



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

**A EXPANSÃO URBANA NA PROXIMIDADE DE NOVOS EMPREENDIMENTOS:  
CASO DAS REGIÕES DO PORTO MEIRA E CARIMÃ EM FOZ DO IGUAÇU NOS  
ANOS 2015 E 2023**

**ISABELLA BARBOSA ALPARONE**

Foz do Iguaçu  
2023

**A EXPANSÃO URBANA NA PROXIMIDADE DE NOVOS EMPREENDIMENTOS:  
CASO DAS REGIÕES DO PORTO MEIRA E CARIMÃ EM FOZ DO IGUAÇU NOS  
ANOS 2015 E 2023**

**ISABELLA BARBOSA ALPARONE**

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

Orientador: Prof. (M.Sc.) Mara Rubia Silva

Foz do Iguaçu  
2023

ISABELLA BARBOSA ALPARONE

**A EXPANSÃO URBANA NA PROXIMIDADE DE NOVOS EMPREENDIMENTOS  
CASO DAS REGIÕES DO PORTO MEIRA E CARIMÃ EM FOZ DO IGUAÇU NOS  
ANOS 2015 E 2023**

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

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. (M. Sc.) (Mara Rubia Silva)  
UNILA

---

Prof. (M. Sc.) (Julio Cesar Bizarreta Ortega)  
UNILA

---

Prof. (Dr.) (Marcia Aparecida Procopio da Silva Scheer)  
UNILA

Foz do Iguaçu, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço minha mãe, que sempre acreditou, me ajudou e apoiou em cada decisão, nunca deixando faltar amor e compreensão, e ao meu pai, que mesmo não estando mais entre nós, eu sei que está comigo de alguma maneira.

Não menos importante, agradeço a minha irmã que me trouxe para UNILA, onde forjamos ainda mais nossos laços e onde se fez presente em todos os momentos, se mostrando uma inspiração e essencial em todo o processo.

Agradeço também a toda minha família que esteve torcendo, mesmo que de longe, durante toda a trajetória deste curso.

Um agradecimento especial para a Ju, Carlos, Gabs, Tom, Mari e Laurinha que cada um em seu momento foi peça essencial na caminhada, e a todos os integrantes do Camarote da Brahma da Bateria Fúria Latina, sinônimos de pertencimento, onde me aproximei de pessoas que hoje chamo de família. Vocês foram fonte de alegria, foram válvula de escape, foram porto, foram ombro amigo quando eu mais precisei. Sem vocês não teria sido possível.

Aos meus colegas de curso que me ajudaram em algum momento, vocês também foram de suma importância.

À minha orientadora por todos os conhecimentos passados, os ensinamentos, orientações e pela paciência que foram fundamentais para que esta monografia fosse concluída.

Aos professores que compuseram a banca, pelo interesse e disponibilidade.

Por fim agradeço a UNILA que foi parte essencial na formação que quem sou hoje, que me abriu e continua abrindo, não só portas, porém, um mundo de possibilidades para quem à conhece.

## RESUMO

A expansão urbana desenfreada e não planejada provoca grandes impactos sociais, ambientais e econômicos. O histórico brasileiro apresenta esse quadro após o desenvolvimento industrial e, conseqüentemente, o êxodo rural. Este último causou elevado crescimento urbano que se deparou com a falta de infraestrutura e saneamento básico para grande parcela da população, além de aumento da ocupação de encostas e de invasão de áreas de preservação ambiental. Com intuito de mitigar essas conseqüências, é preciso identificar a motivação da migração, para assim, planejar o crescimento da cidade e se preparar para atrativos migratórios importantes. Neste sentido, na cidade de Foz do Iguaçu (PR), as regiões do Porto Meira e Carimã, a partir do ano de 2015, vivem grandes intervenções, como a construção de um *shopping*, a reforma e um ponto turístico e a construção de uma nova ponte internacional, assim como as vias de acesso à esta, se mostrando então como possível área de crescimento urbano para análise. O objetivo dessa pesquisa foi utilizar do sensoriamento remoto e das técnicas de processamento de imagens, através do *software* Qgis e o *plugin* SCP, para mapear, analisar e quantificar a área urbana da região em 2015 e em 2023, com a finalidade de identificar se houve migração para a região motivada pelas implantações, chamando atenção para como as obras realizadas e as que ainda estão em andamento elevam o potencial de crescimento da região. O método de classificação utilizado foi o de Mínimas Distâncias Euclidianas, apresentando precisão de pelo menos 85% para ambos os anos estudados, um nível de acurácia excelente. Identificou-se um crescimento de 39,29% da área urbana da região estudada entre os anos de 2015 e 2023, totalizando um aumento de 1,6 km<sup>2</sup>, muito acima do crescimento populacional da cidade que foi de apenas 11,45% entre 2010 e 2022 indicando que houve migração intraurbana motivada pelas implantações na região.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto, Crescimento Urbano, Mínimas Distancias, Migração Intraurbana, Processamento de Imagens.

## RESUMÉN

La expansión urbana rápida y no planificada causa importantes impactos sociales, ambientales y económicos. La historia brasileña vive esto después del desarrollo industrial y, en consecuencia, del éxodo rural. El éxodo rural provocó un elevado crecimiento urbano que se enfrentó a la falta de infraestructura y saneamiento básico para gran parte de la población, además del aumento de la ocupación de laderas y la invasión de áreas de preservación ambiental. Para mitigar estas consecuencias, es necesario identificar la motivación de la migración, con el fin de planificar el crecimiento de la ciudad y prepararse para importantes atractivos migratorios. Así, desde 2015, las regiones de Porto Meira y Carimã ubicadas en la ciudad de Foz do Iguaçu (PR) sufrieron importantes intervenciones, como la construcción de un centro comercial, la renovación de un atractivo turístico y la construcción de un nuevo puente internacional, así como las vías de acceso al mismo, mostrándose, así como una posible zona de crecimiento urbano para su análisis. El objetivo de esta investigación fue utilizar técnicas de teledetección y procesamiento de imágenes, a través del software Qgis y el complemento SCP, para mapear, analizar y cuantificar el área urbana de la región en los años 2015 y 2023, con el propósito de identificar si hubo migración hacia el región motivados por las implementaciones, llamando la atención sobre cómo las obras realizadas y aún en progreso aumentan el potencial de crecimiento de la región. El método de clasificación utilizado fue Distancias Mínimas Euclidianas, presentando una precisión de al menos el 85% para los dos años estudiados, un excelente nivel de precisión. Se identificó un crecimiento del 39,29% en el área urbana de la región estudiada entre 2015 y 2023, totalizando un aumento de 1,6 km<sup>2</sup>, muy por encima del crecimiento poblacional de la ciudad, que fue de solo 11,45% entre 2010 y 2022, lo que indica que hubo Migración intraurbana motivada por intervenciones en la región.

**Palabras clave:** Teledetección, Crecimiento Urbano, Distancias Mínimas, Migración Intraurbana, Procesamiento de Imágenes.

## ABSTRACT

Rapid and unplanned urban expansion causes major social, environmental and economic impacts. Brazilian history experiences this after industrial development and, consequently, the rural exodus. The rural exodus caused high urban growth that was faced with a lack of infrastructure and basic sanitation for a large portion of the population, in addition to an increase in the occupation of slopes and the invasion of environmental preservation areas. In order to mitigate these consequences, it is necessary to identify the motivation for migration, in order to plan the city's growth and prepare for important migratory attractions. Thus, from 2015 onwards, the regions of Porto Meira and Carimã located in the city of Foz do Iguacu (PR) are experiencing major interventions, such as the construction of a shopping mall, the renovation of a tourist attraction and the construction of a new international bridge, as well as the access roads to it, thus showing itself as a possible area of urban growth for analysis. The objective of this research was to use remote sensing and image processing techniques, through the Qgis software and the SCP plugin, to map, analyze and quantify the region's urban area in 2015 and 2023, with the purpose of identifying whether there was migration to the region motivated by the implementations, drawing attention to how the works carried out and how they are still in progress increase the region's growth potential. The classification method used was Minimum Distance, presenting an accuracy of at least 85% for both years studied, an excellent level of accuracy. A growth of 39.29% in the urban area of the studied region was identified between 2015 and 2023, totaling an increase of 1.6 km<sup>2</sup>, well above the city's population growth, which was just 11.45% between 2010. and 2022 indicating that there was intra-urban migration motivated by interventions in the region.

**Keywords:** Remote Sensing, Urban Growth, Minimum Distances, Intraurban Migration, Image Processing.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Localização de Foz do Iguaçu e bairros a serem analisados. ....	21
<b>Figura 2:</b> Fluxograma de Trabalho. ....	23
<b>Figura 3:</b> Banda 5 do Landsat 8, área utilizada e limite município de Foz do Iguaçu .....	24
<b>Figura 4:</b> Mapa temático classificação Mínimas Distâncias Euclidianas 2015.....	31
<b>Figura 6:</b> Comparação entre as manchas urbanas entre os anos de 2015 e 2023. ....	36

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Nível de desempenho da classificação de acordo com o índice Kappa .....	19
<b>Tabela 2:</b> Composições RGB utilizadas para referência do analisador.....	25
<b>Tabela 3:</b> Resultados dos métodos digitais de avaliação de acurácia.....	28
<b>Tabela 4:</b> Resultados Visuais das Classificações Supervisionadas. ....	29
<b>Tabela 5:</b> Quantificação das áreas, em km <sup>2</sup> , de cada tipo de uso de solo por bairro para o ano de 2015.....	31
<b>Tabela 6:</b> Quantificação das áreas, em km <sup>2</sup> , de cada tipo de uso de solo por bairro para o ano de 2023.....	32
<b>Tabela 7:</b> Comparações quantitativas, em porcentagem, da área urbana de cada bairro em relação a área total do bairro, a área urbana do bairro e a área urbana total da região....	33
<b>Tabela 8:</b> Comparação das porcentagens de cada classe de uso de solo urbano entre os anos de 2015 e 2023. ....	34
<b>Tabela 9:</b> Comparação da extensão territorial e crescimento de cada classe de uso de solo urbano entre os anos de 2015 e 2023. ....	35

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
2.1. GERAL .....	13
2.2. ESPECÍFICOS .....	13
<b>3. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>14</b>
3.1. CRESCIMENTO E EXPANSÃO URBANA.....	14
3.2. SENSORIAMENTO REMOTO .....	15
3.2.1. Satélite da série Landsat .....	16
3.3. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS .....	17
3.3.1. Pré-processamento.....	17
3.3.2. Métodos de Classificação .....	18
3.3.3. Validação da classificação .....	19
3.4. SENSORIAMENTO REMOTO E EXPANSÃO URBANA .....	19
<b>5. MÉTODOS</b> .....	<b>22</b>
5.1. COLETA DE DADOS .....	22
5.1.1 Delimitação da região de estudo .....	22
5.2. PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS.....	23
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>28</b>
6.1 CLASSIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA .....	28
6.2 QUANTIFICAÇÃO DAS ÁREAS .....	30
6.3. ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA.....	33
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>39</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>41</b>



## 1. INTRODUÇÃO

O êxodo rural causou grande expansão urbana no Brasil entre as décadas de 1940 e 1970 devido à industrialização e à expansão dos meios de comunicação. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, de 1940 a 2000 a população urbana subiu de 12,8 milhões de habitantes para 137,9 milhões, resultando no aumento do grau de urbanização 49,9 pontos percentuais, passando de 31,3% em 1940 para 81,2% em 2000 (IBGE, 2007).

Para Tucci (2012), a urbanização concentra a sociedade em espaço reduzido, gerando competição pelos mesmos recursos, assim, o meio produzido pela interação sociedade e o ambiente natural gera um conjunto de efeitos interligados que se não controlados levam a cidade ao caos, como os principais problemas relacionados ao uso do solo no meio urbano causados pela expansão irregular sobre as áreas de mananciais, a ocupação de encostas pela a população de baixa renda marginalizada e o aumento da densidade habitacional, gerando assim alta carga de poluentes sem tratamento e a impermeabilização excessiva contida no planejamento urbano atual, sendo os principais problemas relacionados ao uso do solo no meio urbano.

O aumento da população urbana é uma tendência mundial. No ano de 2023 a população mundial atingiu a marca de 8 bilhões de pessoas no mundo, com isto a demanda não é tentar diminuir a mesma, mas fazê-la de forma ordenada e planejada. Os problemas gerados pelo aumento da mancha urbana ainda são os mesmos, porém a motivação e a velocidade em que ocorrem são completamente diferentes. Assim, os aspectos espaciais devem receber cada vez mais atenção considerando a especificidade de cada região e a relação global, para então explicar e identificar causas e motivações para os fluxos migratórios atuais, sendo assim pode ser considerado atrativo migratório qualquer intervenção no local que seja uma motivação positiva para que a população se interesse em migrar para tal região (DOTA, 2015).

Num estudo da expansão urbana e constituição de subcentros, os autores Costa *et al.* (2010) concluem que o Estado vem perdendo a gestão do território, cedendo espaço a novos agentes que a partir de seus interesses passam a criar novas áreas atrativas através de modificações e novos empreendimentos em novos pontos da cidade. A partir disto, pode-se inferir que o novo papel do Estado seria prever quais empreendimentos seriam atrativos migratórios, direcionando e adaptando as políticas públicas da cidade de acordo com a implantação dos mesmos.

A prefeitura da cidade de Foz do Iguaçu, no Art. 1º da Lei Complementar Nº271 de 18 de julho de 2017, a qual Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado Sustentável (PDDIS), afirma que o plano diretor “é o instrumento de planejamento estratégico do desenvolvimento e expansão urbana do Município” (Foz do Iguaçu (PR), 2017, p. 1). Ainda, o Art. 4º da mesma lei diz:

A função social da cidade compreende o pleno exercício de todos ao direito à cidade, entendido este como direito [...] ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, ao saneamento, ao transporte público, ao lazer, à informação, à infraestrutura urbana e aos demais direitos assegurados pela legislação vigente. (Foz do Iguaçu (PR), 2017, p.1).

Antes dos anos 1980, as análises de expansão urbana eram feitas apenas através de censos demográficos, pesquisas de campo e, raramente, através de análise de imagens aéreas. Com os avanços tecnológicos gerados pela “corrida espacial” da Guerra Fria (1947-1991), em 1976 ocorre o lançamento do primeiro satélite orbital da série *Landsat*, levando a uma grande mudança em relação à quantidade e qualidade de imagens disponíveis da superfície terrestre e conseqüentemente nos *softwares* e capacidade de processamento e classificação das mesmas.

As imagens de satélite e as técnicas de classificação e interpretação de imagens permitem produzir mapas multitemporais em grande escala, sendo cada vez mais utilizadas em estudos urbanos e regionais pois possibilitam uma maior periodicidade e precisão, dada sua velocidade e facilidade. Assim, o sensoriamento remoto abre novos horizontes para a cartografia com grande potencial a ser aproveitado no estudo do crescimento urbano (SALES, 2010). Surgem então os primeiros estudos avançados de expansão urbana através do sensoriamento remoto e processamento de imagens, sendo a maior parte deles voltado ao uso e cobertura do solo e suas conseqüências ambientais. As imagens de satélite podem identificar facilmente inclusive a direção do crescimento, além da expansão da mancha urbana (FLORENZANO, 2002).

As regiões do Porto Meira e Carimã, localizadas no Município de Foz do Iguaçu – PR, se mostram como áreas de atração migratória, visto que houve a implantação e construção de diversas obras desde 2016, ano em que foi inaugurado o Shopping Catuaí e finalizada a reforma do Marco das Três Fronteiras, empreendimentos voltados ao comércio e turismo. A região também experiencia até os dias atuais a construção da nova ponte entre Brasil e Paraguai e a implantação da Perimetral Leste, que interliga a BR277 com a fronteira tanto do Paraguai quanto da Argentina.

Dados os fatos, esta pesquisa pretendeu, através de dados de sensoriamento remoto e técnicas de processamento digital de imagens, analisar e quantificar as alterações da mancha urbana das regiões nos anos de 2015 e 2023, afim de verificar se houve ou não o crescimento da mesma motivado por todas as implantações sofridas neste período, e alertar para o potencial de crescimento da região após a conclusão das obras que ainda estão em andamento. Enfim, a análise foi feita considerando as motivações de migração para a região estudada, e entendendo a complexidade dos fatores de migração, delimitando-se os estudos à área de engenharia civil, sem desconsiderar a importância de um trabalho colaborativo essencial com as outras áreas de conhecimento envolvidas.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. GERAL

Investigar, por meio de técnicas de processamento digital de imagens, se houve o crescimento urbano na região do Porto Meira e Carimã no município de Foz do Iguaçu -PR após diversas implantações de empreendimentos e modificações na região.

### 2.2. ESPECÍFICOS

- i. Obter imagens de satélite da região antes do início das implantações (2015) e nos dias atuais (2023).
- ii. Caracterizar o tipo de uso de solo da região em cada momento citado, através do processamento digital de imagens e métodos de classificação supervisionada.
- iii. Analisar a acurácia de cada método de classificação e utilizar o que obteve maiores resultados.
- iv. Comparar e quantificar o crescimento urbano da região antes e depois do começo das implantações dos empreendimentos na região.
- v. Comparar os dados obtidos com o crescimento populacional da cidade através do censo do IBGE
- vi. Analisar a forma e tendência do crescimento urbano no entorno dos empreendimentos e na região.

### 3. REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1. CRESCIMENTO E EXPANSÃO URBANA

O processo de urbanização no Brasil teve início na década de 1930. Essa grande transformação urbana acompanhou o acelerado processo de industrialização da economia brasileira que tem como marco inicial mais importante a segunda metade da década de 1950, quando vai se tornando cada vez mais intensa com a expansão dos sistemas de transportes e dos meios de comunicação de massas. Sendo assim: “a maior parte do crescimento demográfico urbano deve ser explicada pelo intenso fluxo migratório rural-urbano, dentro do contexto das migrações internas” (BRITO; DESOUZA, 2005, p.49).

Rigatti (2002) diferencia duas formas em que se dão a expansão urbana. A primeira: crescimento por extensão. Conceito amplamente conhecido, caracterizado por meio da incorporação de áreas de uso não-urbano por áreas de uso urbano. A segunda forma: crescimento por densificação, o qual não se incorporam novas áreas, mas aumenta-se o a intensidade de utilização de áreas já urbanas.

Para estudo da expansão urbana mais recente Campos (2012) pontua a necessidade de considerar as relações sociais, ambientais e econômicas de determinado local para compreender como a dinâmica de crescimento afeta o tamanho e a urbanização da região, estabelecendo estrutura urbana como o “processo segundo qual são dispostos os elementos de composição e o conjunto das relações estabelecidas entre eles” (RIGATTI, 2002, p,39).

Segundo o modelo de condicionantes da urbanização de Alonso-Mills-Muth (AMM) a escolha do local de moradia seria determinada por 4 fatores: O aumento da população que acirra a competição por território elevando o preço de aluguel e metro quadrado; a renda que age diretamente sobre a capacidade de consumo do espaço, levando a expansão da fronteira da cidade; O custo do transporte e acessibilidade, dado que o baixo custo e eficiência do mesmo facilita a moradia mais afastada, visto que é mais barata; O valor da terra agrícola gerando a competitividade em definir qual uso do solo proporciona maior ganho de capital (ANGELO, 2020)

Existem então fatores de incentivos e fatores de repulsa à migração, estes estão diretamente ligados a processos sociais, como trabalho e estudo, e questões econômicas, como oportunidade de trabalho e valorização da região, assim os principais motivos que direcionam e caracterizam os fluxos migratórios atuais nos espaços urbanos são a

reprodução e modificação das áreas já ocupadas, compreendendo diversos fatores da área de habitação como oportunidade de emprego, acesso a lazer e instituições e mobilidade urbana (DOTA, 2015).

No sentido de identificar a motivação e direcionamento da mancha urbana das cidades, Gomes e Vestena (2018), através de dados de Sensoriamento Remoto e ferramentas de processamento de imagens, identificaram as motivações e o direcionamento da expansão urbana da cidade de Guarapuava-PR entre 1940 à 2016. A primeira motivação foi pela cidade contar duas vias de acesso importantes, a BR277 e a estrada de ferro, momento em que cresceu predominantemente para as direções Norte e Oeste. Posteriormente a mesma se torna uma referência de compras e experienciou crescimento em todas as direções.

### 3.2. SENSORIAMENTO REMOTO

O Sensoriamento Remoto é uma das ferramentas de Geoprocessamento, sendo este uma tecnologia interdisciplinar que permite a interação entre disciplinas científicas variadas com a finalidade de estudar fenômenos ambientais e urbanos. As ferramentas computacionais utilizadas no geoprocessamento são os sistemas que fazem o tratamento computacional de dados geográficos através de suas características alfanuméricas e sua localização espacial, estes compõem o chamado Sistema de Informação geográfica (SIG) (CÂMARA et. al, s.d.).

Tereza Galloti Florenzano traz em seu livro uma definição clara e precisa de Sensoriamento Remoto:

O termo Sensoriamento refere-se à obtenção de dados, e o termo Remoto significa distante, ou seja, sensoriamento remoto significa um conjunto de técnicas que permite a obtenção de dados de informações sobre fenômenos e objetos sem que haja contato físico entre o sensor do satélite e a superfície da terra.” (FLORENZANO, 2002, p.9)

Em uma definição mais específica, Meneses (2012) define Sensoriamento Remoto como “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.”

Dessa forma, as imagens de satélite são capazes de nos mostrar tanto os impactos de fenômenos naturais quanto da ação humana, uma vez que nos proporcionam uma visão conjunta de tempo e espaços incontáveis sobre a superfície terrestre, contribuindo assim com estudos nas mais diversas áreas científicas (FLORENZANO, 2002).

### 3.2.1. Satélite da série Landsat

Dentre as ferramentas de captura e obtenção de imagens remotas amplamente utilizadas estão os satélites Landsat. A importância do programa Landsat é apontada recentemente pelos autores Alves et al (2020, p. 306): “Passados 40 anos, o programa Landsat possui um grande acervo de imagens de diversas partes do mundo, o que faz com que seja possível a realização de estudos temporais sobre o uso e ocupação do solo, bem como de crescimento urbano.”

De acordo com o site oficial do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a “série LANDSAT teve início na segunda metade da década de 1960, a partir de um projeto desenvolvido pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), dos Estados Unidos, sendo dedicado exclusivamente para observação de recursos naturais terrestres”. A mesma instituição especifica que o LANDSAT-1 foi o primeiro satélite de sensoriamento remoto no mundo, lançado em 1972, carregando as câmeras *Return-Beam Vidicon* (RBV) e *Multispectral Scanner* (MSS).

Desde então foram lançados, no total, nove satélites com imagens multiespectrais, sendo o último o LANDSAT-9. Para NASA (2021):

com o lançamento do LANDSAT-9 no meio de 2021, a missão de monitorar os principais recursos naturais e econômicos da órbita continua. O LANDSAT-9, levava dois instrumentos: o Operational Land Imager 2 (OLI-2), que coleta imagens da superfície da terra em luz visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas e o Thermal Infrared Sensor 2 (TIRS-2), que mede a temperatura de superfícies terrestres. (NASA, 2021)

Na presente pesquisa serão utilizadas imagens capturadas pelo satélite Landsat-8. De acordo com o site da *U.S. Geological Survey* (USGS) e o manual de instrução de usuário, o Satélite LandSat 8 foi lançado dia 11 de fevereiro de 2013, levando os sensores *Operational Land Imager* (OLI) e o *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), com a missão de funcionar por 10 anos, com uma variação temporal de 16 dias, para dar continuidade às missões LandSat 4, 5 e 7.

O sensor TIRS mede a temperatura da superfície terrestre em duas bandas térmicas com resolução espacial de 100m. Já o sensor OLI captura dados em uma faixa dinâmica de 12 bits ao longo de 190km e gera imagens para 9 bandas espectrais curtas, com faixa de resolução espacial de 30 metros para as bandas de 1 a 7 e de 15m para a banda 8 pancromática, medindo porções do visível (bandas 2, 3 e 4), infravermelho próximo (banda 5) e infravermelho de ondas curtas (Bandas 6 e 7).

### 3.3. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Se faz necessário a aplicação de diversas técnicas para a extração e análise de todo o potencial dos dados fornecidos pelas imagens capturadas, através do Sensoriamento Remoto, à isto damos o nome de Processamento Digital de Imagens (PDI). Em conformidade com a elucidação de Gomes e Queiroz (2001), o PDI envolve um conjunto de tarefas interconectadas, iniciando-se com a captura de uma imagem através de um sistema de aquisição. Após a captura a imagem precisa ser representada de forma que possa passar por tratamento computacional, iniciando no pré-processamento com correção de distorções da imagem, seguida da análise e identificação de objetos e, a partir disto, pode-se utilizar operadores morfológicos para analisar e extrair informações uteis para a sua classificação, chegando a uma das tarefas de mais alto nível, a classificação das imagens, que tem como objetivo reconhecer e inferir identidade aos objetos a partir das características identificadas nas etapas anteriores.

Ainda sobre o PDI, Albuquerque e Albuquerque (s.d., p. 1) afirmam que “processar uma imagem consiste em transformá-la sucessivamente com o objetivo de extrair mais facilmente a informação nela presente”. Neste sentido, Filho e Neto (1999) destacam a importância do trabalho com larga contribuição do processamento e interpretação automática por imagens de satélite nas pesquisas áreas de Geografia, Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e Meteorologia.

#### 3.3.1. Pré-processamento

Na própria captura das imagens de satélite são gerados erros provindos de defeitos dos sensores, instabilidade da plataforma ou até mesmo da interferência da atmosfera e muitas vezes antes dessas imagens chegarem ao analisador estes erros precisam ser corrigidos. Este processo é chamado de pré-processamento, realizando o tratamento dos dados brutos da imagem através da remoção de ruídos, atenuação dos efeitos da atmosfera, aplicação das correções geométricas e calibrando a radiometria da imagem (FLORENZANO, 2002, p. 71).

Conforme elucidado por Meneses (2012) e Gomes (2001), o pré-processamento é a etapa que não altera a imagem em si, mas tem como objetivo melhorar a qualidade da mesma, aplicando basicamente três tipos de correção. A correção dos ruídos, os quais são erros aleatórios do valor digital do *pixel* comumente gerados por erros instrumentais e se

mostram como *pixels* saturados ou sem sinal e em sua maioria são corrigidos antes da distribuição das imagens. As correções geométricas, sendo a distorção do pixel gerada pela rotação e curvatura da terra, instabilidade da plataforma e campo de visada do sensor, onde existem várias técnicas de correção para cada fonte de erro, mas ao final é necessário também o georreferenciamento finalizando a correção dos erros de posicionamento ao colocar a imagem em um sistema de referência conhecido. E, por fim, a correção atmosférica, a qual a fonte do erro é a própria atmosfera que altera diretamente a radiância da imagem, causando degradação ou distorção radiométrica da imagem como um todo, sendo assim a mais comprometedora.

### 3.3.2. Métodos de Classificação

De acordo com Meneses (2012), a classificação de imagens é o processo de identificar um determinado *pixel* de acordo com uma classe previamente indicada, a qual representa um critério do mundo real. Assim, o *pixel*, satisfazendo o critério daquela classe, a ele será atribuído um identificador da mesma.

Existem diversos tipos de classificadores, os mais difundidos para o processamento digital de imagens dividem a classificação em supervisionada e não supervisionada, onde a primeira difere da segunda por requerer conhecimento prévio do analista dos alvos, já que necessita que o mesmo crie um arquivo de treinamento, coletando pequenas áreas de amostra das imagens para posteriormente o algoritmo ser capaz de diferenciar uma classe da outra. Dentre dos algoritmos de classificação supervisionada, é possível destacar alguns chamados de classificação *pixel a pixel*.

Um dos mais utilizados é o Método da Máxima Verossimilhança, onde é feito para cada *pixel* um conjunto de probabilidades e o mesmo é alocado na classe de mais alta probabilidade, ou seja, com maior semelhança. Outro método é o de Mínimas Distâncias, que calcula, para cada classe, a média da resposta espectral dos *pixels* da amostra e compara a distância euclidiana da média ao pixel a ser analisado, assim, este é designado a classe com a menor distância euclidiana, não havendo então nenhum *pixel* não classificado. Segundo a comparação feita por Muller (1999), dentre os métodos de Máxima verossimilhança e Mínimas Distâncias, conclui-se que o último atinge melhores resultados de acordo com o índice Kappa.

Por fim, o método de Mapeamento por Ângulo Espectral também é altamente difundido. Esta técnica quantifica o grau de similaridade entre espectros ao comparar o

ângulo entre os mesmos os tratando como vetores com dimensão igual ao número de bandas (NOVO, p. 89, 2020).

### 3.3.3. Validação da classificação

Se faz necessária a validação dos resultados da classificação, a qual geralmente é feita através de uma matriz de erros, comparando a imagem classificada com um conjunto de amostras de referência e resultando em um índice de acurácia.

Este índice pode ser calculado e expressado de diversas formas, as mais comuns são a Exatidão Global, em que se divide o número de *pixels* corretamente classificados pelo número total de *pixels*, extraindo assim um resultado de acurácia em forma de porcentagem, onde 100% significa que todos os *pixels* foram classificados corretamente (Menezes, 2012), e o Índice Kappa que expressa a concordância real menos a concordância por acaso entre dois conjuntos de dados, podendo variar entre 0 e 1, onde Landis e Koch (1997) propuseram o nível de desempenho da classificação disposto na Tabela 1 a seguir.

**Tabela 1:** Nível de desempenho da classificação de acordo com o índice Kappa

Nível de desempenho	Índice Kappa
Péssimo	$K < 0$
Ruim	$0 < K < 0,20$
Razoável	$0,20 < K < 0,40$
Bom	$0,40 < K < 0,60$
Muito bom	$0,60 < K < 0,80$
Excelente	$0,80 < K < 1,00$

**Fonte:** Adaptado de Landis e Koch, 1997.

## 3.4. SENSORIAMENTO REMOTO E EXPANSÃO URBANA

Em estudo da expansão urbana da cidade de Manaus, entre os anos de 1972 e 2011, Alves *et al.* (2020) utiliza imagens do Landsat-1 e Landsat-5 em composições R6G7B5 e R5G4B3, respectivamente, para identificar os tipos de uso de solo através do método de classificação supervisionada de máxima verossimilhança. Os autores destacam a

interferência das nuvens nas imagens, porém obtiveram excelentes resultados das classificações, sendo possível identificar que a área urbana de Manaus passou de 27%, do total da área da cidade, em 1972, para 67%, em 2011. Além disso, realizaram o cruzamento dos resultados da classificação com dados do IBGE e fatos históricos, podendo assim fazer uma análise mais profunda desta expansão urbana.

Seguindo essa ideia, Macedo *et al* (2022) faz uma análise integrada da morfologia urbana da cidade de Montes Claros, cruzando dados de sensoriamento remoto e classificação de imagens com bases cartográficas disponibilizadas pelo IBGE, neste sentido destaca a importância da disseminação de informações geoespaciais livres de órgãos governamentais, pois impactam diretamente na formulação de políticas públicas e de planejamento urbano.

Utilizando o software QGis para analisar 5 imagens do Landsat-5 e 2 imagens do Landsat-8 entre os anos de 1989 e 2018, com composições R3G2B1 e R3G4B5, respectivamente, Pinheiro e Ribeiro (2022) fazem uma análise crítica do cumprimento do plano diretor de Palmas -TO, identificando já nos primeiros anos o distanciamento entre o que foi planejado e o executado. O método de classificação supervisionada utilizado pelos autores foi o de Mínimas Distâncias, tendo sua classificação validada atingindo o índice Kappa de 0,83, considerado excelente.

No sentido de motivações para a expansão urbana, Da Costa e Oliveira (2001), analisando imagens do Landsat MSS e TM E *Pan-Spot*, através da classificação supervisionada com o método de Máxima Verossimilhança, constataram a influência do processo de industrialização na expansão urbana da cidade de São Jose dos Campos, entre os anos de 1977 e 1997.

Os estudos citados demonstram a vasta utilidade das técnicas de processamento digital de imagens nos estudos de uso do solo e expansão urbana. Assim, as tecnologias de sensoriamento remoto têm contribuído para a tomada de decisões pelo poder público local através de informações para estruturação e implementação dos planos de gestão de determinada localidade, sendo excelentes fontes de dados para produzir mapas de uso e cobertura da terra (FONSECA *et al*, 2007; ROSSETTI, 2007).

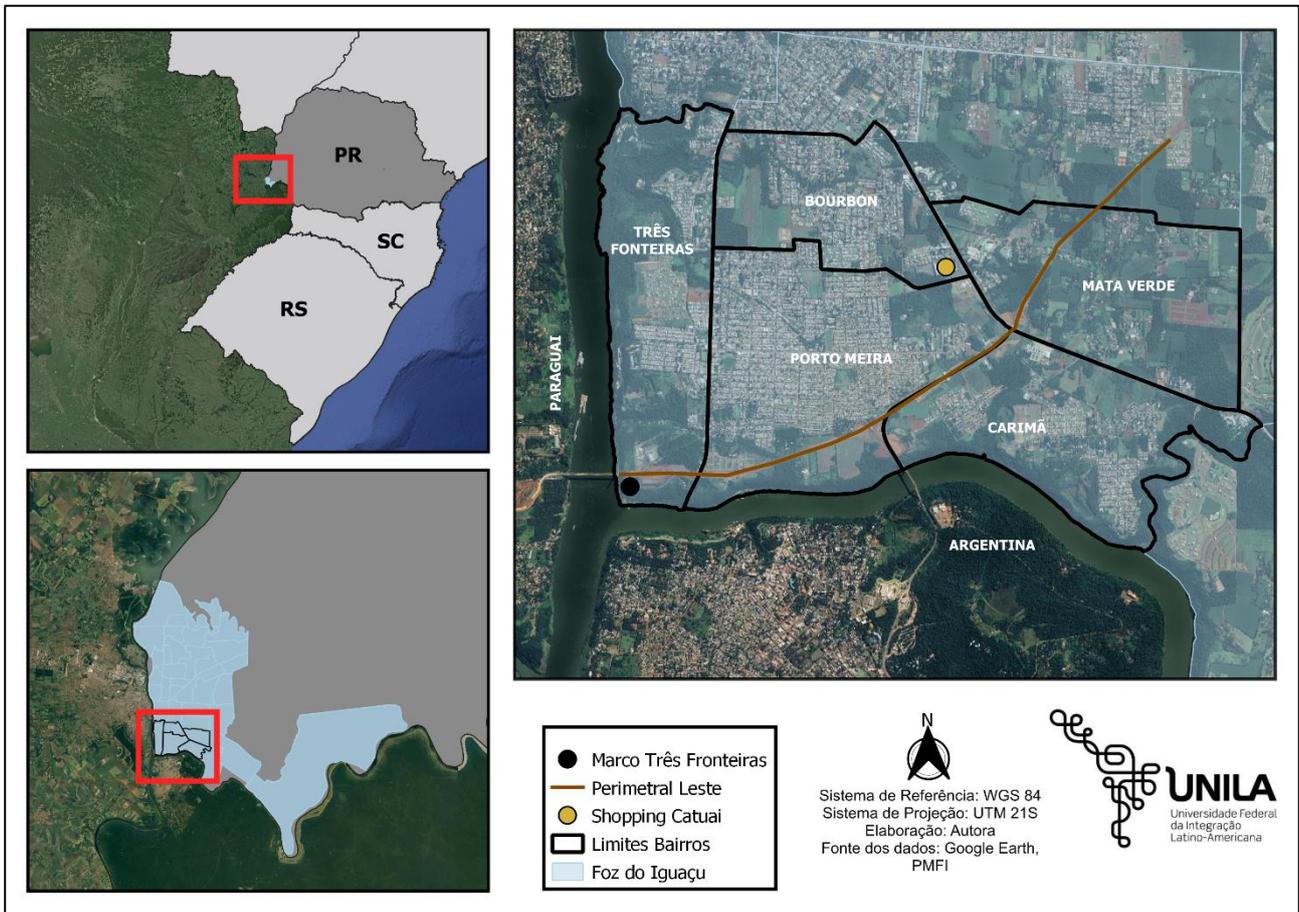
#### 4. ÁREA DE ESTUDO

O município de Foz do Iguaçu fica localizado na região Oeste do estado do Paraná, fazendo fronteira com dois países, Paraguai e Argentina. A cidade é um grande destino turístico nacional e internacional, pois, além da região das três fronteiras, a cidade abriga o Parque Nacional Iguaçu e as Cataratas do Iguaçu, atrativo mundialmente conhecido como uma das sete maravilhas da natureza, o que faz a cidade e sua economia girarem em torno do turismo.

Para o estudo de caso foram levados em consideração dois empreendimentos considerados atrativos migratórios. São eles: a construção do Shopping Catuaí Palladium, em 10 de junho de 2016, e a reinauguração após reforma do Marco das Três Fronteiras, em 21 de dezembro de 2016, localizados no setor sul da cidade nos bairros Porto Meira e Três Fronteiras, respectivamente.

De acordo com mapa da cidade disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu, duas grandes regiões estão próximas aos empreendimentos, a Região Porto Meira, a qual abrange os bairros Três Fronteiras, Bourbon e Porto Meira, e a Região Carimã, que abrange os bairros Carimã e Mata Verde. Estas regiões se encontram próximo à fronteira com a Argentina, onde foram iniciadas também a construção da perimetral leste e Ponte da Integração, porém estas intervenções não foram concluídas antes do fim do presente estudo. Vale destacar também que no bairro Porto Meira fica localizada a maior ocupação de terras do Paraná, a Ocupação Bubas, que teve início em 2013 e até hoje enfrenta desafios para sua regularização. A Figura 1 mostra a localização da cidade, dos empreendimentos e dos bairros em questão.

**Figura 1:** Localização de Foz do Iguaçu e bairros a serem analisados.



**Fonte:** Adaptado de PMFI e *Google Earth*, 2023.

## 5. MÉTODOS

A presente pesquisa observacional e de caráter exploratório, utilizou uma metodologia quantitativa descritiva, que foi aplicada através dos passos descritos a seguir.

### 5.1. COLETA DE DADOS

Para realização desta pesquisa, foram utilizadas as imagens das bandas de 1 à 8, adquiridas da Coleção-2 /Nível-1 no site da USGS no formato GeoTIFF (*Tagged Image File Format*), ortorretificadas e georreferenciadas em WGS 84 (*World Geodetic System 84*) /UTM (*Universal Transversal Mercator*) 21N, posteriormente reprojctadas para zona UTM 21Spois Foz do Iguaçu encontra-se no hemisfério sul.

Buscou-se imagens onde não houvesse interferência de nuvens, para cada ano investigado, de um mesmo mês de referência. Desta forma foram utilizados os seguintes dados:

- Para o ano de 2015, ano imediatamente anterior à construção do *Shopping Catuaí Palladium* e reinauguração do Marco das Três Fronteiras, foi utilizada uma cena, bandas de 1 à 8, do dia 5 de maio.
- Para 2023, ano de início da construção da Perimetral Leste, de conclusão da construção da Ponte da Integração e situação atual da região, foi utilizado uma cena, bandas de 1 à 8, do dia 11 de maio.

#### 5.1.1 Delimitação da região de estudo

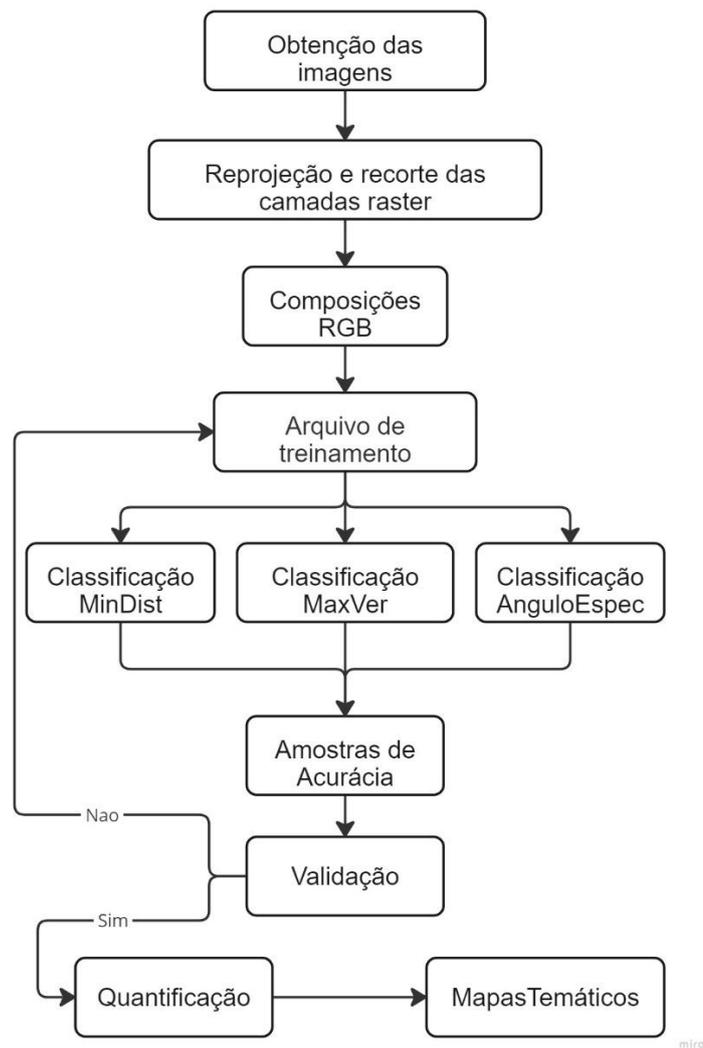
Para delimitação da área em análise, regiões do Porto Meira e Carimã, foram utilizados os mapas cadastrais e as informações de uso e ocupação do solo disponibilizados em arquivos *shapefile* pelas Divisões de Parcelamento do Solo Urbano (DVPSU) e de Geoprocessamento (DVGEO), divisões da Secretaria de Planejamento e Captação de Recursos (SMPC), dados estes disponíveis no site da Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu no ano de 2023. Também se utilizou os documentos estatísticos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), mais especificamente os censos demográficos de 2010 e 2022.

## 5.2. PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS

Para análise, pré-processamento e pós-processamento das imagens e elaboração dos mapas foi utilizado o *software* gratuito e de código aberto QGis, na versão 3.28.9 e o *Plugin Semi-Automatic Classification (SCP)*. Foram feitas classificações supervisionadas através dos métodos de Máxima Verossimilhança, Mínima Distância Euclidiana e Ângulo espectral, afim de identificar os tipos de uso do solo da região estudada e quantificar a área urbana na proximidade dos atrativos migratórios.

O fluxograma da Figura 2 foi elaborado com intuito de elucidar a estrutura da metodologia utilizada, cada tópico será abordado em seguida a fim de detalhar cada parte do processo.

**Figura 2:** Fluxograma de Trabalho.

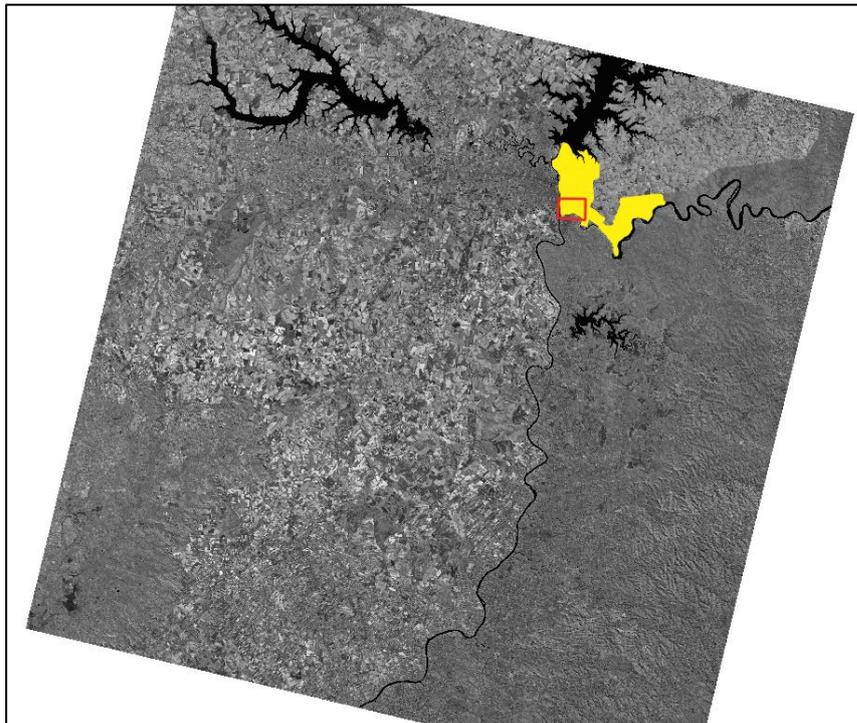


**Fonte:** Autor, 2023.

A etapa de obtenção das imagens já foi elucidada no item 4.1, então partiu-se diretamente para as etapas de pré-processamento das imagens.

Primeiramente as imagens obtidas estavam em WGS 84/UTM zone 21N e foram reprojctadas, através das próprias ferramentas de reprojeção do Qgis, para zona UTM 21S, onde está localizada a zona de interesse. Depois fez-se o recorte, através da ferramenta de recorte de múltiplas camadas *raster* da parte de pré-processamento do *plugin* SCP, foi feito o recorte das bandas de 1 a 8, utilizando como máscara a camada vetorial de um polígono simples que continha os bairros, a fim de focar somente nas regiões do Porto Meira e Carimã. A Figura 3 apresenta a banda 5 do sensor OLI do Landsat 8, a área de pesquisa é mostrada pelo retângulo vermelho e em amarelo o município de Foz do Iguaçu.

**Figura 3:** Banda 5 do Landsat 8, área utilizada e limite município de Foz do Iguaçu



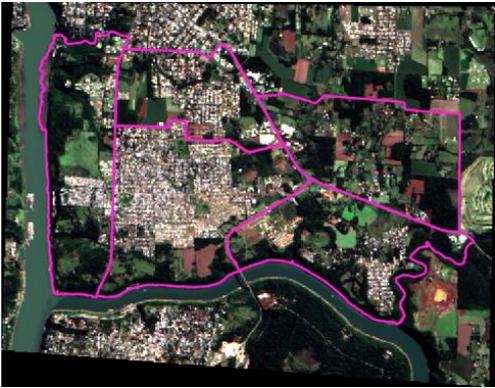
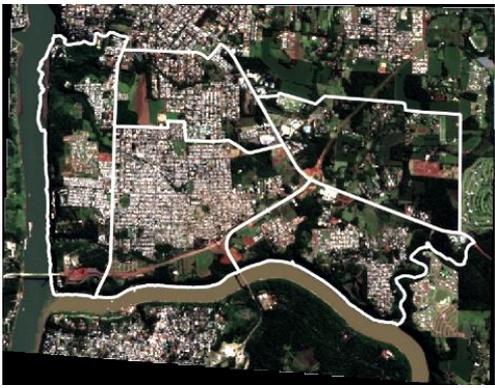
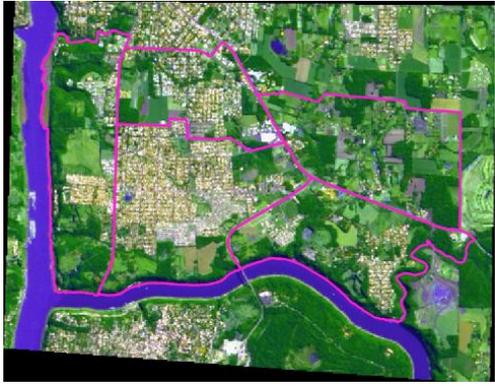
**Fonte:** Adaptado de PMFI (2023) e USGS (2023).

Na etapa seguinte o foco esteve em elaborar composições coloridas RGB como material de referência afim de facilitar ao analisador a identificação dos alvos urbanos, pois os métodos de classificação supervisionadas a serem utilizados exigem grande participação e precisão do mesmo para a etapa de coleta das amostras de treinamento.

Utilizou-se as composições: natural R(4)G(3)B(2), falsa cor urbana R(7)G(6)B(4) e

infravermelho de ondas curtas R(7)G(5)B(4), conforme definição da USGS. Por fim cada composição foi fusionada com a banda 8 pancromática, com intuito de melhorar a visualização dos alvos aumentando a resolução espacial de 30m para 15m e assim pode interpretar com mais clareza as classes existentes nas imagens. Estas estão demonstradas na Tabela 2.

**Tabela 2:** Composições RGB utilizadas para referência do analisador.

	2015	2023
R(4)G(3)B(2)	 <p>(a)</p>	 <p>(b)</p>
R(7)G(6)B(4)	 <p>(c)</p>	 <p>(d)</p>
R(7)G(5)B(4)	 <p>(e)</p>	 <p>(f)</p>

**Fonte:** O autor, 2023.

As figuras (a) e (b) referem-se à composição natural de cores, ou seja, a combinação de cores vistas a olho nu, por esse fato serviram como referência da realidade. Já as figuras, (e) e (f) representam a composição de infravermelho de ondas curtas que destaca a área urbana porém também destaca o solo exposto. Por esse último fato foram elaboradas as figuras (c) e (d), que representam a falsa cor urbana, sendo utilizada para destacar somente os alvos de utilização urbana do solo.

Vale salientar que as composições coloridas foram utilizadas somente para melhor identificação dos alvos pelo avaliador, pois o *plugin* SCP utiliza todas as bandas espectrais disponíveis. Para isso foi preciso definir o *Band set* e faixa espectral de cada banda de acordo com a fonte das imagens, ou seja, para o *Landsat 8* foi definido o *Band set* com as faixas de 1 a 7 e os comprimentos das faixas de cada banda de acordo com o *site* da USGS.

Após a definição do *Band set* é possível iniciar a etapa do arquivo de treinamento, que é utilizado como referência para a posterior classificação das imagens. A criação deste arquivo se dá através das ferramentas do próprio *plugin*, onde o avaliador identifica amostras vetoriais das imagens e as classifica em macro classes para cada classe de uso de solo. As classes foram definidas de acordo com o Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013), sendo elas: Água, Solo Exposto, Vegetação Densa, Agricultura e Urbano. Foi feito um arquivo de treinamento diferente para cada ano e para cada arquivo de treinamento foram coletadas 15 amostras de cada classe.

Após coletar as amostras utilizou-se os métodos de classificação supervisionada de Máxima Verossimilhança, Mínimas Distâncias euclidianas e Ângulo Espectral, afim de comparar e utilizar o de melhor acurácia. A classificação gerou mapas temáticos, em arquivos *raster* e vetorial, atribuindo a cada *pixel* o identificador definido anteriormente para a classe ao qual ele foi classificado.

Para validação digital da classificação foi realizada a análise de acurácia através da área de pós-processamento no *plugin* SCP. Para isso foi confrontado a classificação gerada anteriormente com um arquivo de amostras de acurácia extremamente precisas. Foi criado então uma camada vetorial e, assim como no arquivo de treinamento, foram coletadas agora seis amostras de cada classe diferentes das amostras de treinamento, visto que a área de estudo é reduzida e, após a coleta das amostras de treinamento, não seria possível a coleta de um grande número de amostras de validação. O *plugin* devolve como resultado

da validação o coeficiente Kappa e a porcentagem de exatidão global tanto do usuário quanto do *plugin*.

Uma vez a acurácia sendo satisfatória (acima de 80%), foi selecionado o método com maior precisão e iniciou-se então o processo de quantificação de cada classe de uso do solo para cada bairro. Para isso recortou-se a camada vetorial da classificação através dos arquivos de zoneamento obtidos no *site* da Prefeitura de Foz do Iguaçu, bairro por bairro, agrupado os polígonos por classe. Por fim, através da calculadora de campo obteve-se a área de cada classe.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 CLASSIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA

Através do *plugin* SCP, foi feita a classificação através dos três métodos de classificação supervisionada citados anteriormente. Primeiramente o método de Máxima Verossimilhança não teve precisão na classificação, resultando nos índices Kappa de praticamente zero para as imagens de ambos os anos (-0,0022, para 2015, e -0,0016, para 2023), assim como porcentagem de exatidão global de 13,95% para 2015 e 8,49% para o ano de 2023. Posteriormente foi realizada a classificação através do método do Ângulo Espectral, este método obteve uma precisão global de 85,01% e o índice Kappa de 0,8 para o ano de 2015 e para o ano de 2023 atingiu uma precisão de 96,58% e índice Kappa de 0,95. Por fim, foi feita a classificação através do método de Mínimas Distâncias Euclidianas, que obteve para exatidão global 88,32% e 96,78% e índice Kappa de 0,84 e 0,94 para os anos de 2015 e 2023, respectivamente.

Como o método da Máxima Verossimilhança não teve uma precisão satisfatória, abaixo de 15%, o mesmo foi descartado da pesquisa, permanecendo somente com os outros dois, Ângulo Espectral e Mínimas Distâncias Euclidianas.

Ao comparar o índice Kappa e a porcentagem de exatidão global, os dois métodos mostraram-se semelhantes no ano de 2023, como é possível visualizar na Tabela 3. Já no ano de 2015, o método de Mínimas Distâncias Euclidianas apresenta um resultado 3% mais preciso.

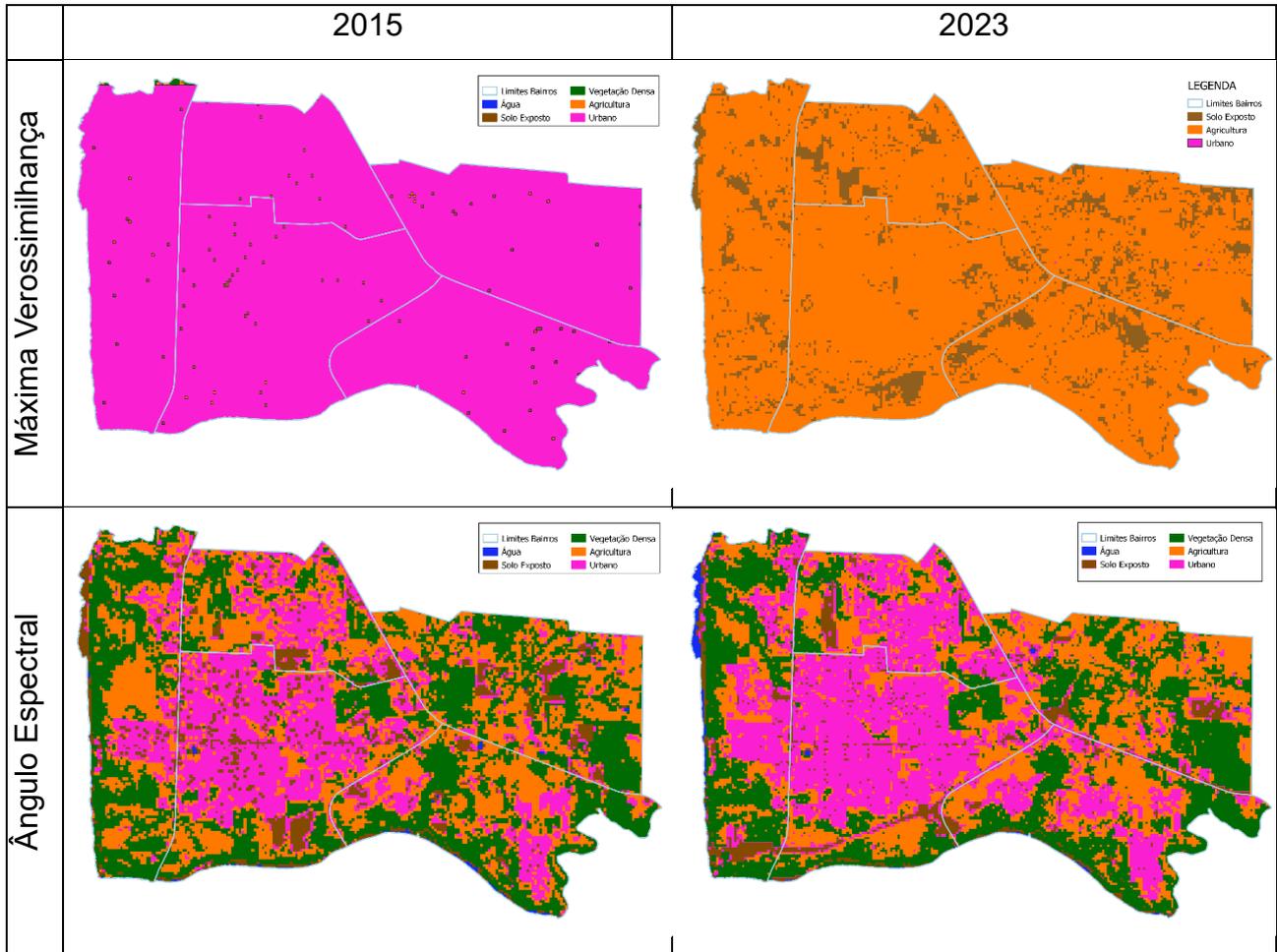
**Tabela 3:** Resultados dos métodos digitais de avaliação de acurácia.

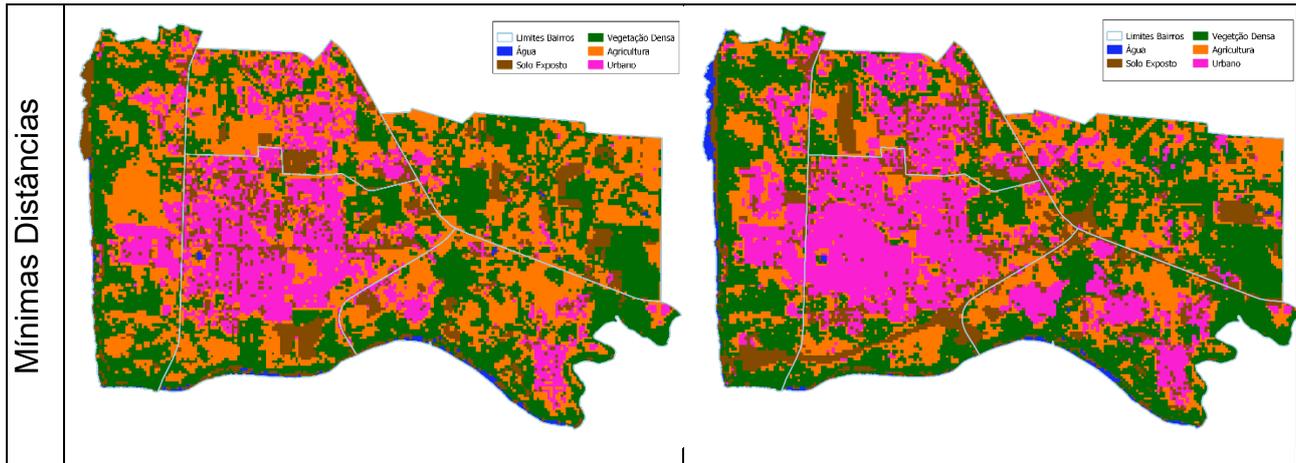
Ano	Validação	MinDist	Angulo espectral
2015	Exatidão Global	88,32%	85,01%
	Kappa	0,8432	0,7972
2023	Exatidão global	95,78%	96,58%
	Kappa	0,9442	0,9535

Fonte: O autor, 2023.

Cada classificação gera um mapa temático ao atribuir cor ao pixel de acordo com a classe de uso de solo a qual ele foi designado, assim além da comparação entre os resultados dos métodos digitais de avaliação de acurácia, também foi feita uma interpretação visual, comparando os mapas temáticos classificados com as composições RGB feitas anteriormente, abaixo a Tabela 4 mostra os mapas temáticos gerados por cada classificação.

**Tabela 4:** Resultados Visuais das Classificações Supervisionadas.





**Fonte:** O autor, 2023.

Os mapas gerados pela classificação Máxima Verossimilhança claramente não condizem com a realidade, o algoritmo classificou em 2015 quase que 100% dos pixels na classe “urbano” e em 2023 a mesma situação porém quase todos os pixels na classe “agricultura”.

Já os resultados apresentados pelas classificações Ângulo Espectral e Mínimas Distâncias foram extremamente satisfatórios e condizentes com a realidade, sendo possível verificar uma precisão maior do método de Mínimas Distâncias Euclidianas principalmente na classificação dos *pixels* de uso urbano e de solo exposto que são de difícil diferenciação devido à terem respostas espectrais parecidas, onde método do Ângulo Espectral teve algumas confusões entre essas classes.

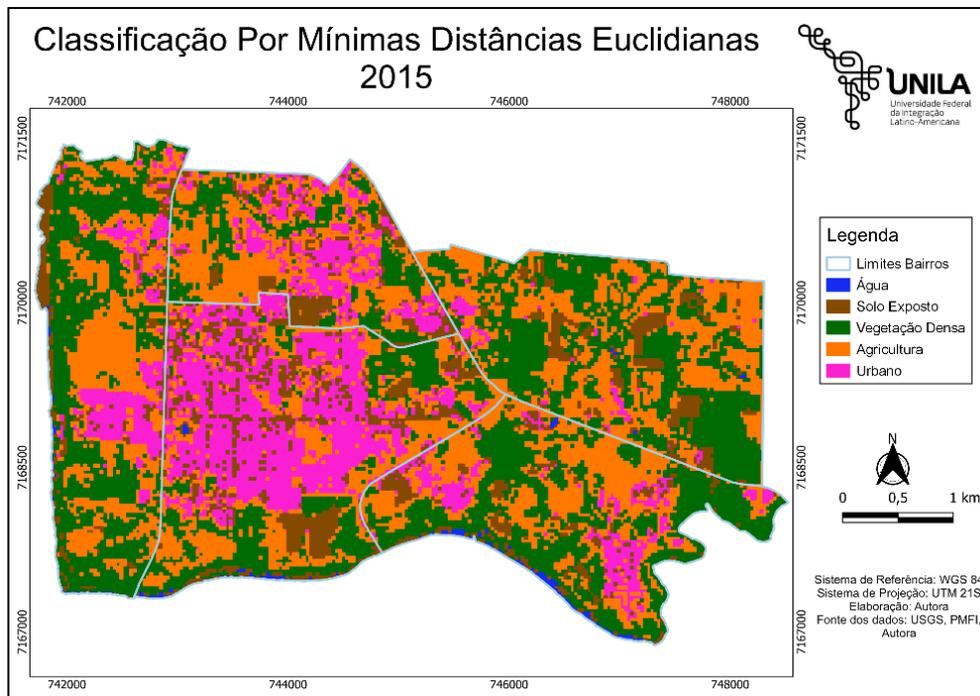
Dessa forma, analisando os resultados dos dois tipos de avaliação de acurácia das classificações (índice Kappa e Exatidão Global) e a interpretação visual dos mapas, o método de Mínimas Distâncias Euclidianas se mostrou mais assertivo para diferenciação da área urbana e foi escolhido para a continuidade da pesquisa.

## 6.2 QUANTIFICAÇÃO DAS ÁREAS

A classificação dos *pixels* geradas pelo método de mínimas distâncias resultou nos

mapas temáticos das Figuras 4 e 5 expostas a baixo.

**Figura 4:** Mapa temático classificação Mínimas Distâncias Euclidianas 2015



**Fonte:** O autor, 2023.

Para o ano de 2015, obteve-se uma área urbana de aproximadamente 4km<sup>2</sup>, resultando em cerca de 19% da área total de 21,36 Km<sup>2</sup>. As áreas de agricultura e vegetação somam juntas quase 70% da área total da região estudada, o que pode ser explicado pela presença do rio Paraná limitando lado leste do bairro Três Fronteiras e o rio Iguaçu traçando a fronteira sul dos bairros Três Fronteiras, Porto Meira e Carimã, além da alta atividade agrícola ser uma característica marcante da região Oeste do estado do Paraná. A área de solo exposto foi de 2,56 Km<sup>2</sup> neste ano, podendo ser tanto áreas de plantações recém colhidas ou em tempo de recuperação de solo, quanto futuros agrupamentos urbanos. A contribuição de cada bairro para cada classe urbana pode ser observada na Tabela 5 a seguir, assim como o total da área de cada classe.

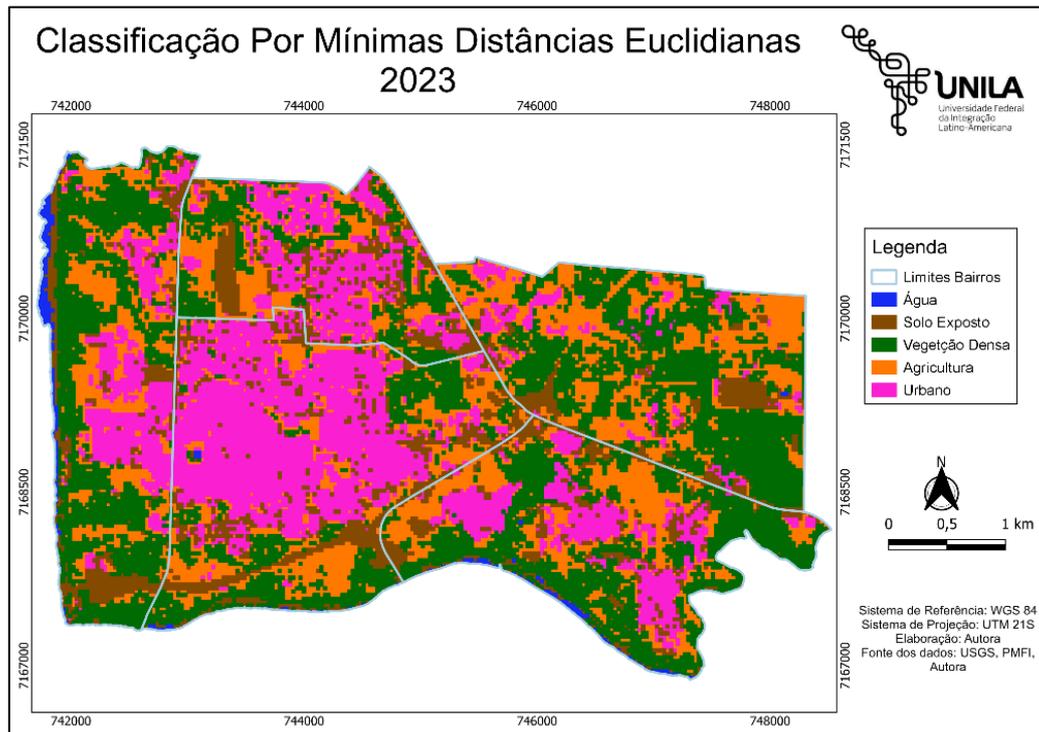
**Tabela 5:** Quantificação das áreas, em km<sup>2</sup>, de cada tipo de uso de solo por bairro para o ano de 2015.

Classes/Bairro	Porto Meira	Mata Verde	Carimã	Bourbon	Três Fronteiras	Total	Total %
Água	0,042	0,004	0,074	0,000	0,023	0,143	0,7%
Solo Exposto	0,965	0,470	0,327	0,411	0,392	2,565	12,0%
Vegetação Densa	1,024	1,937	1,674	0,624	1,787	7,046	33,0%

<b>Agricultura</b>	1,382	1,934	1,538	1,238	1,546	7,637	35,8%
<b>Urbano</b>	2,254	0,093	0,478	0,640	0,504	3,969	18,6%
<b>Área Total</b>	5,666	4,438	4,091	2,914	4,252	21,360	100,0%

Fonte: O autor, 2023

**Figura 5:** Mapa temático Classificação por Mínimas Distâncias Euclidianas 2023



Fonte: O autor, 2023.

A classificação para o ano de 2023 resulta uma área urbana de 26% da área total da região estudada, aproximadamente 5,28Km<sup>2</sup>. As áreas de vegetação densa e agricultura, juntas, ainda são a maior parte da região, 60% ou 12,77 Km<sup>2</sup>, apesar de haver uma diminuição de cerca de 10%. Para as classes “água” e “solo exposto”, não apresentaram mudanças expressivas, ambos mantiveram suas porcentagens próximas a 1% e 13%, respectivamente, como é possível observar abaixo na Tabela 6. A tabela a seguir mostra todos os resultados da classificação da imagem do ano de 2023 para cada classe e bairro, assim como o total da região.

**Tabela 6:** Quantificação das áreas, em km<sup>2</sup>, de cada tipo de uso de solo por bairro para o ano de 2023.

Classes/Bairro	Porto Meira	Mata Verde	Carimã	Bourbon	Três Fronteiras	Total	Total %
----------------	-------------	------------	--------	---------	-----------------	-------	---------

<b>Água</b>	0,021	0,002	0,055	0,000	0,125	0,203	1%
<b>Solo Exposto</b>	0,816	0,421	0,548	0,515	0,559	2,860	13%
<b>Vegetação Densa</b>	0,872	1,967	1,509	0,579	1,632	6,559	31%
<b>Agricultura</b>	1,287	1,746	1,158	0,878	1,140	6,209	29%
<b>Urbano</b>	2,670	0,302	0,820	0,941	0,795	5,528	26%
<b>Área Total</b>	5,666	4,438	4,091	2,914	4,252	21,360	100%

Fonte: O autor, 2023.

### 6.3. ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA

Ao analisar os bairros individualmente é possível observar maior crescimento em extensão da área urbana no bairro do Porto Meira, de 0,42 km<sup>2</sup>, seguido do Carimã, com crescimento do 0,34 km<sup>2</sup> e o bairro Bourbon, aumentando sua área de uso de solo urbano em 0,30 km<sup>2</sup>. Dito isso, é importante apontar o Porto Meira enquanto bairro com maior extensão territorial e maior concentração urbana entre os bairros das duas regiões, o que leva a análise de forma percentual. A Tabela 7 mostra os resultados percentuais para cada bairro tomando como referência a área total do bairro, a área urbana do bairro em 2015 e a área urbana total da região.

**Tabela 7:** Comparações quantitativas, em porcentagem, da área urbana de cada bairro em relação a área total do bairro, a área urbana do bairro e a área urbana total da região.

Bairros		Porto Meira	Mata Verde	Carimã	Bourbon	Três Fronteiras
Porcentagem da área urbana do bairro em relação a área urbana total da região	<b>2015</b>	56,78%	2,33%	12,04%	16,14%	12,71%
	<b>2023</b>	48,30%	5,45%	14,84%	17,02%	14,39%
	<b>Diferença</b>	-8,48%	3,12%	2,80%	0,89%	1,68%
Porcentagem da área urbana do bairro em relação a área total do bairro	<b>2015</b>	39,78%	2,09%	11,68%	21,98%	11,86%
	<b>2023</b>	47,13%	6,79%	20,05%	32,30%	18,71%
	<b>Diferença</b>	7,3%	4,7%	8,4%	10,3%	6,8%
<b>Crescimento da área urbana em extensão territorial (km<sup>2</sup>)</b>		0,416	0,209	0,342	0,301	0,291
<b>Crescimento em relação a área urbana do bairro em 2015</b>		18,5%	225,5%	71,7%	47,0%	57,7%

Fonte: O autor, 2023.

Na comparação da área urbana dos bairros de 2015 e 2023, o crescimento para o Porto Meira é inferior a todos os outros bairros, com aumento de apenas 18,2% em relação a sua própria área urbana inicial. Nesta comparação, o bairro Mata Verde apresenta maior percentual de crescimento, aumentando sua área urbana em 225,5%, seguido dos bairros

Carimã, com 71,7% de crescimento, e Três Fronteiras, com aumento de 57,7%, respectivamente. Ademais, se faz necessário a comparação em porcentagem da área urbana em relação a extensão territorial total do bairro, nos mesmos marcos temporais. Nesta perspectiva, o bairro Bourbon lidera com aumento de 10,3%, passando de uma área urbana de 22,0%, da área total do bairro, para 32,3%, seguido do Carimã, que aumenta em 8,4% sua mancha urbana, e o Porto Meira, que de 39,8% de área urbanizada, em 2015, passou para 47,1%, em 2023, totalizando um aumento de 7,3%.

Com os mapas temáticos, gerados pela classificação supervisionada com o método de Mínimas Distâncias, constatou-se um crescimento, de toda a região analisada, de 1,56 Km<sup>2</sup>, significando um aumento de 39,29% em relação ao ano de 2015, a área urbana passou de 3,97 Km<sup>2</sup> para 5,53 km<sup>2</sup> em 2023, ano em que atingiu mais de 25% da área total da região. Esse aumento se deu em detrimento das áreas de “agricultura” e de “vegetação densa”, pois ambas perderam parte de sua área. Vale ressaltar que a classe “agricultura” muitas vezes não tem ligação com atividade agrícola propriamente dita, mas sim pelo solo com vegetação baixa, podendo assim, em 2015, já ser referente a preparações para novos loteamentos, o que explica a diminuição em mais de 18% desta classe.

O aumento de 0,28% da quantidade de água da região se dá principalmente pela cheia dos rios Iguazu e Paraná, fato que esbarra na quantidade de solo exposto, visto que, as margens do rio em 2023 estarem mais cobertas por água torna o aumento da classe mais expressivo, pois significa que a área de solo urbano dentro da cidade aumentou mais do que os 11,38% quantificados. Também foi possível relacionar a fase de terraplanagem em que se encontra a construção da perimetral leste com o aumento de solo exposto da região.

A seguir, as Tabelas 8 e 9 apresentam a comparação quantitativa, tanto em porcentagem quanto em km<sup>2</sup> da área da área de cada classe para a região.

**Tabela 8:** Comparação das porcentagens de cada classe de uso de solo urbano entre os anos de 2015 e 2023.

CLASSE/ANO	2015	2023	Diferença
Água	0,67%	0,95%	0,28%
Solo Exposto	12,01%	13,39%	1,38%
Vegetação Densa	32,99%	30,71%	-2,28%
Agricultura	35,75%	29,07%	-6,68%
Urbano	18,58%	25,88%	7,30%

Fonte: O autor, 2023.

**Tabela 9:** Comparação da extensão territorial e crescimento de cada classe de uso de solo urbano entre os anos de 2015 e 2023.

CLASSE	Área (km <sup>2</sup> )			Crescimento/Diminuição em relação a 2015 (%)
	2015	2023	Diferença	
Água	0,1433	0,2033	0,0600	41,88%
Solo Exposto	2,5650	2,8595	0,2945	11,48%
Vegetação Densa	7,0457	6,5593	-0,4864	-6,90%
Agricultura	7,6369	6,2094	-1,4275	-18,69%
Urbano	3,9690	5,5283	1,5593	39,29%

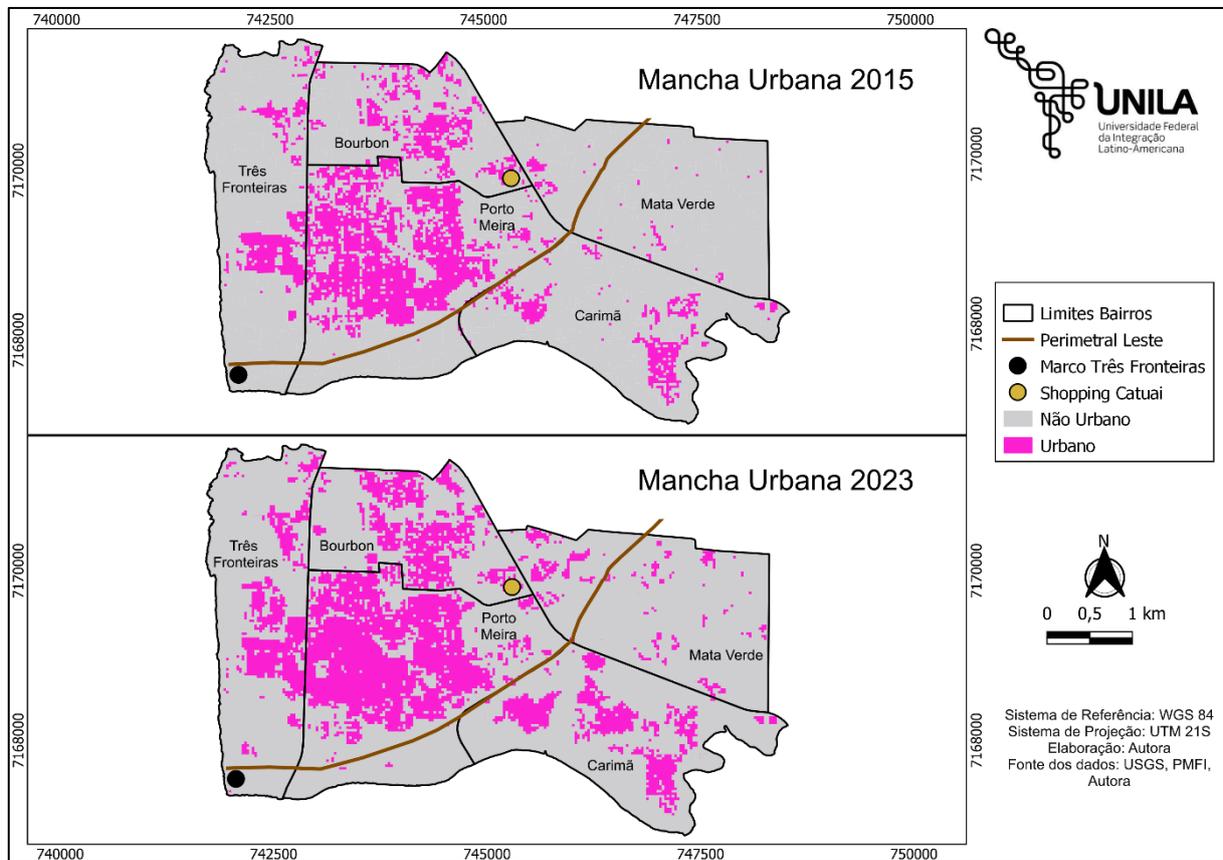
Fonte: O autor, 2023.

Segundo os dados dos censos do IBGE em 2010, a população de Foz do Iguaçu era de 256.088 pessoas, e em 2022 passou para 285.425 pessoas, na comparação entre os dados, constata-se um crescimento de 11,45% no intervalo de 12 anos. Levando em consideração que a presente pesquisa analisou as imagens do ano de 2015 e 2023, um intervalo de 8 anos dentro do período entre os censos, é possível fazer a média anual para ambos os estudos. Sendo assim, o crescimento populacional do município atingiu a média de anual de 0,95% e a região do Porto Meira e Carimã teve um crescimento anual de sua mancha urbana de 4,91%, significando um crescimento urbano expressivo da região estudada, muito acima da média de crescimento populacional da cidade. Estes dados levam a crer que houve migração intraurbana para a região do Porto Meira e Carimã motivada pelas implantações no local.

Abaixo, a Figura 6 demonstra o mapa dividido em apenas duas classes: área urbanizada e área não urbanizada, a fim de facilitar a comparação da mancha urbana da região estudada antes e depois das implantações na região. Assim, é possível identificar um crescimento da região de forma radial, consideravelmente uniforme, com centro no bairro Porto Meira, expondo uma tendência de crescimento para projeção futura do

planejamento da região.

**Figura 5:** Comparação entre as manchas urbanas entre os anos de 2015 e 2023.



**Fonte:** O autor, 2023.

Por fim, numa interpretação visual, os bairros Porto Meira e Bourbon visualiza-se pouca alteração na forma da área urbana, mas é possível identificar grande densificação das áreas urbanas já existentes.

Já nos bairros Três Fronteiras e Carimã surgem novos loteamentos e novos grandes pontos de aglomeração alterando, de fato, a forma da área urbana dos bairros em questão. O elevado crescimento urbano desses bairros pode ser associado à densificação da área mais central e comercial do Porto Meira, elevando o custo de moradia no bairro e incentivando a expansão nos bairros no seu entorno. Assim, deve-se voltar a atenção aos mesmos para que este crescimento não atinja as áreas de preservação no entorno dos rios que limitam os estes bairros. Por fim, o bairro Mata Verde, apesar de ainda apresentar a menor ocupação urbana, demonstra grande crescimento da mesma, o maior entre todos os bairros, se tomado como referencia sua propria área urbana em 2015. Este também deve receber atenção dos órgão públicos, pois tem grande potencial de crescimento devido

a implantação da Perimetral Leste que corta o bairro e ainda esta em andamento.

Ainda comparando os mapas de mancha urbana da Figura 6, é possível relacionar o crescimento de alguns bairros com o Shopping Catuaí. de antemão, o empreendimento fica localizado no bairro Bourbon, o mesmo apresenta o maior crescimento da porcentagem de área urbana em relação a área total do bairro dentre todos. No bairro Mata Verde, mesmo que os pontos de uso urbano do solo tenham se mostrado de forma espalhada é possível identificar maior concentração próximo ao Shopping, indicando que tal empreendimento fomentou a migração para o seu entorno, através da geração de empregos e da valorização da área pelo ponto de comércio e lazer.

O Marco das Três Fronteiras fica localizado no bairro Três Fronteiras, especificamente nas margens dos rios Iguaçu e Paraná. Por ser uma área de preservação ambiental não apresentou ocupação urbana significativa em seu entorno, destaque positivo pela preservação da área de mata ciliar. Além disso, o empreendimento do Marco tem proporções menores que Shopping e sua atratividade é exclusivamente turística, não sendo motivação expressiva para ocupação urbana tão próxima ao mesmo.



## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando os resultados obtidos com os métodos de processamento digital de imagens do presente trabalho pode-se afirmar que o sensoriamento remoto e a classificação das imagens por meio dos métodos de classificação supervisionada de Mínimas Distâncias e do Ângulo Espectral, apesar de serem processos relativamente demorados, geraram resultados extremamente satisfatórios, com nível de acurácia elevado e de baixa dificuldade de aplicação.

A classificação dos *pixels* gerada por estes métodos permitiu que os objetivos deste trabalho fossem atingidos, provendo dados necessários para a análise quantitativa da mudança do tipo de uso de solo, que identificou um crescimento urbano expressivo da região de estudo principalmente quando comparado ao crescimento populacional da cidade através dos dados do IBGE. Ademais, a classificação criou mapas temáticos com as classes de uso do solo fiéis a realidade da região estudada, que permitiu, através análise visual da região, verificar a forma de crescimento da mancha urbana de cada bairro e a direção em que esta mancha se expande, expondo de forma visual como os empreendimentos de grande porte influenciaram na distribuição na população.

Estas análises também identificam e apresentam a tendência de crescimento futuro da região e, de forma geral, de outras regiões que apresentem grandes implantações como as aqui estudadas, concedendo assim aos órgãos públicos a oportunidade do planejamento adequado diante da previsão de construção de novas rodovias, pontos comerciais, turísticos, de lazer e entretenimento, dada a relação destes com a motivação de um movimento populacional.

Entendendo a complexidade da análise das movimentações urbanas é preciso mencionar que para identificar o real motivo pra o crescimento urbano de uma determinada região seria necessário fazer uma análise multidisciplinar completa envolvendo história, política, economia, geografia, etc., que foge ao escopo deste trabalho, porem tem grande importância para de fato cravar as motivações e desmotivações.

Destaca-se ainda que o sensor OLI do *Landsat 8* se mostrou uma ferramenta adequada para aquisição de dados de sensoriamento remoto para análise de imagens multiespectrais com a finalidade de mapear os tipos de uso de solo, fornecendo imagens de qualidade de forma ampla e gratuita. Da mesma forma, o *software* Qgis e o *plugin* SCP se mostraram ferramentas eficientes para a análise dos dados e aplicação das técnicas de processamento digital de imagens, evidenciando a importância da informação gratuita e de

qualidade.

Em conclusão, Foz do Iguaçu, por ser uma cidade de fronteira, apresenta uma elevada população flutuante representada principalmente pelos brasileiros que optam em estudar no Paraguai, o que coloca a comparação com o crescimento populacional da cidade como um ponto de discussão. Desta forma como sugestão incentiva-se o estudo do crescimento das outras regiões da cidade, afim de comparar com o crescimento da região aqui estudada e determinar de fato se o crescimento urbano foi diferente das demais localidades do Município.

## REFERÊNCIAS

- ANGELO, Fernando Gonzaga dos Santos. Determinantes da Expansão Urbana no Brasil. 2020. 54. Dissertação (Mestrado em Economia) – Pós-Graduação em Ciências Econômicas- Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.
- ALBUQUERQUE, P. M.; ALBUQUERQUE, P. M. Processamento de Imagens: Métodos e Análises. Revista do CBPF. [S.l.]. Disponível em: <https://www.cbpf.br/cat/pdsi/pdf/ProcessamentoImagens.PDF> Acesso em 17 nov. 2022.
- ALVES, A.C.; FREITAS, I. S. F.; SANTOS, M.Q. Análise multitemporal da expansão urbana da cidade de Manaus, Amazonas, utilizando imagens de satélite. GeoSaberes. Ceará, n.11, p. 305-317, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/53631> . Acesso em : 09 nov. 2022.
- BRITO, F.; DE SOUZA, J. Expansão Urbana nas Grandes Metrôpoles: o Significado das Migrações Intermetropolitanas e da Mobilidade Pendular na Reprodução da Pobreza. São Paulo em Perspectiva. São Paulo, n.19, p. 48-63, 2005. DOI: 10.1590/S0102-88392005000400003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-88392005000400003> . Acesso em: 11 nov. 2022.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. Introdução à Ciência da Geoinformação. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/> . Acesso em: 11 nov. 2022.
- COSTA, S. O. S.; FFRANÇA, E. M. S.; LIMA, C. E. S.; LIMA, D. R. M.; GOMES, D. D. M. a Cartografia no Auxílio do Planejamento Territorial Urbano do Município de Guaranhuns-PE. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. Mato Grosso do Sul, n18, p. 1101-1108, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/13853/pdf> . Acesso em 20 nov. 2022.
- DOTA, Ednelson Mariano. Mobilidade Residencial Intrametropolitana na RM de Campinas: uma abordagem a partir da distribuição espacial dos migrantes. 2015. 234. Tese (Doutorado em Demografia) – Instituto de Filosofia em Ciências Humanas – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.
- CAMPOS, Edson Telê. A expansão Urbana na Região Metropolitana de Florianópolis e a Dinâmica da Indústria da Construção Civil. 2009.197. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós Graduação em Geografia – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- DA COSTA, S. M. F.; OLIVEIRA, I. M. Monitoramento da Expansão Urbana Utilizando Dados de Sensoriamento Remoto-Estudo de Caso. Anais Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, n10, p. 1131-1138, 2001.

FILHO, Ogê Marques; Neto, Hugo Vieira. Processamento Digital de Imagens. Rio de Janeiro: Brasport, 1999. Disponível em: <https://www.ogemarques.com/wp-content/uploads/2014/11/pdi99.pdf> . Acesso em 12 nov. 2022.

FLORENZANO, Tereza Gallotti. Iniciação em Sensoriamento Remoto. 3ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FONSECA, L. M. G.; KAMPEL, M.; KRUG, L. A.; LEÃO, C. Avaliação de métodos de classificação de imagens TM/Landsat e CDD/CBERS para o mapeamento do uso e cobertura da terra na região costeira do extremo sul da Bahia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Nº13, 2007, Florianópolis. Anais. Florianópolis: URLIB LIBRARIAN. 2007. [S.I.].

FOZ DO IGUAÇU, Lei complementar 271, de 18 de julho de 2017. Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado e Sustentável. Disponível em: <http://leismunicipa.is/vkse.h> . Foz do Iguaçu: Câmara municipal, 2017. Acesso em: 22 de novembro de 2022.

GOMES, E. S.; VESTENA, L. R. A Expansão Urbana da Cidade de Guarapuava-PR, entre 1940 e 1960. Geografia, Londrina, v27, n.2, p. 163-183, 2018.

GOMES, H. M.; QUEIROZ, J. E. R. Introdução ao Processamento Digital de imagens. RITA. [S.I.]. n.8, p. 2-31. 2001. Disponível em: <http://www.dsc.ufcg.edu.br/~hmg/disciplinas/graduacao/vc-2016.2/Rita-Tutorial-PDI.pdf> . Acesso em: 15 nov. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico 2010. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/cultura-recreacao-e-esporte/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=resultados>. Acesso em: 07 ago. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico 2022. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: 07 set. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Tendências Demográficas: uma análise da população com base nos censos demográficos de 1940 e 2000. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv34956.pdf> . Acesso em: 23 de novembro de 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manual Técnico de Uso do Solo. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

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

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. *The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data*. Biometrics 33, p.159-174. 1977.

MACEDO, D.R.; STHLER, D.; SILVA, J.C.T. Morfologia urbana e crescimento periférico nas cidades médias brasileiras: geotecnologias e inovações metodológicas aplicadas a Montes Claros, Minas Gerais. *Revista Brasileira De Estudos De População*, 39, 1–28. <https://doi.org/10.20947/S0102-3098a0206>. 2022.

MENESES, P. R. et al. *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto*. [s.d.: s.n.]. Brasília. UNB. Disponível em: <http://memoria.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8> . Acesso em: 14 nov. 2022.

MULLER, S. I. M. G. Comparação Entre os Métodos de Máxima Verossimilhança, Distância Mínima e o Médo de Fisher Para Reconhecimento de Padrões em Imagens Coloridas. *Periodicos Ciências Geodésicas*, v. 4, p.3-13, 1999.

National Aeronautics and Space Administration (NASA). *Landsat Overview*, 2021. Disponível em: [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/landsat/overview/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/landsat/overview/index.html) . Acesso em: 10 nov. 2022.

NOVO, Evelyn M. L. M. *Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos*. 1ª ed. São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisa e Estatística, 2019.

RIBEIRO, N. G. R.; PINHEIRO, R. T. Análise multitemporal da cobertura vegetal no plano diretor urbano de Palmas, Tocantins. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 1024-1046, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509843524>.

RIGATTI, D. Loteamentos, expansão e estrutura urbana. *Paisagem e Ambiente*, [S. l.], n. 15, p. 35-69, 2002. DOI: 10.11606/issn.2359-5361.v0i15p35-69. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/40195> . Acesso em: 15 nov. 2022.

ROSSETTI, Lucimara Aparecida Franco Garcia Tomad. *Geotecnologias aplicadas à caracterização e mapeamento das alterações da cobertura vegetal intra-urbana e da expansão urbana da cidade de rio claro (SP)*. 2007. 114. Dissertação (Mestrado em Geografia Área de organização do Espaço) - Curso de Geografia – Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 2007.

SALES, Clarissa Malard Sales. A Dinâmica do Espaço urbano: Análise da evolução da mancha urbana do Vetor norte da RMBH por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. 2010. 36. Dissertação (especialização em geoprocessamento) – Departamento de cartografia – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2010.

SOUZA, Sérgio Magno Carvalho de Souza. Expansão urbana, centralidade e constituição de subcentros no Distrito Federal. 2010. 116. Dissertação (Mestrado em Geografia Área de Gestão Territorial e Ambiental) – Curso de Geografia – Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 2010.

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