, com o fim de facilitar a leitura e interpretação visuais e extrair as informações desejadas.

Em relação ao tipo de classificação digital de imagem que se queira realizar, a literatura consultada expõe duas possibilidades que se diferenciam uma da outra em conformidade com o nível de ingerência que a pessoa analista terá em dito processo e que são descritas a seguir:

1. Classificação Supervisionada: “Na abordagem supervisionada, o treinamento consiste no reconhecimento da assinatura espectral de cada uma das classes de uso do solo da área imageada. Para alguns classificadores (algoritmos), esse reconhecimento envolve a obtenção de parâmetros estatísticos (média, matriz de covariância, etc.) de cada classe contida na área. Para outros, o reconhecimento baseia-se apenas no nível mínimo e máximo de cinza na área [...] de treinamento, que é fornecida ao sistema de classificação pelo analista. [...]”;
2. Classificação Não Supervisionada: “O uso de classificadores não supervisionados é indicado quando o analista não possui conhecimento, a priori, da área do estudo. Neste sentido, o intuito é eliminar a subjetividade no processo de operação das amostras de áreas, para criar o pacote de

treinamento, [...] mesmo sendo considerado um procedimento em que não há interação da pessoa analista com o sistema, na fase de treinamento, certos algoritmos necessitam de alguns parâmetros que devem ser fornecido a esse sistema. [...]” (MOREIRA, 2011, p. 236-244)

Conforme Novo (2010, p. 317), requer-se que a pessoa analista considere certos aspectos fundamentais antes, durante e depois do processo para a obtenção de um bom resultado de classificação supervisionada, estes são:

1. A escolha do melhor conjunto de bandas espectrais para o objeto de interesse;
2. A localização precisa de áreas de “treinamento”;
3. A determinação do relacionamento entre o tipo de objeto e o nível digital das bandas escolhidas;
4. A extrapolação desse relacionamento para toda a cena;
5. A avaliação da precisão da classificação realizada.

A literatura consultada cita alguns algoritmos de classificação supervisionada mais utilizados tais como a máxima verossimilhança (MaxVer), o método do paralelepípedo e a distância euclidiana ou distância mínima (MinDist), os quais foram encontrados como possibilidade de uso no complemento de classificação escolhido na metodologia chamado *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) desenvolvido por Congedo (2021), porém, após práticas diversas, percebeu-se que o algoritmo que apresentava melhores resultados era o de distâncias mínimas.

Como explicado por Moreira (2011, p. 243), o algoritmo de distâncias mínimas realiza a caracterização dos *pixels* analisando o que o autor chama de “medida de similaridade de distância euclidiana”, em que o procedimento consiste em “caracterizar cada *pixel* de forma que as distâncias entre os atributos dos *pixels* de um agrupamento (classe) sejam mínimas e, porém, entre agrupamentos, sejam máximas”, dado pela Equação 1 a seguir:

$$d\left(x, \frac{m}{w}\right) = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - m_i)^2} \quad (1)$$

em que $d\left(x, \frac{m}{w}\right)$ representa a distância euclidiana entre o *pixel*; x , a média espectral da classe w ; x_i e m_i , as componentes do vetor que contém a localização ou atributos do *pixel*; e n , que corresponde ao número das bandas espectrais utilizadas, que, para este trabalho foram 7, como visto na Tabela 2.

4 METODOLOGIA

O presente trabalho tem características de pesquisa exploratória, explicativa e analítica, com o objetivo de conhecer qual é a situação, nos anos 2013 e 2023, das áreas de preservação permanente (APP) na bacia hidrográfica do rio Mathias Almada, localizada em Foz do Iguaçu – PR, contrastando a realidade de ocupação das mesmas às políticas públicas relacionadas à proteção legal dessas áreas e ao planejamento urbano. O método de pesquisa será dividido em duas (02) partes principais: 1) Caracterização da área de estudo, e 2) Procedimentos metodológicos do processamento digital de imagens.

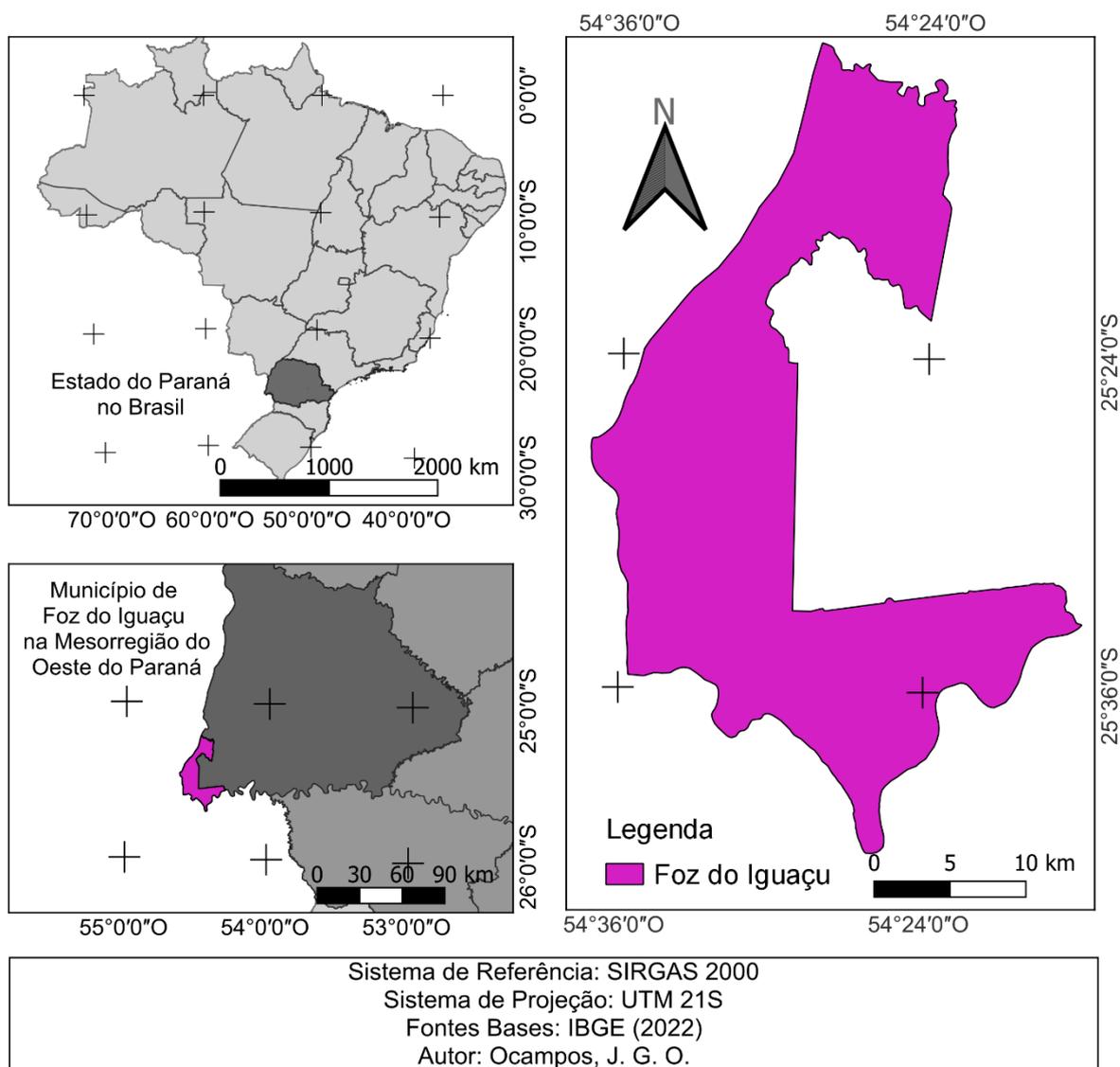
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Foz do Iguaçu é um município geograficamente situado entre a latitude 25° 41' 50,8" Sul, longitude 54° 37' 13,69" Oeste e a latitude 25° 12' 45,94" Sul, longitude 54° 17' 46,82" Oeste, como mostrado na Figura 1, com altitude média de 173 metros, no extremo oeste do Estado do Paraná, na Faixa de Fronteira do Brasil, instituída pela Lei Federal nº 6.634/1979, cujos limites estrangeiros são ao sul, pelo Rio Iguaçu com a Argentina e ao leste, pelo Rio Paraná com o Paraguai, já as divisas nacionais são com os municípios paranaenses de Santa Terezinha de Itaipu e São Miguel do Iguaçu, ao leste, e Itaipulândia, ao norte (DE MARTINS e RUSCHMANN, 2010; SMPCR, 2019).

No censo demográfico de 2022 do IBGE (2023) a população iguaçuense era de 285.415 habitantes, configurando uma densidade populacional de 468,51 hab/km² para um território que ocupa um total de 609.192 km².

Um marco histórico na demografia iguaçuense ocorreu com a construção da Hidrelétrica de Itaipu que atraiu contingentes populacionais do próprio e de outros Estados brasileiros, assim como estrangeiros, principalmente do Paraguai. Segundo dados do IBGE da época, em 1970 Foz do Iguaçu contava com 33.966 habitantes e passou a ter 136.321 para 1980, obtendo assim um crescimento populacional de quase 300% em apenas 10 anos (DE MARTINS e RUSCHMANN, 2010).

Figura 1 - Mapa de localização do município de Foz do Iguaçu - PR



Fonte: O autor, 2023

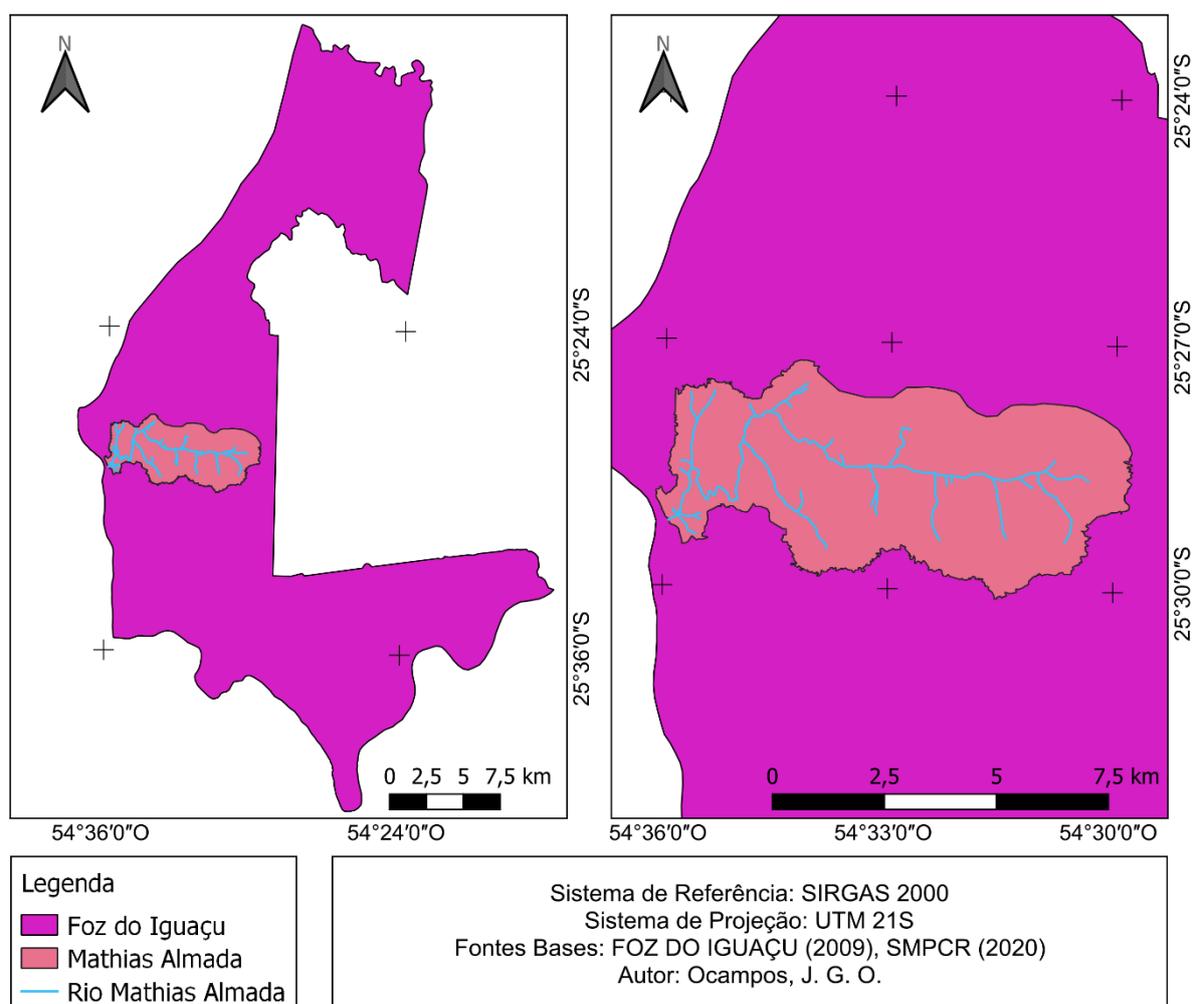
Enquanto à hidrografia iguaçuense, o município encontra-se nas áreas de drenagem de duas das 16 grandes bacias hidrográficas do Estado do Paraná, chamadas de Bacia hidrográfica do Rio Iguaçu e a do Rio Paraná 3. Segundo dados extraídos do PMGRH de 2019, Foz do Iguaçu compreende 94 sub-bacias do Estado (Ottobacias Nível 4), dentre as quais 40 encontram-se completamente inseridas nos limites municipais. No que tange à densidade demográfica por sub-bacia da cidade, a Tabela 3 apresenta dados obtidos ao comparar dados censitários do IBGE de 2010 e dados de uso e cobertura do solo de cada sub-bacia na cidade (SMPCR, 2019).

Tabela 3 – Sub-bacias de maior população em Foz do Iguaçu

Bacia	População estimada	% da População total	% da Área de Foz
M' Boicy	96.680	38%	4,2%
Mathias Almada	58.482	23%	5,6%
Ouro Verde	16.411	6%	0,6%

Fonte: Adaptado de SMPCR (2019).

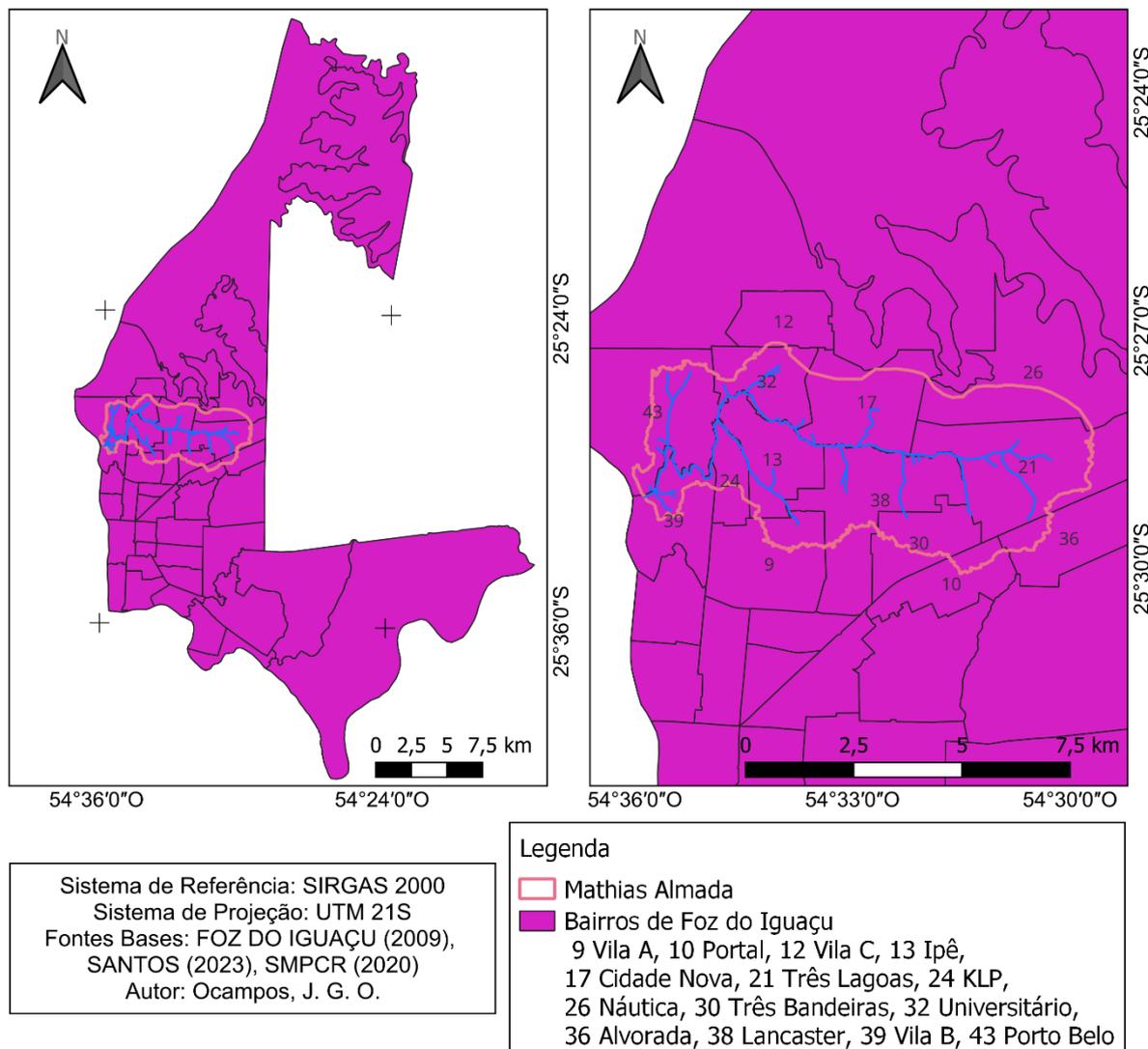
Observa-se, da Tabela 3, que a bacia do rio Mathias Almada corresponde à segunda mais populosa da cidade com uma população estimada com dados do censo do IBGE de 2010 de 58.482 habitantes numa área de aproximadamente 34 km². A mesma está localizada no centro-norte da cidade de Foz do Iguaçu, como mostrado na Figura 2, entre a latitude 25° 30' 6,53" Sul, longitude 54° 36' 6,79" Oeste e a latitude 25° 27' 14,15" Sul, longitude 54° 29' 45,52" Oeste (SMPCR, 2019).

Figura 2 - Localização da bacia do rio Mathias Almada em Foz do Iguaçu

Fonte: Autor, 2023

Prosseguindo com a caracterização, foi por meio dos arquivos vetoriais da delimitação dos bairros da cidade por Santos (2023), como mostrado na Figura 3 a seguir, que a área de drenagem em análise se estende por quatorze (14) bairros do município, sendo estes Alvorada, Cidade Nova, Ipê, KLP, Lancaster, Náutica, Portal, Porto Belo, Três Bandeiras, Três Lagoas, Universitário, Vila A, Vila B, Vila C.

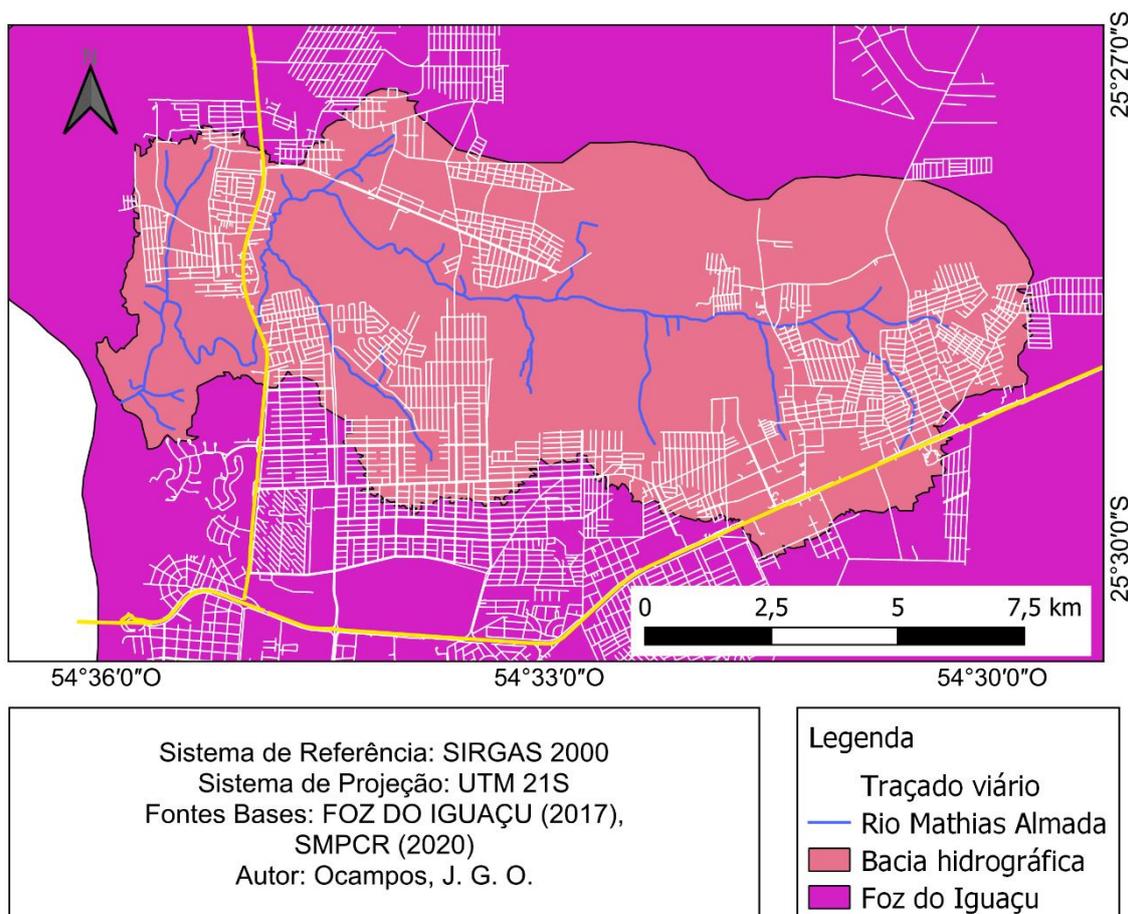
Figura 3 – Bairros na área de drenagem do rio Mathias Almada em Foz do Iguaçu



Fonte: Autor, 2023

Com o fim de facilitar a localização nos limites da bacia, procedeu-se à incorporação de uma camada vetorial com o traçado viário da cidade, como mostrado na Figura 4, a mesma foi obtida através da SMPCR da PMFI, com dados do ano 2017. Na mesma, apresentam-se destacadas em amarelo, no Oeste da Bacia, a Avenida Tancredo Neves com direção Norte-Sul, e no Sul da bacia, a BR-277 com direção Leste-Oeste.

Figura 4 – Delimitação da bacia hidrográfica junto com o traçado viário da cidade.



Fonte: Autor, 2023

Decorrente da Tabela 4, com dados do Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná (ITCG) de 2006, é possível perceber que, dentre as 6 classes utilizadas pelo ITCG de cobertura e uso de solo da bacia em análise, à época, as atividades agrícolas, sendo a agricultura anual e perene e pastagens, campos e solo exposto, ocupavam a maior área em km² da bacia, mesmo se tratando de uma área urbana.

Tabela 4 – Área em km² de cada classe de uso e cobertura de solo da bacia em análise

Agricultura anual e perene	Massas d'água	Pastagens, campos e solo exposto	Uso urbano	Vegetação herbácea e arbustiva	Arbórea
14,73	0,19	3,29	11,38	0,91	3,25

Fonte: Adaptado de SMPCR (2019).

4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.2.1 Aquisição Das Imagens De Satélite

No mês de maio de 2022 se levou a cabo o procedimento de coleta das bases cartográficas, mapas cadastrais e mapas de uso e ocupação de solo discriminados por anos nas Divisões de Parcelamento do Solo Urbano (DVPSU) e de Geoprocessamento (DVGEO) da Diretoria de Uso e Ocupação de Solo Urbano (DIOS), integrante da Secretaria de Planejamento e Captação de Recursos (SMPCR), órgão competente da Prefeitura de Foz de Iguaçu cujas atribuições consistem, entre outras, em atualizar o sistema cartográfico municipal e analisar e emitir diretrizes de loteamento, condomínio e arruamento com base na legislação urbanística vigente (FOZ DO IGUAÇU, 2021).

A obtenção gratuita das imagens de satélite se deu através da plataforma *EarthExplorer* do *United States Geological Survey* (USGS) pertencente à NASA, em que as imagens foram coletadas pelo satélite Landsat 8 equipado com sensores OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) com resolução espacial de 15 m na banda pancromática e de 30 m nas bandas multiespectrais com extensão de 185 km, dos anos de 2013 e 2023, detalhados na Tabela 5.

Após a designação dos anos de análise, procurou-se a área na plataforma *EarthExplorer* e foi selecionado o conjunto de dados do catálogo de imagens do Landsat correspondente à Coleção 2 – Nível 2, descrito por Wulder *et al.* (2019) com melhoras substanciais na precisão e calibração da geolocalização das imagens no sistema de referência terrestre global em comparação nas utilizadas em produtos e conjunto de dados anteriores.

A propósito da localização, as imagens correspondem ao trajeto de órbita/ponto 224/078 do satélite.

No tocante às imagens disponíveis nos anos de estudo, os critérios para sua escolha consistiram na verificação de uma baixa porcentagem de cobertura de nuvens que possibilitasse a visualização das áreas em análise, e a existência de regiões de uso e ocupação de cultura agrícola heterogênea (áreas de solo exposto, de vegetação

em crescimento e de vegetação adulta), resultado em imagens adquiridas nas datas detalhadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Detalhamento das imagens obtidas

Ano	Satélite	Sensor	Bandas utilizadas	Zona UTM	Data de aquisição
2013	Landsat 8	OLI/TIRS	B7, B6, B5, B4, B3, B2, B1	21N	02/07/2013
2023	Landsat 8	OLI/TIRS	B7, B6, B5, B4, B3, B2, B1	21N	16/09/2023

Fonte: O autor, 2023

4.2.2 Pré-Processamento Das Imagens

A partir desta etapa usou-se o programa livre e gratuito *Geographic Information System* (QGIS) na sua versão 3.28.9 para o processamento das imagens georreferenciadas no sistema de coordenadas *World Geodetic System 1984* (WGS 84) e na projeção universal *Universal Transversa de Mercator* (UTM), localizadas no código *European Petroleum Survey Group* (EPSG) 32621, na zona 21N correlata ao hemisfério norte, apresentando discrepância com a área real.

Desta forma, a correção dos dados de georreferenciamento foi feita por meio do comando “Reprojetar *raster*” em que o Sistema de Referências de Coordenadas (SRC) de cada banda componente da imagem foi reprojetada do SRC original da plataforma da NASA para o EPSG:32721 - WGS 84 / UTM zona 21S, correspondente às coordenadas da área de estudo no hemisfério sul.

Como a área imageada é um retângulo de aproximadamente 185 km de lado, foi necessário recortar cada banda da imagem prezando a praticidade e capacidade de memória do computador disponível, com a ajuda do comando “Recortar *raster*” pela camada de máscara, em que o *raster* corresponde às bandas individuais e a camada de máscara a um retângulo da base cartográfica do tamanho da área da bacia, no formato *shapefile*.

4.2.3 Determinação Das Classes De Uso E Ocupação De Solo

A escolha das classes da cobertura e do uso da terra se deu por meio da compatibilização entre os Aspectos de uso e cobertura do solo detalhados no Plano Municipal de Gestão de Recursos Hídricos (PMGRH), da SMPCR (2019) e o Sistema de Classificação da Cobertura e Uso da Terra (SCUT) elaborado pelo IBGE. Em consideração com a pouca heterogeneidade de uso e ocupação de solo na área da bacia do Rio Mathias Almada, considerou-se adequado escolher cinco (5) classes, cujo detalhamento foi extraído e adaptado do SCUT do IBGE (2013) e são:

1. Área Urbana (Áreas antrópicas não agrícolas): “[...] Compreendem áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais não agrícolas. Estão incluídas nesta categoria as metrópoles, cidades, vilas, áreas de rodovias, serviços e transporte, energia, comunicações e terrenos associados, áreas ocupadas por indústrias, complexos industriais e comerciais e instituições que podem em alguns casos encontrar-se isolados das áreas urbanas. [...]”
2. Cultura temporária (Áreas antrópicas agrícolas): “Cultivo de plantas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a produção deixam o terreno disponível para novo plantio. Dentre as culturas destacam-se as de grãos e cereais, as de bulbos, raízes, tubérculos e hortaliças. [...]”
3. Área Florestal (Áreas de vegetação natural): “Formações arbóreas com porte superior a 5 m, incluindo-se aí as fisionomias da Floresta Densa [...], da Floresta Aberta [...], da Floresta Estacional [...] além da Floresta Ombrófila Mista [...] e das áreas de mangues. [...]”
4. Água continental (Água): “[...] Os corpos d’água continentais referem-se aos corpos d’água naturais e artificiais que não são de origem marinha, tais como: rios, canais, lagos e lagoas de água doce, represas, açudes, etc. [...]”
5. Áreas descobertas: “Referem-se às áreas de praias, dunas e extensões de areia ou seixos no litoral ou no continente, [...] áreas de extração abandonadas e sem cobertura vegetal; áreas cobertas por rocha nua exposta.”

Com o fim de facilitar a classificação, as 5 classes escolhidas do SCUT foram renomeadas em Área urbana, Vegetação rasteira, Área florestal, Água e Solo exposto, respectivamente, onde a Vegetação rasteira consiste em áreas em que o processo agrícola já apresenta vegetação visível e, o Solo exposto, em áreas agrícolas em que a colheita foi feita e ainda não se percebe vegetação, ou só é visível terra cultivada nas imagens de satélite.

Já na etapa de quantificação, as duas classes descritas por último no parágrafo anterior são somadas em uma só classe chamada de Área agrícola, como mostrado na Tabela 6, isto obedece à necessidade de simplificar a classificação no que diz respeito à resposta espectral mais homogênea de cada classe por separado.

Tabela 6 - Classes de uso e ocupação segundo fase do processo metodológico

Classes segundo SCUT	Classes renomeadas	Classes finais
Área urbana	Área urbana	Área urbana
Cultura temporária	Vegetação rasteira	Área agrícola (Vegetação rasteira + Solo exposto)
Área florestal	Área florestal	
Água continental	Água	Mata ciliar
Áreas descobertas	Solo exposto	Água

Fonte: O autor, 2023

4.2.4 Processamento E Classificação Das Imagens

O processamento foi executado por meio do complemento instalável, no programa QGIS, chamado SCP desenvolvido por Congedo (2021) que permite realizar a Classificação Supervisionada de imagens, escolhida para este trabalho.

Inicialmente foi preciso criar uma composição de bandas que ajudasse o operador na melhor identificação do tipo de uso e cobertura de solo da área em análise. As composições de bandas utilizadas para a obtenção de amostras apresentam-se na Tabela 7, já a Figura 5 mostra a área da bacia nas composições Natural (R4G3B2) e Falsa-cor com ênfase na vegetação (R6G5B4) (USGS, 2021).

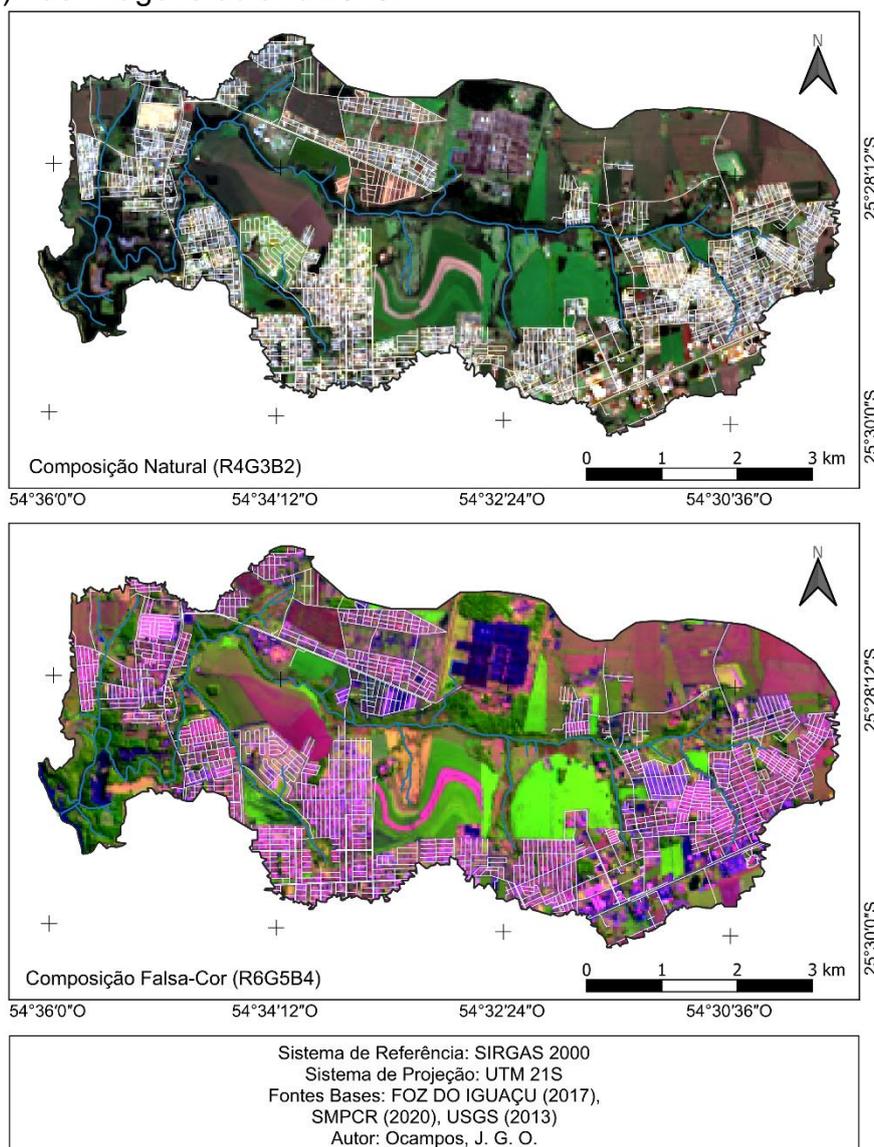
Tabela 7 - Composições de bandas espectrais do satélite Landsat 8

Bandas espectrais	Composição natural	Falsa-Cor (Vegetação)
R (<i>Red</i>)	B4 Vermelho	B6 Infravermelho médio 1
G (<i>Green</i>)	B3 Verde	B5 Infravermelho próximo
B (<i>Blue</i>)	B2 Azul	B4 Vermelho

Fonte: Livre tradução e adaptado de USGS (2021)

A delimitação da área da bacia hidrográfica em estudo foi realizada através de arquivos vetoriais fornecidos pela professora orientadora, quem, por sua vez, os obteve através da solicitação à PMFI de modelos digitais de terreno (FOZ DO IGUAÇU, 2009).

Figura 5 - Visualização da área em análise em composições Natural (acima) e Falsa-Cor (abaixo) nas imagens do ano 2013.



Fonte: O autor, 2023

As combinações na Figura 5 apresentam uma camada de representação do trajeto do rio Mathias Almada, já a combinação Falsa-cor exibe uma tonalidade de cor roxa-violeta nos *pixels* correspondentes à mancha urbana (telhados de diferentes materiais, pisos, etc.) e tons tendendo ao azul escuro correlatos à superfície asfáltica (ruas, estradas, pisos, etc.), enquanto os verdes fortes e apagados são compatíveis com a vegetação rasteira (agricultura) madura e nascente, respectivamente, e verdes intermediários heterogêneos relacionados às áreas florestais.

Dessa maneira foi possível efetuar a amostragem de polígonos (conjunto de *pixels*) representantes com padrões de categorização de cada uma das cinco (5) classes de uso e ocupação de solo a classificar na área da bacia do rio Mathias

Almada, guiando-se pela metodologia de interpretação visual de imagens fornecida por Moreira (2012) e com apoio de mosaicos de imagens do programa *Google Earth*, com o comando “Imagens históricas”. Exemplos da amostragem são expostos na Tabela 8.

Tabela 8 - Respostas espectrais na combinação R6G5B4 de cada classe de cobertura de solo junto às cores resultantes da classificação.

Classe espectral	Imagem do Landsat 8 - <i>Composição Falsa-Cor</i>	Imagem do <i>Google Earth</i> - <i>Composição Natural</i>	Cor resultante na classificação supervisionada
Área urbana			
Vegetação rasteira			
Área florestal			
Água			
Solo exposto			

Fonte: Autor, 2023.

Na quarta coluna da Tabela 8 se encontram as cores correspondentes a cada classe de uso e ocupação e que foram obtidas por via do Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2013), e que ficam expostas uma vez realizada a classificação das imagens, sendo estas o rosa para área urbana, o amarelo para vegetação rasteira, o verde para área florestal, o celeste para a água e o cinza para solo exposto.

Para cada classe espectral foram coletadas 5 amostras de coberturas, obedecendo à padronização da quantidade de amostras para diminuir o erro de

acurácia, também, ao tamanho da área de estudo e da resolução espacial que, por esta última ser de 30 m, é preciso uma maior quantidade de *pixels* para alcançar respostas espectrais robustas que abarquem a maior quantidade de materiais existentes no terreno real, logo, via o algoritmo Distância Euclidiana (também conhecido como Distância mínima) foi realizada a classificação supervisionada que atribuiu uma classe a cada *pixel* contido na área em análise, gerando um mapa de classes espectrais de uso e ocupação.

4.2.5 Avaliação Da Precisão Da Classificação

Utilizou-se o comando “*Accuracy*” do complemento SCP do QGIS para determinar o nível de concordância da classificação com a verdade no terreno. Esse procedimento, de acordo com Congedo (2021), precisa de um grupo de amostras diferente do utilizado no processo de classificação que servirá como validação, cujo número adotado neste trabalho corresponde à metade da quantidade das amostras de classificação, ou seja, 3 amostras de validação por classe de uso e ocupação.

O nível de concordância foi quantificado levando em consideração o índice *Kappa*, obtido a partir da Matriz de erro ou Matriz de confusão da classificação, e que, segundo Moreira (2012) tem sido referência para avaliar classificações de mapas, produto de processamento de imagens de sensoriamento remoto, por este, dentro de certos limites, dar resultados bons, com uma escala do nível de precisão segundo intervalos do valor de *Kappa*, amostrados na Tabela 9.

Além do índice *Kappa*, foram analisadas mais duas medidas de precisão obtidas por via da matriz de confusão que são chamadas de precisão do produtor (PP), a qual diz respeito à probabilidade de uma amostra de referência ser corretamente classificada pelo programa, associada a uma medida de erro por omissão, e a precisão do usuário (PU), que, associada ao erro de comissão, representa a probabilidade de uma amostra de referência no mapa/imagem representar a classe no terreno real (STORY e CONGALTON, 1986).

Tabela 9 - Avaliação de qualidade da precisão da classificação utilizando o índice Kappa (K)

Valor de Kappa (K)	Nível de precisão
$\leq 0,00$	Péssimo
$0,00 < K \leq 0,20$	Ruim
$0,20 < K \leq 0,40$	Razoável
$0,40 < K \leq 0,60$	Bom
$0,60 < K \leq 0,80$	Muito bom
$0,80 < K \leq 1,00$	Excelente

Fonte: Livre tradução de LANDIS, KOCH, 1977

Após a validação das classificações, procedeu-se à vetorização dos *pixels* classificados para agrupá-los segundo suas classes respectivas e transformá-los ao formato de polígono.

4.2.6 Delimitação De APP

Seguindo com a delimitação das APPs da área em estudo, foi consultada a Lei nº 12.651/12 que revoga o antigo Código Florestal (Lei nº 4771/1965) e estabelece as larguras das faixas marginais a serem protegidas que dependem da largura do rio. Esses dados foram extraídos da Tabela 1.

Uma vez definida a largura das APP, procede-se à obtenção de dados vetoriais a partir da ANA (2018), afines aos percursos dos rios na bacia do rio Paraná. A base de dados obtida é recortada para manter apenas o rio Mathias Almada e é posteriormente utilizado o comando “*buffer*” para realizar a delimitação das APP, na largura adequada, seguindo a margem do rio em análise com uso do QGis.

Com o objetivo de obter a situação das APP, é feito um cruzamento entre os mapas classificados de uso e ocupação do solo, dos anos 2013 e 2023, e a região de APP delimitada, via o comando “*interseção*”, para seguidamente realizar o cálculo das áreas em quilômetros quadrados (km²) de cada classe classificada na área em estudo por meio do comando “*\$area*” da ferramenta calculadora de campos.

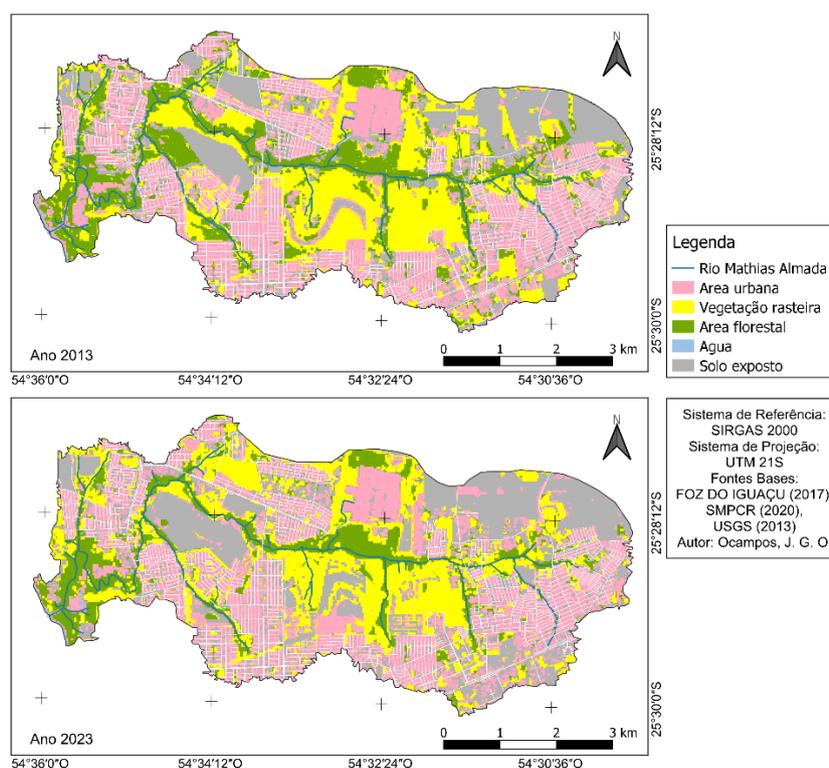
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO NA BACIA DO RIO MATHIAS ALMADA

Durante a visita à SMPCR observou-se a inexistência de um controle periódico anual do município em relação às informações solicitadas, uma vez que a preocupação maior em relação a elas é quando se tem um projeto específico a ser realizado na região de interesse. Desta forma, foram obtidos mapas cadastrais correspondentes aos anos de 2001 e de 2022, insuficientes para auxiliar na análise dos anos escolhidos no presente trabalho.

A partir dos métodos descritos foi possível levar a cabo o processamento das imagens de satélite da cidade de Foz do Iguaçu, dos anos 2013 e 2023, e a classificação das composições de bandas espectrais resultando em cinco classes, renomeadas do SCUT do IBGE (2013), e coloridas de uso e ocupação de solo nos limites da bacia do Rio Mathias Almada, como se mostra na Figura 6, que correspondem a Área urbana, Vegetação rasteira, Área florestal, Água e Solo exposto.

Figura 6 – Mapas com 5 classes de uso e ocupação de solo da bacia do Rio Mathias Almada nos anos 2013 e 2023



Fonte: O autor, 2023

Em relação à precisão das classificações, os resultados obtidos do índice *Kappa* para cada ano são apresentados na Tabela 10, onde os mesmos correspondem a um nível de precisão excelente, segundo Landis e Koch (1977), e em seguida, na Tabela 11, os resultados das precisões do produtor e do usuário para cada classe classificada.

Tabela 10 – Índices *Kappa* obtidos para a classificação de cada ano em análise

Ano de análise	Índice <i>Kappa</i>
2013	0.8198
2023	0,8188

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 11 – Valores em porcentagem de precisões do produtor e do usuário.

Classes de uso e ocupação	2013		2023	
	PP (%)	PU (%)	PP (%)	PU (%)
Área urbana	70,84	97,76	72,39	88,25
Vegetação rasteira	88,52	89,57	100,00	73,99
Área florestal	98,21	83,79	100,00	99,14
Água	100,00	100,00	100,00	100,00
Solo exposto	91,17	71,62	77,31	82,72

Fonte: Autor, 2023.

Da Tabela 11 é possível perceber que os valores mais baixos de precisão do produtor (PP), associados aos maiores valores de erro por omissão, no 2013 correspondem à classe de área urbana e em 2023 às classes de área urbana e de solo exposto, que, por meio da análise das matrizes de erro, tem-se que há maior confusão ao classificar as classes mencionadas, em que, *pixels* correspondentes à área urbana acabaram sendo omitidos e classificados como sendo solo exposto e *vice-versa*.

Estes dados são comprováveis pela Figura 6, em que há *pixels* classificados como solo exposto no meio da mancha urbana, dado explicável, entre outras coisas, pela heterogeneidade das respostas espectrais como a existência de terrenos baldios ou sem cobertura alguma que acabaram sendo confundidos como solo de plantação.

Seguindo com a Tabela 11, no que tange à precisão de usuário (PU), associada ao erro de comissão, para o ano de 2013, houve uma maior quantidade de *pixels* identificados e amostrados como solo exposto e que no terreno real correspondiam à porção urbana, já em 2023, há um erro de comissão maior ao identificar a vegetação

rasteira, quando na verdade a imagem correspondia ao solo exposto, isso se explica em áreas de plantação onde o processo desigual de crescimento gera confusão ao observar as respostas espectrais.

Levando em consideração esses fatos, consideraram-se satisfatórias as classificações e procedeu-se com as quantificações das áreas através dos arquivos obtidos da PMFI (FOZ DO IGUAÇU, 2009).

O resultado do cálculo da área total que abarca a bacia em análise foi de 3619,76 há ou 36,20 km², onde percebe-se uma discrepância com o dado apresentado no PMGRH da SMPCR (2019), onde consta que a bacia tem 33,72 km², isto se deve a que, no presente trabalho, utilizaram-se modelos digitais de terreno onde, através das cotas topográficas, foi possível delimitar de maneira mais precisa a bacia, enquanto os limites achados na base de dados do PMGRH são menos exatos.

Em seguida, o cálculo das áreas de cada uma das cinco classes iniciais, assim como a porcentagem correspondente das mesmas em relação à área total de estudo estão na Tabela 12 subsequente:

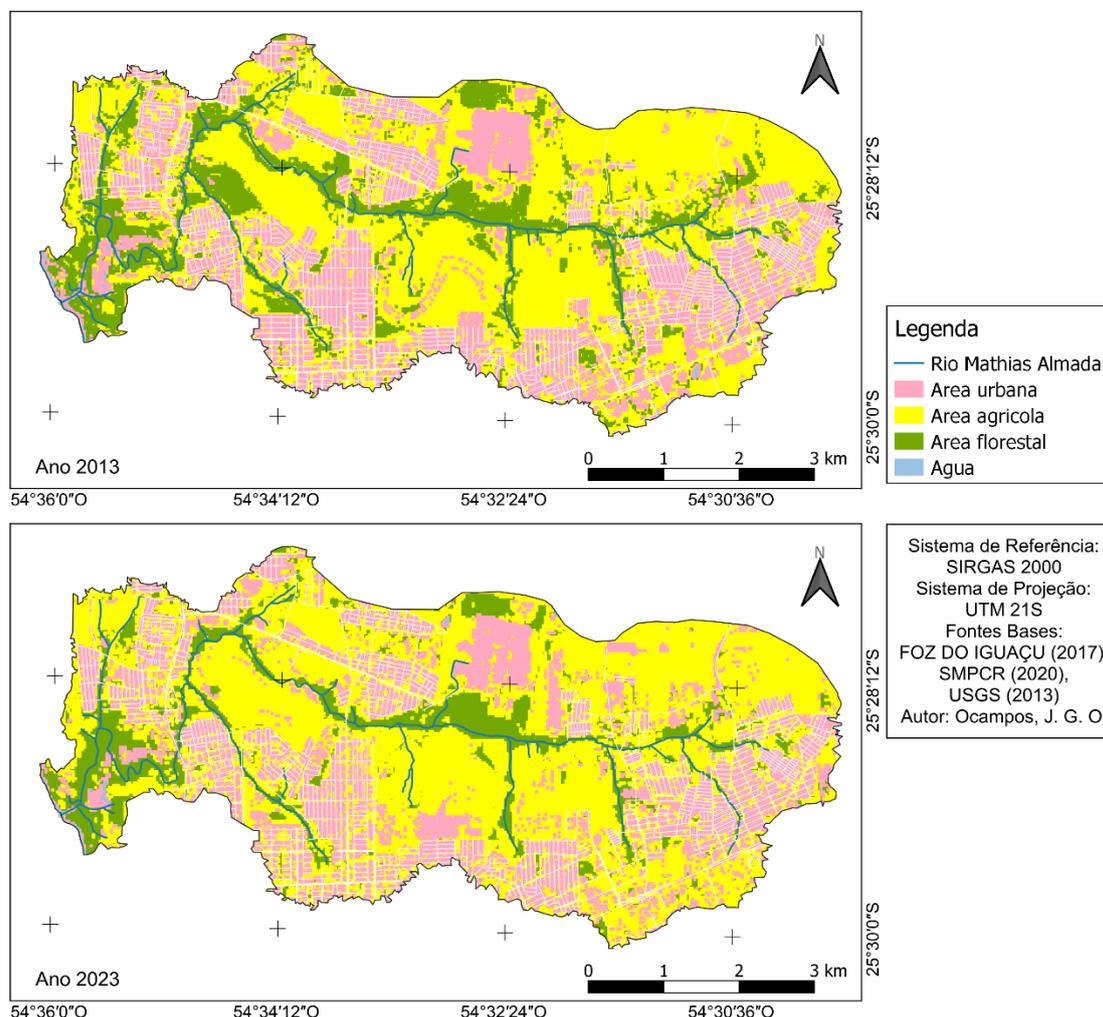
Tabela 12 - Áreas totais de cada uma das 5 classes de uso e ocupação, nos anos 2013 e 2023

Classes de uso e ocupação	2013		2023	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Área urbana	957,96	26,46	851,62	23,53
Vegetação rasteira	1048,18	28,96	932,07	25,75
Área florestal	619,08	17,10	574,23	15,86
Água	8,80	0,24	3,69	0,10
Solo exposto	985,74	27,23	1258,16	34,76

Fonte: Autor, 2023.

A continuação, após a junção das classes Vegetação rasteira e Solo exposto em uma só classe relativa à Área agrícola, apresentam-se novamente os mapas classificados, na Figura 7, e o cálculo das áreas obtidas, como explicado nos métodos, devendo-se à variabilidade espectral existente entre a vegetação crescente e o solo semeado sem vegetação, na Tabela 13.

Figura 7 – Mapas de 4 classes de uso e ocupação de solo da bacia do Rio Mathias Almada nos anos 2013 e 2023



Fonte: O autor, 2023

Tabela 13 - Áreas totais de cada uma das 4 classes de uso e ocupação, nos anos 2013 e 2023

Classes de uso e ocupação	2013		2023	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Área urbana	957,96	26,46	851,62	23,53
Área agrícola	2033,92	56,19	2190,23	60,51
Mata ciliar	619,08	17,10	574,23	15,86
Água	8,80	0,24	3,69	0,10

Fonte: Autor, 2023.

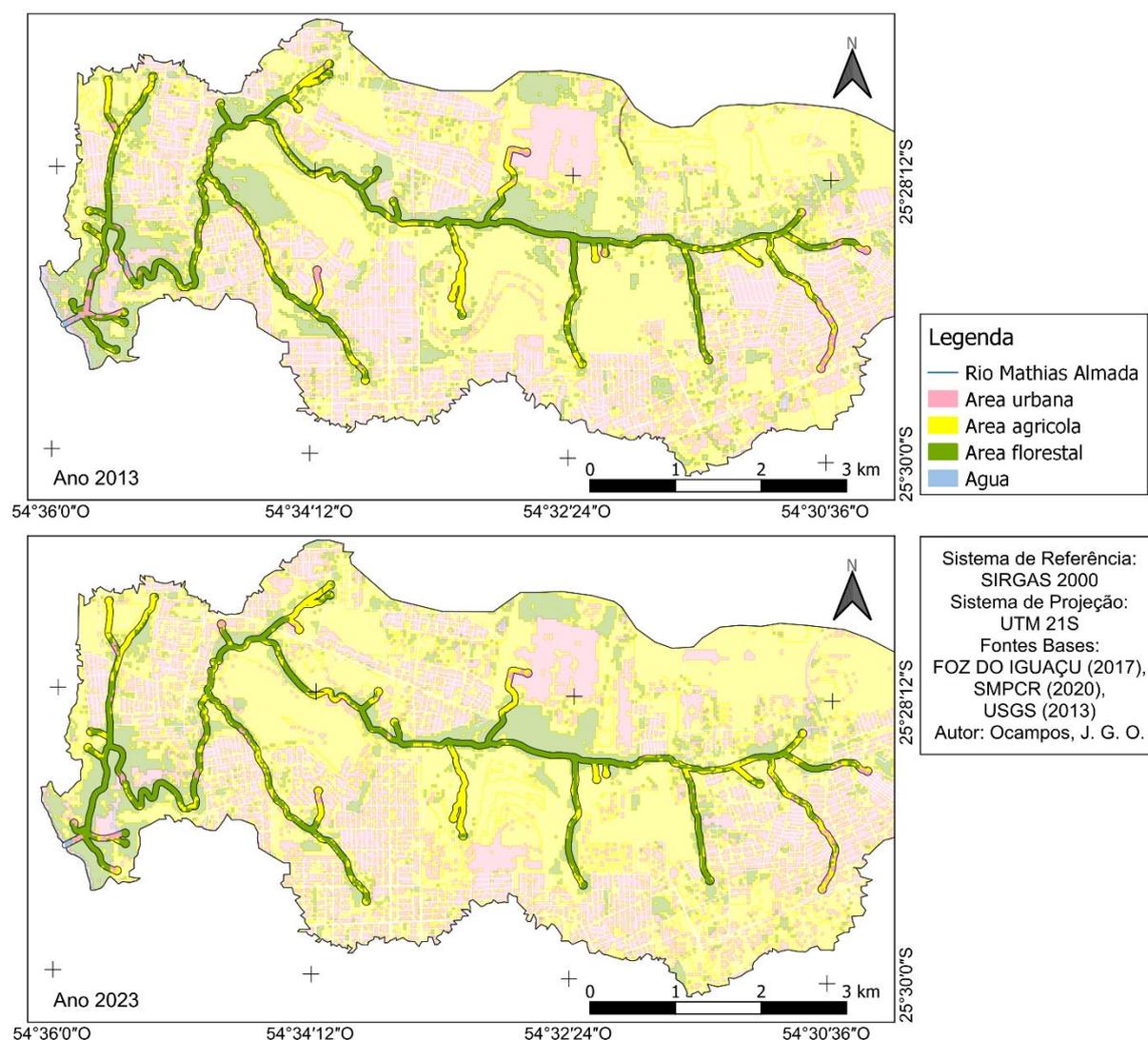
5.2 AVALIAÇÃO DA DELIMITAÇÃO DAS APP

Procedendo com a delimitação das APP do rio Mathias Almada pela Lei nº 12.651/12, o PMGRH da SMPCR (2019) expõe que o rio Tamanduá é o único dentre

os rios menores com faixa marginal de vegetação nativa de 50 m, logo, os demais córregos, entre estes o rio Mathias Almada, possuem largura menor a 10 m, precisando assim de APP de 30m.

Levada a cabo a delimitação, expõe-se a área total quantificada correspondente resultando em 2,40 km² ou 204,01 ha em que se consideram as faixas marginais dos trechos e das nascentes ou olhos d'água. Prosseguindo, foram geradas interseções onde se observam as classes de uso e ocupação presentes nas APP delimitadas, como se observa na Figura 8, e posteriores resultados das áreas na Tabela 14 e Figura 9, mais abaixo:

Figura 8 – Delimitação de APP e interseção com classes de uso e ocupação nos anos 2013 e 2023



Fonte: O autor, 2023

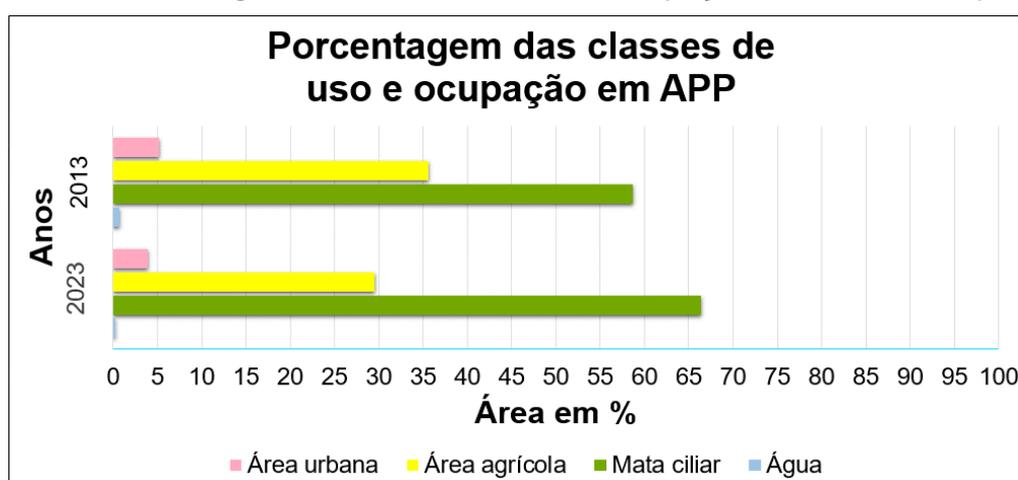
Por meio da representação acima observa-se que a situação da grande maioria das nascentes permanece a mesma, a falta da preservação completa da vegetação nativa ao seus arredores é uma realidade que se mantém ao longo dos 10 anos que abarca esta pesquisa, onde também é perceptível que quando não é por atividade agrícola, essas faixas marginais são ocupadas por áreas urbanas.

Tabela 14 – Detalhamento das quatro classes de uso e ocupação nas APP, nos anos 2013 e 2023

Classes de uso e ocupação	2013		2023	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Área urbana	12,28	5,12	9,42	3,93
Área agrícola	85,26	35,55	70,79	29,52
Mata ciliar	140,70	58,67	159,16	66,37
Água	1,58	0,66	0,44	0,18

Fonte: Autor, 2023.

Figura 9 – Porcentagem das classes de uso e ocupação em APP – comparativo.



Fonte: Autor, 2023.

Da delimitação e quantificação, tanto da bacia quanto da APP, se observa que as APP do rio Mathias Almada correspondem a 6,63% da área total da bacia, já decorrente dos dados na Tabela 14, é possível observar que no ano de 2013, um ano após a Lei nº 12.651/12 entrar em vigor, a porcentagem de mata ciliar nos limites de APP do rio Mathias Almada era de 58,67%, totalizando 140,70 ha das 240,01 ha exigidas pela lei, consistindo numa área 41,33% por abaixo da área de faixa total exigida.

No mesmo ano, em matéria de uso de solo, a classe de área agrícola se encontra em segundo lugar ocupando um total de 35,55% da faixa total, correspondendo a um total de 85,26 ha de solo do que deveria ser destinado às APP, deixando em terceiro lugar à classe de área urbana com 5,12% ocupado.

Assim, comparando a situação com o período atual do ano 2023, como visto na Figura 9, a quase 11 anos da Lei nº 12.651/12 entrar em vigor, nota-se uma diminuição das áreas das classes Área agrícola e Área urbana no que corresponde aos limites das APP, assim sendo, a área urbana teve uma diminuição percentual de 23,24% (-1,19%) equivalentes a 2,86 ha no período de 10 anos de análise.

A área destinada à cultura agrícola, por sua vez, teve uma diminuição percentual de quase 17% (-6,03%) somando 14,47 ha e por último, a área de água visível do espaço diminuiu quase 73% (-0,48%) que possivelmente se deva a mudanças no nível do rio Paraná entre períodos de seca e fortes chuvas na região nas datas de captação das imagens.

Assim, obtém-se um aumento percentual na área de mata ciliar de quase 13% (+7,7%) correspondentes a 18,46 ha entre os anos 2013 e 2023.

Embora um aumento numérico da mata ciliar nas APP tenha acontecido nos 10 anos em que a Lei nº 12.651/12 está em vigor, esse valor ainda se encontra 33,63% abaixo do estabelecido pela mesma, ou seja, no decorrente ano de 2023, há um faltante estimado de área de mata ciliar de 80,85 ha cuja ocupação majoritária continua sendo pela classe destinada à agricultura, consistindo num 29,52% de APP.

5.3 IMPACTOS E IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS

É importante ressaltar que os resultados deste trabalho dão conta da falta à preservação dos recursos hídricos, da paisagem, da estabilidade geológica e da biodiversidade, e à proteção do solo e garantia da segurança dos seres humanos, como estabelecido no artigo 3º inciso II da Lei nº 12.651/12.

A garantia de segurança e moradia digna dos seres humanos está associada à proteção dessas áreas, pois estas são as mais propensas às inundações e

deslizamentos, como tem ocorrido cada vez com mais frequência por conta das intensas precipitações vividas na região, como no resto do Brasil.

No que tange à garantia de direitos de segurança e moradia digna à população, pois, como recolhido pela SMPCR (2019), os depoimentos de moradores locais da bacia do rio Mathias Almada asseguram que a mesma “não possui porcentual favorável de APP e que reclamam da falta de preservação das margens dos afluentes e da pouca atenção das suas nascentes.”

Concordando com a pesquisa de Bortoluzzi (2022), embora a ocupação das APP aconteça por diferentes agentes para diferentes atividades, como visto em outras regiões do Brasil, a parcela mais exposta aos efeitos da crise climática acaba sendo, em maior medida, a população mais vulnerável que fica exposta ao risco de inundações, deslizamentos e desmoronamentos por não haver, entre outras coisas, uma presença e gestão humanizada do planejamento urbano por parte do Estado.

Desta maneira, se corrobora a hipótese de que existe sim planejamento urbano na cidade, porém, este é feito de maneira antidemocrática e segregacionista às populações em maior vulnerabilidade e de descaso com a preservação ambiental, em detrimento de, por exemplo, setores econômicos como a agricultura.

5.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Dos resultados encontrados, é possível realizar uma comparação com a pesquisa de Bortoluzzi (2022), em que também é apontada a falta de proteção às nascentes, e, por ser uma área de ocupação majoritária pela atividade agrícola, é apontado o despejo de agrotóxicos e consequente contaminação do lençol freático, e correntes à jusante, como um risco latente ao ecossistema aquático e vidas humanas.

Também, com base no trabalho do mesmo autor, é possível identificar que numa escala maior que considera as demais APP das bacias do município e por meio da elaboração e utilização de mapas de uso da terra nos anos 2004 e 2020, são diagnosticados os conflitos de usos e o descumprimento da legislação ambiental vigente no que tange à proteção dos rios urbanos por meio das APP, quantificando que em 2004: 68% da área era florestada e com mata ciliar adequada à legislação ambiental, enquanto do percentual não florestado a maior parte era ocupada por

cultura agrícola, já em 2020, após 16 anos, houve um aumento de área florestada de 6%, resultando em 74%.

Assim, no contexto municipal, sendo a área de estudo a segunda mais populosa da cidade e abarcando 14 bairros do município, conclui-se que a situação das APP do rio Mathias Almada, com um aumento de 7,7% nos 10 anos posteriores à vigência da legislação federal, com quase 66% de mata ciliar, é ainda insuficiente no que tange à preservação do ecossistema aquático e das populações locais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente, buscou-se analisar a situação das áreas de preservação permanente da bacia do rio Mathias Almada em Foz do Iguaçu – PR por meio de geoprocessamento, através do estabelecimento de objetivos específicos que guiaram a realização do mesmo e cujas considerações decorrentes são apresentadas a seguir:

- À data da coleta, verificou-se a ausência de dados cadastrais e de uso e ocupação de solo discriminados por anos no órgão responsável da SMPCR, desvelando uma falta no planejamento e controle periódico do município como um todo;
- O programa QGIS foi uma ótima ferramenta para o processamento das imagens de satélite, por este ser um programa livre e gratuito, considera-se um instrumento útil e acessível à PMFI;
- O desenvolvimento de mapas de uso e ocupação através de imagens de satélite fornecidas de forma livre e gratuita é um processo complexo que requer conhecimento da área e estudo de interpretação, se mostrou um método prático e eficaz para desenhar a situação do terreno real no que tange às atividades humanas e elementos ambientais presentes na área de estudo, servindo como base para a realização de políticas públicas pelos órgãos competentes que busquem preservar a vida humana e o meio ambiente;
- O acesso e conhecimento da legislação vigente permitiu a ciência da situação em matéria legal das atividades humanas e o meio ambiente, processo indispensável para o exercício de controle e cobrança aos órgãos públicos responsáveis pelo seu cumprimento;
- A delimitação, quantificação e posterior comparação das áreas de atividade humana e de elementos da natureza foram imprescindíveis para desvelar a situação das APP nos anos de vigência da Lei nº 12.651/12, refletindo diretamente no atuar dos órgãos públicos e nas atividades prioritárias por encima da proteção ambiental;

De modo geral, os procedimentos adotados e resultados obtidos constituem elementos importantes na tomada de decisões da gestão pública quanto ao

planejamento urbano e preservação da vida humana e do meio ambiente se refere, visando o aprofundamento e construção de pesquisas especializadas na região de estudo, podendo imitar os mesmos procedimentos em outras regiões da cidade. Salienta-se a necessidade de consideração e participação das pessoas que habitam tais regiões e de profissionais interdisciplinares para uma melhor construção de políticas públicas.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Pesquisar e avançar nas possibilidades de junção do Geoprocessamento com a Inteligência Artificial, se há estudos na área e quais os rumos que estão sendo tomados atualmente.
- Melhorar a qualidade dos mapas de classificação através do uso de imagens de satélite com maior resolução, do aumento do número de amostras de cada classe, possível aumento da quantidade de classes, visitando as regiões de estudo que permita identificar de forma mais precisa a realidade de uso e ocupação no terreno real e possa-se aumentar a acurácia das classificações;
- No que tange às classes de uso e ocupação, levar em consideração a vegetação exótica, como monocultura de eucaliptos, entre outras, que são presentes na região do município e contrastam com a vegetação nativa.
- Realizar uma análise da expansão urbana na mesma área (ou expandi-la) de estudo em relação ao Plano Diretor vigente da cidade, levando em consideração áreas inundáveis e possíveis ações municipais de mitigação de riscos hidrometeorológicos;
- Ampliar o estudo a possíveis legislações ambientais estaduais e municipais vigentes e seu conteúdo em relação as APP, assim como o estipulado no que tange às obrigações de APP em propriedades privadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Base Hidrográfica Ottocodificada da Bacia do Rio Paraná 1:50.000/1:100.000. **Catálogo de Metadatos da ANA**. Brasília: ANA, 2018. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/files/a7e786e6-9f80-43f4-aaeb-89f019863b60/geoft_bho_curso_dagua.gpkg>. Acesso em: 12 de julho de 2023.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial [da] União**, Brasília – DF, 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm>. Acesso em: 10 de julho de 2023.

BORTOLUZZI, L. N. **Vulnerabilidade socioambiental em áreas de fundo de vale na cidade de Foz do Iguaçu–Paraná**. 2022.

CAMPOS, Y. O. Gestão ambiental: complexidade sistêmica em bacia hidrográfica. 2010. 184 p. **Dissertação (mestrado)** – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

CONGEDO, L. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. **Journal of Open Source Software**, v. 6, n. 64, p. 3172, 2021.

DA ROCHA, A. D. M. *et al.* Área de Preservação Permanente do rio dos Sinos proposta pela lei nº 12.651: delimitação e quantificação de formação florestal no vale do rio dos Sinos. **Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. 2023.

DE MARTINS, L. R. M.; RUSCHMANN, D. V. M. Desenvolvimento histórico turístico estudo de caso: Foz do Iguaçu–PR. **VI Semintur-Seminário de Pesquisa em Turismo do Mercosul**, 2010.

DE OLIVEIRA, T. R. *et al.* **Diagnóstico ambiental e delimitação de áreas de preservação permanente – APP's da microbacia do arroio Califórnia – Foz do Iguaçu/ -PR, com a utilização do software de geoprocessamento gvSIG**. Foz do Iguaçu, [s.d].

EMBRAPA TERRITORIAL. **Satélites de Monitoramento**. Campinas, 2018. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento> >. Acesso em: 26 ago. 2023

FERNANDEZ, M. NASA envia satélite Landsat 9 ao espaço. **Meteored**, [S. l.], 28 set. 2021. Atualidade, p. 1-2. Disponível em: <https://www.tempo.com/noticias/actualidade/nasa-envia-satelite-landsat-9-ao-espaco-mudanca-climatica.html>. Acesso em: 10 jul. 2022.

FERRIER, R.C.; JENKINS, A.; BLACKSTOCK, K. The future for catchment management. In: Ferrier, R. C. and Jenkins, A. (eds.). **Handbook of catchment management**. Blackwell Publishing Ltd, Malaysia, 556 p. 2010.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 3ª ed., 2007.

FOZ DO IGUAÇU. Arquivos vetoriais de geoprocessamento referentes à bacia do rio Mathias Almada. **Arquivos públicos da PMFI**. Foz do Iguaçu: PMFI, 2009.

_____. Decreto Nº 28.981, de 19 de fevereiro de 2021. Dispõe sobre a Estrutura Administrativa relativa às unidades de terceiro nível hierárquico, subordinadas às Diretorias, que passa a vigorar na forma do disposto neste Decreto, bem como a implantação do sistema de siglas da Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu. **Gabinete do Prefeito Municipal de Foz do Iguaçu**, PR: 2021. Disponível em: <<http://leismunicipa.is/tvyls>>. Acesso em: 10 de maio de 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de uso da terra**. 3ª ed., Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171p.

_____. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) 2015**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9127-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios.html?=&t=publicacoes>. Acesso em: 12 jul. 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

_____. **População rural e urbana**. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/18313-populacao-rural-e-urbana.html#:~:text=De%20acordo%20com%20dados%20da,brasileiros%20vivem%20em%20%C3%A1reas%20rurais>. Acesso em: 12 jul. 2022.. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

_____. **Censo brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **LANDSAT**, 2022. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/capa-satelites/dgi/documentacao/satelites/landsat/capa-landsat>. Acesso em: 10 jul. 2022.

JESUS, J. B.; SOUZA, B. B. Método para delimitação automática de áreas de preservação permanente ao longo de rios - Uso de SIG na bacia do rio Sergipe. **Revista Árvore**, v. 40, p. 229-234, 2016.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W.; CHIPMAN, J.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. Hoboken: John Wiley & Sons Inc., 7^a ed., 2015.

MENESES, P. R. *et al.* **Introdução ao Processamento de Imagens e Sensoriamento Remoto**. Brasília: CNPq, 2012. 276p. Disponível em: <http://memoria.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>. Acesso em: 10 jul. 2022.

MOREIRA, M. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. Viçosa: Editora UFV, 4^a ed., 2011. 422 p.

NOVO, E. **Sensoriamento Remoto - Princípios e Aplicações**. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda., 4^a ed., 2010, 387 p.

NUNES, J. L. O.; MINASI, L. F.; MINASI, A. T. Educação Ambiental na engenharia civil: a prática do engenheiro com desenvolvimento sustentável. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, [S. l.], v. 16, n. 5, p. 288–308, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34024/revbea.2021.v16.11199>

RAMMÉ, J. **A compreensão da urbanidade pela morfologia urbana: as vilas de Itaipu**. 2020.

RIZZO, P. M. B.; RODRIGUES, F. M. Planejamento Urbano versus Áreas de Preservação Permanente (APP): influência da proposta de Plano Diretor sobre a Estação Ecológica de Çarijós–Florianópolis, SC. **II SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE O TRATAMENTO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE E MEIO URBANO E RESTRIÇÕES AMBIENTAIS AO PARCELAMENTO DO SOLO**, v. 2, 2014.

ROSA, R. Geotecnologia na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**. [S. l.], n. 16, p. 81-90. 2005.

ROCHA, A. A.; VIANNA, P. C. G. A bacia Hidrográfica como Unidade de Gestão da Água. **II SEMILUSO-Seminário Luso-Brasileiro Agricultura Familiar e Desertificação**, 2008.

SANTOS, L. R. M. **Mapa Multissensorial da Cidade de Foz do Iguaçu (PR)**. Trabalho de Conclusão de Curso do Bacharelado em Geografia – Instituto Latino-Americano de Tecnologia Infraestrutura e Território, Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA). Foz do Iguaçu, p. 71, 2023.

SMMA – SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE. **Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica (PMMA)**. Foz do Iguaçu: PMFI, 2020.

SMPCR – SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO E CAPTAÇÃO DE RECURSOS. **Plano Municipal De Gestão Dos Recursos Hídricos (PMGRH)**. Foz do Iguaçu: PMFI, 2019. p.765

_____. Arquivos vetoriais de geoprocessamento referentes ao PMGRH. **Arquivos públicos da SMPCR**. Foz do Iguaçu: PMFI, 2020. Disponível em: <https://www.dropbox.com/sh/tmf966zre1fsb3r/AADFznK6Yqap6bHv_RX0FTila/PMGRH/Geoprocessamento/Vetorial?dl=0&subfolder_nav_tracking=1>. Acesso em: 10 de setembro de 2023.

STORY, M.; CONGALTON, R. G. Accuracy assessment: A user's perspective. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 52, n. 3, p. 397-399, 1986.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da Drenagem Urbana**. Textos para Discussão CEPAL. IPEA. p. 50, 2012.

USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Common Landsat Band Combination. **Departamento do Interior Estadounidense**. 12 de nov. de 2021. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/media/images/common-landsat-band-combinations>>. Acesso em: 15 março de 2023.

VICENS, R. S. *et al.* Sensoriamento Remoto e SIG como suporte ao desenvolvimento do subprojeto PROBIO “Conservação e recuperação da Floresta Atlântica de Tabuleiros”. In: GARAY, I. & DIAS, B.F.S. (Orgs.). **Conservação da Biodiversidade em Ecossistemas Tropicais**. Rio de Janeiro-RJ: Editora Vozes, Capítulo 12, p. 317-337. 2001.

WULDER, M. A. *et al.* Current status of Landsat program, science, and applications. **Remote sensing of environment**, v. 225, p. 127-147, 2019.

ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento Conceitos E Definições. **Revista de Geografia - PPGeo - UFJF**, v. 7, n. 2, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.34019/2236-837x.2017.v7.18073>>