



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

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA CIVIL (PPG ECI)**

**QUANTIFICAÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E  
DEMOLIÇÃO EM FOZ DO IGUAÇU CONSIDERANDO A ANÁLISE ESPACIAL DA  
EXPANSÃO URBANA**

**JOARA DE OLIVEIRA CARDOSO PIMENTEL**

Foz do Iguaçu  
2021



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

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA CIVIL (PPG ECI)**

**QUANTIFICAÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO  
EM FOZ DO IGUAÇU CONSIDERANDO A ANÁLISE ESPACIAL DA EXPANSÃO  
URBANA**

**JOARA DE OLIVEIRA CARDOSO PIMENTEL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Fernando Adami

Foz do Iguaçu  
2021

JOARA DE OLIVEIRA CARDOSO PIMENTEL

**QUANTIFICAÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO  
EM FOZ DO IGUAÇU CONSIDERANDO A ANÁLISE ESPACIAL DA EXPANSÃO  
URBANA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. Samuel Fernando Adami  
UNILA

---

Prof. Dr. Egon Vettorazzi  
UNILA

---

Prof. Dra. Juliana Rammé  
UNILA

Foz do Iguaçu, 22 de novembro de 2021.

Catálogo elaborado pelo Setor de Tratamento da Informação  
Catálogo de Publicação na Fonte. UNILA - BIBLIOTECA LATINO-AMERICANA - PTI

P644q

Pimentel, Joara de Oliveira Cardoso.

Quantificação da geração de resíduos da construção e demolição em Foz do Iguaçu considerando a análise espacial da expansão urbana / Joara de Oliveira Cardoso Pimentel. - Foz do Iguaçu, 2021.

87 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Samuel Fernando Adami.

1. Construção civil. 2. Resíduos sólidos. 3. Geoprocessamento. 4. Google Earth Engine (plataforma). 5. MapBiomias (projeto). 6. LANDSAT (satélites). I. Adami, Samuel Fernando, Orient. II. Título.

CDU: 691(816.2)

## RESUMO

A expansão urbana, impulsionada pelo desenvolvimento econômico, estimula o crescimento da construção civil, o qual está diretamente ligado ao desenvolvimento do território. Tal cenário contribui diretamente para a produção de resíduos sólidos da construção e demolição (RCD), que cresce cada vez mais acompanhando o processo de urbanização e expansão das cidades, gerando assim, impactos negativos no meio ambiente e na sociedade. Desta forma, este trabalho, tem como objetivo quantificar o RCD produzido no território de Foz do Iguaçu entre 1973 a 2020, para tal, realizou-se a análise de produção de RCD em função da expansão urbana presente na cidade. A quantificação da área urbana, desde 1973 até o ano de 2020, foi realizada utilizando diferentes metodologias associadas ao geoprocessamento. Utilizou-se a plataforma do Google Earth Engine (GEE) para processar imagens orbitais do satélite Landsat por meio de índices espectrais, como por exemplo, o NDBI (*Normalized Diferencial Build Index*). Foram utilizados também, o programa Qgis e a plataforma Mapbiomas Brasil. Após determinar a expansão urbana anual, foram realizadas correlações estatísticas entre as áreas urbanas e o número de ligações de água desde 2001, e o número de inscrições imobiliárias desde 2004. Esses dados, foram obtidos por meio do Sistema Nacional de Informação de Saneamento (SNIS) e da prefeitura de Foz do Iguaçu, respectivamente. Após a obtenção de valores de correlação superiores a 99%, estimou-se a quantidade de RCD gerados anualmente na cidade de Foz do Iguaçu. Tendo como resultado diversas análises relacionadas à variação de crescimento da área urbana, florestal e dos corpos hídricos, associando-os aos principais eventos históricos, políticos e sociais ocorridos na cidade de Foz do Iguaçu.

**Palavras-chave:** Mancha Urbana, RCD, Landsat, Google Earth Engine, MapBiomas

## ABSTRACT

Urban expansion, improved by economic development, stimulates the growth of civil construction, which is directly linked to the development of the territory. This scenario directly contributes to the production of solid waste from construction and demolition (CDW), which grows increasingly following the process of urbanization and expansion of cities, thus generating negative impacts on the environment and society. In this way, this work, aims to quantify the production of CDW in the territory of Iguassu Falls between 1973 and 2020, for this, an analysis of production of CDW was carried out according to the urban expansion present in the city. The quantification of the urban area, from 1973 to the year 2020, was carried out using different methodologies associated with geoprocessing. The Google Earth Engine (GEE) platform was used to process orbital images from the Landsat satellite through spectral indices, such as the NDBI (Normalized Differential Build Index). The Qgis program and the Mapbiomas Brasil platform were also used. After determining the annual urban expansion, statistical correlations were made between urban areas and the number of water connections since 2001, and the number of built registrations since 2004. These data were obtained through the National Sanitation Information System (SNIS) and the municipality of Iguassu Falls, respectively. After obtaining correlation values greater than 99%, the amount of CDW generated annually in the city was estimated. Resulting in several analyzes related to the growth variation of the urban, forest and water bodies areas, associating them with the main historical, political and social events of the Iguassu Falls city.

**Key words:** Urban Spot. Mapping, CDW, Landsat, Google Earth Engine, MapBiomias.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Produção de RCD por região.....	23
Figura 2: Planos de gerenciamento de resíduos. ....	25
Figura 3: Taxa de crescimento da população do Brasil.....	30
Figura 4: Expansão urbana da cidade de São Paulo.....	31
Figura 5: Expansão urbana da cidade de Ribeirão Preto. ....	31
Figura 6: Composição do geoprocessamento. ....	33
Figura 7: Imagem da França (VIIRS <i>Day Night band</i> ). ....	42
Figura 8: Espectro eletromagnético.....	43
Figura 9: Ilustração da plataforma GEE.....	45
Figura 10: Ilustração da IDE Jupyter processando mapas com bibliotecas GEEE.....	46
Figura 11: Etapas metodológicas de classificação de infraestrutura urbana na coleção MapBiomias 5 usando mosaicos Landsat, classificação aleatória de floresta e filtros temporais.....	48
Figura 12: Plataforma MapBiomias Brasil.....	49
Figura 13: Etapas desenvolvidas.....	50
Figura 14: Fluxograma dos mapeamentos.....	51
Figura 15: Obtenção do mapa de Foz do Iguaçu de 1973.....	52
Figura 16: Delimitação da área urbana de Foz do Iguaçu por meio da identificação visual. .....	52
Figura 17: Levantamento da área construída de Foz do Iguaçu.....	53
Figura 18: Levantamento da área construída de Foz do Iguaçu de 1985 a 2020 (MabBiomias). ....	54
Figura 19: Localização da cidade de Foz do Iguaçu - PR.....	55
Figura 20: Sapeco da erva mate na região de Foz do Iguaçu. ....	56
Figura 21: Primeira delegacia de Foz do Iguaçu .....	56
Figura 22: Parque Nacional do Iguaçu e Municípios Lindeiros a Foz do Iguaçu. ....	57
Figura 23: Militares em Foz do Iguaçu.....	58
Figura 24: Construção da Ponte Internacional da Amizade.....	59
Figura 25: Comércio na região do Jardim Jupira e Vila Portes.....	59
Figura 26: Desenvolvimento do Jardim Jupira e Vila Portes em relação ao restante do território.....	60
Figura 27: Desenvolvimento da Vila A, B e C em relação ao restante do território.....	62
Figura 28: Desenvolvimento de Três Lagoas em relação ao restante do território. ....	63

Figura 29: Desenvolvimento do Campus do Iguaçu, Morumbi, Jardim São Paulo e Portal da Foz em relação ao restante do território. ....	64
Figura 30: Desenvolvimento do Centro e Porto Meira em relação ao restante do território. ....	65
Figura 31: Expansão urbana de Foz do Iguaçu em 1980. ....	66
Figura 32: Comércio em Ciudad del Este. ....	67
Figura 33: Expansão Urbana de Foz do Iguaçu. ....	69
Figura 34: Resíduos sólidos no aterro sanitário de Foz do Iguaçu. ....	71
Figura 35: Mapeamento das áreas urbanas de Foz do Iguaçu em 1973 e 1980.....	71
Figura 36: Mapeamento das áreas urbanas de Foz do Iguaçu em 1988 e 1990.....	72
Figura 37: Mapeamento das áreas urbanas de Foz do Iguaçu em 1995 e 2000.....	72
Figura 38: Mapeamento das áreas urbanas de Foz do Iguaçu em 2005 e 2010.....	73
Figura 39: Mapeamento das áreas urbanas de Foz do Iguaçu em 2015 e 2020.....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Produção diária e anual de RCD no Brasil. ....	23
Tabela 2: Produção diária por região de RCD. ....	24
Tabela 3: População Total e População Urbana Brasil .....	30
Tabela 4: Especificações do sensor MUX. ....	35
Tabela 5: Especificações do sensor WFI. ....	35
Tabela 6: Especificações do sensor WPM. ....	36
Tabela 7: Resumo dos satélites da série Sentinel. ....	37
Tabela 8: Especificações do sensor SRBV. ....	39
Tabela 9: Especificações do sensor MSS. ....	39
Tabela 10: Especificações do sensor TM. ....	40
Tabela 11: Especificações do sensor ETM+. ....	40
Tabela 12: Especificações do sensor OLI. ....	41
Tabela 13: Especificações do sensor TIRS. ....	41
Tabela 14: Classificações de áreas disponíveis na Coleção 5 do MapBiomias Brasil. ....	47
Tabela 15: Lista, descrição, estatística e acrônimo do script usado para o espaço de recursos de infraestrutura urbana na Coleção MapBiomias 5. ....	49
Tabela 16: Aumento da população urbana de Foz do Iguaçu 1953/1974 .....	61
Tabela 17: Dados utilizados na análise de correlação (validação da expansão urbana). ..	74
Tabela 18: Análise de correlação entre os dados da Tabela 17. ....	75
Tabela 19: Áreas obtidas pelo geoprocessamento e estimativa de RCD gerado. ....	76

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>2.OBJETIVOS .....</b>	<b>21</b>
2.1.OBJETIVO GERAL .....	21
2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
<b>3.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>22</b>
3.1.RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) .....	22
3.1.1.Cenário Nacional do RCD.....	22
3.1.2.Gestão e Métodos de Quantificação do RCD .....	25
3.2.CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPANSÃO URBANA .....	28
3.2.1.Cenário Nacional da Expansão Urbana .....	28
3.3.GEOPROCESSAMENTO .....	32
3.3.1.SATÉLITES DE MONITORAMENTO .....	33
3.3.1.1.CBERS –Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres .....	34
3.3.1.2.Sentinel.....	36
3.3.1.3.LANDSAT - Satélite de Sensoriamento Remoto Terrestre .....	38
3.3.2.DADOS DE LUZES NOTURNAS DA SUPERFÍCIE DA TERRA.....	41
3.3.3.ÍNDICES ESPECTRAIS.....	43
3.3.4.GOOGLE EARTH ENGINE.....	44
3.3.5.MAPBIOMAS BRASIL .....	46
3.3.5.1.Mapeamento da Infraestrutura Urbana .....	47
<b>3.METODOLOGIA.....</b>	<b>50</b>
<b>4.ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA EM FOZ DO IGUAÇU .....</b>	<b>55</b>
4.1.CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPANSÃO URBANA EM FOZ DO IGUAÇU .....	55
4.2.CENÁRIO DO RCD EM FOZ DO IGUAÇU.....	69
4.3.EXPANSÃO URBANA TEMPORAL DE FOZ IGUAÇU - PARANÁ.....	71
4.4.ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE RCD EM FUNÇÃO DA EXPANSÃO URBANA DE FOZ DO IGUAÇU .....	74
<b>5.CONCLUSÃO.....</b>	<b>78</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>82</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Através do desenvolvimento econômico e de novas tecnologias, conforme citado pelo Sistema FIRJAN (2014), observa-se no último século uma progressão expressiva no setor da construção civil, o qual está diretamente ligado ao desenvolvimento do território, com a expansão urbana das cidades e principalmente com a capacidade de produção do país.

Tal fato contribui diretamente para a produção de resíduos sólidos da construção e demolição (RCD), em expressivo de volume, o qual segundo Jin *et. al.* (2019) cresce cada vez mais conforme ocorre o processo de urbanização e expansão das cidades, gerando assim, impactos negativos no meio ambiente e na sociedade.

Segundo Hendriks e Pietersen (2000), destaca-se que a construção civil gera em torno de 50% do volume total de resíduos sólidos presentes na área urbana, influenciando assim, na deposição clandestina dos mesmos. Segundo Pinto (1999), o resíduo em questão, além de ser descartado incorretamente, não recebe uma solução adequada, contribuindo para um local propício à proliferação de diversos problemas, como doenças, vetores, contaminação de rios, entre outros.

Somando-se ao viés ambiental é possível notar, como foi apontado por Salles *et. al.* (2013), que o processo de consolidação das cidades e de seus territórios é contínuo, sendo através do uso e da ocupação do solo de modo desenfreado que cresce os conflitos existentes no mesmo. Assim, com o aumento populacional, com a expansão urbana e conseqüentemente com a produção do RCD, observa-se a necessidade direta por espaço físico, ao mesmo tempo em que, de acordo com Salles *et. al.* (2016), há uma demanda crescente pela utilização dos recursos naturais. Como consequência, tem-se a ocupação desordenada do território, gerando prováveis problemas sociais urbanos e ambientais. Tal fato também é potencializado através do descarte incorreto do RCD.

Neste contexto, o trabalho em questão analisou a relação entre a produção de RCD e a expansão urbana presente na cidade de Foz do Iguaçu por meio da metodologia desenvolvida por Pinto (1999). A expansão urbana foi quantificada utilizando imagens aerofotográficas e de sensoriamento orbital do satélite Landsat, desse 1973 até o ano de 2020. Foram realizadas análises utilizando a plataforma de geoprocessamento Google Earth Engine (GEE) para ajustar a imagem de 1973. Para a quantificação da área urbana de 1980, foram utilizadas imagens aerofotográficas pancromáticas. As imagens foram organizadas em um mosaico e a área foi quantificada por meio da análise visual das áreas

construídas utilizando o programa Qgis3.2. De 1985 até o ano de 2020, foram utilizados os mapas disponíveis na plataforma MapBiomas Brasil, que utiliza imagens do satélite Landsat por meio da plataforma GEE para processar e validar as áreas quantificadas das classificações do uso e ocupação do solo.

Posteriormente, como resultado desta pesquisa, foram comparadas as áreas urbanas anuais com outros dados que também expressam o crescimento da cidade (quantidade anual de ligações de água e a quantidade anual de inscrições imobiliárias), por meio da correlação de Pearson. Após obter valores de correlações superiores a 99%, aplicou-se o índice de  $0,15\text{t/m}^2$  construído para se estimar a quantidade de RCD gerado na cidade de Foz do Iguaçu desde 1973.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral desta pesquisa foi quantificar o RCD no território de Foz do Iguaçu entre os anos de 1973 a 2020, através da expansão urbana.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Mapear a área da expansão urbana de Foz do Iguaçu nos anos de 1973 a 2020;
- Apresentar panorama do RCD presente no território de Foz do Iguaçu;
- Contribuir para melhorias nas políticas voltadas para gerenciamento do RCD na cidade de Foz do Iguaçu.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1. RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

Conforme citado por Ângulo *et. al.* (2011), o RCD é resultado direto da construção civil, onde a mesma utiliza diversos materiais na execução de suas atividades. Segundo a resolução CONAMA nº 307 (2002), tais resíduos são provenientes de reformas, demolições, reparos, novas construções, movimentação de terra e preparação de terrenos, tendo como resultado a perda de um volume expressivo de materiais, sendo o mesmo constituído por: concreto, madeiras, argamassa, solos, rochas, tijolos, metais, brita, entre outros. Deste modo, o RCD pode ser classificado em quatro classes, sendo estas:

Classe A (RCD recicláveis como os agregados); B (RCD recicláveis para outras destinações como plásticos, papel/papelão, metais, entre outros); C (RCD sem tecnologia disponível para reciclagem e aproveitamento como o gesso) e D (RCD perigosos como tintas, solventes, óleos, fibrocimentos com amianto, entre outros). (ÂNGULO *et al.*, 2011, p. 299).

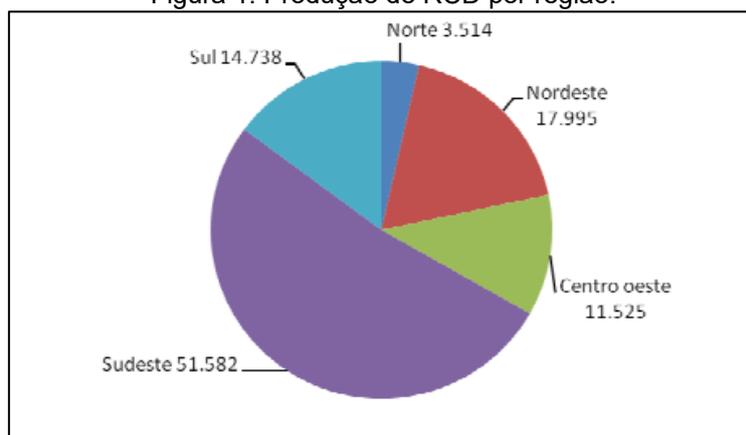
##### 3.1.1. Cenário Nacional do RCD

Analisando o contexto do RCD no cenário brasileiro, ressalta-se a presença de grandes volumes no território, além de disposições irregulares e aterros clandestinos. Para mitigação de tal fato, foi desenvolvida a Lei nº 12.305/2010, instituindo assim, a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, a qual estabelece critérios, estratégias e diretrizes gerais para o correto gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

Esta política engloba diversos fatores relacionados ao RSU, sendo os mesmos direcionados para os Estados e Municípios, estabelecendo assim, responsabilidades sobre a produção do mesmo. Vale ressaltar que está presente no PNRS um capítulo direcionado para o RCD, trazendo um panorama geral do mesmo no país.

Conforme citado no PNRS (2012), foi realizada uma pesquisa pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública (ABRELPE) em 2010, a qual indicou que a produção do RCD no Brasil era de 99.354 toneladas por dia, totalizando 36.264.210 toneladas por ano. Analisando a produção por regiões é possível observar que o sudeste tem uma alta produção, seguido pelo sul, centro oeste, nordeste e norte (Figura 1), tal fato, segundo PNRS (2012) está diretamente relacionado com o desenvolvimento econômico e social de cada região.

Figura 1: Produção de RCD por região.



Fonte: PNRS, 2012.

Segundo os dados disponibilizados pela ABRELPE (2019), foram coletados diariamente, em 2018, 122.012 toneladas de RCD, destacando um aumento de 22,8% quando comparado aos dados de 2012, gerando assim um total de 44.534.380 toneladas ao ano (Tabela 1).

Tabela 1: Produção diária e anual de RCD no Brasil.

ANO	PRODUÇÃO DIÁRIA DE RCD (t/dia)	PRODUÇÃO ANUAL DE RCD (t/ano)
2012	99.354	36.363.564
2013	117.435	42.863.775
2014	122.262	44.625.630
2015	123.721	45.158.165
2016	123.619	45.172.086
2017	123.421	45.048.665
2018	122.012	44.534.380

Fonte: Adaptado ABRELPE. 2020.

Conforme os dados disponibilizados pela ABRELPE (2019), ao se comparar a produção de RCD por regiões nota-se que houve um aumento de 34% na produção diária de RCD na Região Norte, a Região Nordeste teve um aumento de 40,88%, já a Região Centro-Oeste o aumento foi de 15,01%, a Região Sudeste teve um aumento de 23,45% e por fim a Região Sul teve um aumento de 10,23% na produção diária de RCD (Tabela 2).

Tabela 2: Produção diária por região de RCD.

ANO	PRODUÇÃO NORTE (t/dia)	PRODUÇÃO NORDESTE (t/dia)	PRODUÇÃO CENTRO-OESTE (t/dia)	PRODUÇÃO SUDESTE (t/dia)	PRODUÇÃO SUL (t/dia)
2012	3.514	17.995	11.525	51.582	14.738
2013	4.280	22.162	13.439	61.487	16.067
2014	4.539	24.066	13.675	63.469	16.513
2015	4.736	24.310	13.916	64.097	16.662
2016	4.720	24.387	13.813	63.981	16.718
2017	4.727	24.585	13.574	64.063	16.472
2018	4.709	24.123	13.255	63.679	16.246

Fonte: Adaptado ABRELPE - 2019. 2020.

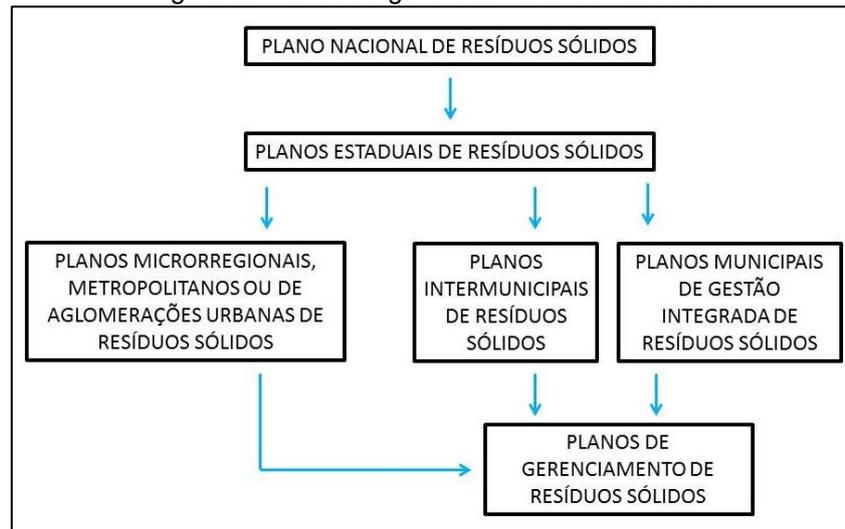
Segundo os dados do PNRS (2012), em torno de 72% dos municípios brasileiros têm serviços de manejo de RCD disponíveis para utilização, dentre estes somente 7,04% conseguem processar tal resíduo.

[...] no Brasil 124 municípios adotam a triagem simples dos RCC reaproveitáveis (classes A e B); 14 realizam a triagem e trituração simples dos resíduos classe A; 20 realizam a triagem e trituração dos resíduos classe A, com classificação granulométrica dos agregados reciclados; 79 fazem o reaproveitamento dos agregados produzidos na fabricação de componentes construtivos e 204 adotam outras formas. (PNRS, 2012, p.21).

Os dados disponíveis sobre o RCD no país ainda são escassos, sendo encontrada certa dificuldade para a estimativa do mesmo em regiões de difícil acesso e municípios pequenos, existindo assim, a “dificuldade em estabelecer estimativas de geração, tratamento e disposição final para as regiões e também em nível nacional” (PNRS, 2012, p.21).

Para facilitar o gerenciamento e o acesso de dados sobre a produção de RSU e RCD nas regiões do país, foram criados em diversas instâncias planos para o correto gerenciamento dos mesmos (Figura 2).

Figura 2: Planos de gerenciamento de resíduos.



Fonte: Autora, 2020.

Deste modo, foi possível estabelecer metas, critérios e responsabilidades sobre o RCD, além de facilitar a criação de Planos Municipais que abordam diretamente essas questões, estabelecendo assim, “metas relativas à coleta, tratamento e disposição final adequada” (PNRS, 2012, p.21), permitindo que o gerenciamento seja mais efetivo, reduzindo, reciclando e reutilizando o RCD.

### 3.1.2. Gestão e Métodos de Quantificação do RCD

A gestão do RCD é baseada na diferenciação obrigatória dos resíduos captados, onde, o mesmo apresenta as experiências de municípios brasileiros, como Belo Horizonte, Salvador, Santo André e Ribeirão Preto. Tais cidades conseguiram reduzir os problemas ambientais por meio de diversas ações que foram incorporadas em seu trabalho. A análise da experiência destes municípios demonstra que a população e os agentes coletores usuários das instalações facilitadoras da disposição sustentam sua existência, evitando assim a deposição irregular quando se têm uma solução adequada sendo oferecida para a população local (Pinto, 1999). Nessa pesquisa, é demonstrado que a diferenciação do RCD é uma das condições para a viabilização da destinação correta do mesmo, sendo enfatizadas pelo estabelecimento de áreas de reciclagem descentralizadas, evitando o contínuo reuso das áreas de bota-fora, as quais são rapidamente esgotáveis.

A pesquisa desenvolvida evidenciou que as agências oficiais desconhecem o real volume gerado de RCD, dando ênfase ao insuficiente domínio que os órgãos gestores do saneamento local têm sobre esse e outros tipos de resíduos sólidos inertes, comprometendo o planejamento de ações para mitigar esse problema (Pinto, 1999). Entre

os resultados deste estudo, está a criação de um índice que estima a geração de RCD em função da construção formal e informal. Tais índices, associados às áreas de expansão urbana da cidade de Foz do Iguaçu, permite estimar a série temporal de geração de RCD da construção forma e informal, desde anteriormente ao período da construção da Central Hidrelétrica Itaipu em 1975.

Para se estimar a área construída associada à expansão urbana da cidade de São José dos Campos, localizado no estado de São Paulo, Sakuno *et. al.* (2017) utilizaram dados de sensoriamento remoto aplicando ferramentas de geoprocessamento para automatizar o mapeamento dessas áreas. O estudo utilizou imagens multiespectrais do satélite Landsat-5 TM. A estimativa de superfícies impermeáveis foi realizada por meio de três índices: o NDBI (*Normalized Difference Built-up Index*), o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o BU (*Built-up*). Para a validação dos resultados obtidos foram utilizadas imagens ortorretificadas do satélite *Quickbird* com resolução espacial de 0,5 metros. Os resultados apresentaram boas correlações entre as áreas estimadas pelo método automatizado utilizando as ferramentas de geoprocessamento aplicando os índices apresentados e, pelo levantamento manual utilizando os dados do satélite *Quickbird*.

De acordo com Ângulo *et al.* (2011), a geração de RCD também pode ser estimada indiretamente considerando o número anual de solicitações de ligações de pontos de energia elétrica e água. Como resultados, concluíram que é possível quantificar a geração de resíduos de construção e demolição dos agentes informais utilizando dados indiretos relacionados às transformações dos pontos de água no município. Em relação aos dados de ligação de pontos de energia elétrica, os resultados apontam que possa ser utilizado com um indicador indireto mais preciso, podendo evitar a dispendiosa quantificação direta, acompanhando a entrada de resíduos em aterros sanitários.

Os dados de solicitações de ligação de pontos tanto de energia elétrica como de água, estão disponíveis no site do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SNIR). Neste trabalho, realizou-se uma comparação dos valores anuais de RCD estimados utilizado a metodologia de Pinto (1999) aplicada em áreas de expansão urbana obtidas por meio do geoprocessamento e a de Ângulo *et. al.* (2011).

Villoria-Sáez *et. al.* (2020) visando seguir as leis e regulamentos que foram criados no âmbito global para diminuir os impactos ambientais e volumes gerados pelo RCD, fez um levantamento de várias ferramentas e metodologias focadas em estimar o RCD. Tal levantamento observou que vários modelos que estimam estes resíduos levam

em consideração o RCD produzido em relação à área total do piso projetado/construído, porém se detectou que alguns modelos quantificam os mesmos de acordo com vários fatores, sendo estes: uso da construção, tipologias estruturais, tamanho das habitações ou até mesmo a combinação entre estas variáveis.

Villoria-Sáez *et. al.* (2015) em seu estudo propôs um modelo de quantificação para edifícios residenciais na Espanha, considerando o número de habitações juntamente com a área total do projeto, levando em consideração também o método construtivo. As residências analisadas tinham um padrão de construção e materiais, com fundações profundas em concreto, lajes de sentido único, telhados planos, fachadas de tijolos com isolamento em espuma, divisórias internas e placas de gesso. Deste modo, através do acompanhamento da construção, da observação da entrada e saída de materiais foi possível quantificar o total de geração de RCD em peso e volume.

O estudo feito por Kern *et al.* (2015), propôs um modelo estatístico para determinar a quantidade de RCD gerado no Brasil, em arranha-céus residenciais de 7 a 23 andares, avaliando a influência do sistema de construção do mesmo e do processo projetual. Foram utilizadas para a quantificação duas variáveis: a primeira delas avalia a geração de resíduos conforme os dados disponibilizados pelas construtoras e a segunda avalia os recursos de design e produção. Tais variáveis foram trabalhadas através de métodos estatísticos, chegando a um método de quantificação de RCD.

Llatas e Osmani (2016) desenvolveram um método de quantificação chamado *Waste Rest*, o qual auxilia na redução da quantidade de RCD na construção, através das variáveis de projeto. Tal método analisa o material e produtos a serem utilizados na obra, bem como analisa também a transformação que os mesmos sofrem no processo de construção. Deste modo, o *Waste Rest*, gera como resultado os tipos de resíduos que serão produzidos, auxiliando na redução do RCD evitando assim o desperdício.

Cheng e Ma (2013) estimam com precisão a quantidade de RCD produzido em uma obra utilizando o sistema de Modelagem de Informações (BIM), tal método visa o planejamento de uma obra através da modelagem, extraindo assim informações relevantes sobre a estimativa dos resíduos gerados, podendo auxiliar também no planejamento do canteiro de obras.

Scremin (2007) desenvolveu um sistema de apoio ao gerenciamento do RCD em municípios de pequeno porte. Por meio de uma interface interativa é possível acessar diversas funções como, por exemplo, provimento de informações referentes aos RCD pelo usuário, auxílio no diagnóstico dos RCD no município e, propostas estratégicas

para a gestão de acordo com o tipo de resíduo. O sistema foi testado por usuários em potenciais que trabalham com o manuseio e transporte de RCD. Concluiu-se que o sistema apresenta um grande potencial para auxiliar as autoridades públicas municipais no gerenciamento dos RCD para o atendimento das exigências da legislação e na conservação do meio ambiente.

Tessaro *et. al.* (2012), realizaram um diagnóstico qualitativo e quantitativo da produção de resíduos de construção e demolição no município de Pelotas-RS utilizando o sistema de gerenciamento de resíduos desenvolvido por Scremin (2007). Concluíram que, no município são produzidos 315 m<sup>3</sup> de RCD diariamente a uma taxa de geração per capita de 1,23 Kg/habitante Ano. A densidade dos RCD caracterizados foi de 1,28 ton/m<sup>3</sup>. A composição gravimétrica apontou que 88% dos RCD produzidos são de classe A, ou seja, com grande potencial de reutilização ou reciclagem.

### 3.2. CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPANSÃO URBANA

Conforme citado por Zhi *et. al.* (2011) a expansão urbana ocorre através da modificação de uma área ou região construída, a qual aumentou significativamente em um curto período histórico, transformando consideravelmente a paisagem do local.

A expansão do perímetro urbano é evidente ao se observar o aumento populacional, tal fato, segundo Lima *et. al.* (2019) enfatiza a ocupação desordenada do território, trazendo uma demanda crescente pelo planejamento urbano, deste modo, à medida que a cidade se expande é possível notar que “são aterrados córregos e lagoas, cortadas encostas e ocupadas margens de rios e áreas naturais” (Lima *et. al.*, 2019, p.2), resultando em diversos problemas ambientais. Segundo Zhi *et. al.* (2011) tal mudança no meio ambiente foi muito evidente nos últimos séculos e tende a continuar nas próximas décadas.

#### 3.2.1. Cenário Nacional da Expansão Urbana

A expansão urbana no Brasil teve um grande pico de desenvolvimento após a era colonial, devido ao fato que no decorrer desse período não havia possibilidade de serem desenvolvidas “quaisquer atividades produtivas que viessem competir com as da metrópole, ou que pudessem prejudicar seus interesses comerciais” (VAL, 2010, p.6), restringindo assim a implantação de qualquer atividade que pudessem ser desenvolvidas no local e ir contra o interesse de Portugal.

Em 1808, conforme citado por Val (2010), com o estabelecimento da família

real no país, facilitou-se o desenvolvimento territorial, possibilitando o início do crescimento industrial no local. Desse modo, gerou-se o investimento por parte de empresários “em estradas de ferro, estaleiros, empresas de transporte urbano e gás, bancos e seguradoras” (VAL, 2010, p.7), evidenciando o início da expansão urbana no Brasil.

Tal fato proporcionou diversas “mudanças estruturais na economia e na sociedade brasileira” (BRITO *et. al.*, 2005, p.48), sendo estabelecidas condições favoráveis para a implantação da produção cafeeira, ampliando “as relações mercantis entre as diferentes regiões brasileiras” (BRITO *et. al.*, 2001, p.1), intensificando assim a movimentação e o estabelecimento de diversas pessoas no território nacional.

Deste modo, havendo o aumento das indústrias no país “as cidades adquiriram uma importância que nunca tiveram antes” (VAL, 2010, p.7), porém, conforme citado por Maricato (2003), o Brasil ainda se identificava como um país arcaico, onde as cidades estavam no início de sua formação e eram prospectadas como a possibilidade de atingir melhorias e avanço em relação à vida no campo.

A mudança desse cenário somente ocorre com a proclamação da república e com o fim da escravidão incentivando “o movimento migratório campo-cidade” (MARICATO, 2003, p.152), buscando o desenvolvimento da industrialização do território e a urbanização do mesmo. Tal fato foi possível através da regulamentação do trabalho urbano, “do incentivo à industrialização, construção da infra-estrutura industrial” (MARICATO, 2003, p.152), proporcionando assim o desenvolvimento das cidades no Brasil.

Conforme citado por Maricato (2000) na virada do século XIX, inicia-se o processo de consolidação da urbanização da sociedade brasileira, sendo a mesma impulsionada pelo planejamento, reformas urbanas, oferta de saneamento básico e estratégias que visavam à eliminação de epidemias, tendo como resultado direto o crescimento populacional. Tal fato é consolidado através do investimento do Estado nas cidades, “dotando-as de uma melhor infra-estrutura urbana e de melhores condições físicas para o desenvolvimento industrial, visando atender as demandas locais” (SILVA; MACÊDO, 2009, p.3).

Entretanto, conforme citado por Santos (1996) entre 1940 e 1980 há uma enorme mudança nos números sobre o local em que a população residia até o momento (Tabela 3). O Brasil passa então, por um êxodo rural, onde a taxa de urbanização do país passa de 26,35% para 56,80%.

Tabela 3: População Total e População Urbana Brasil

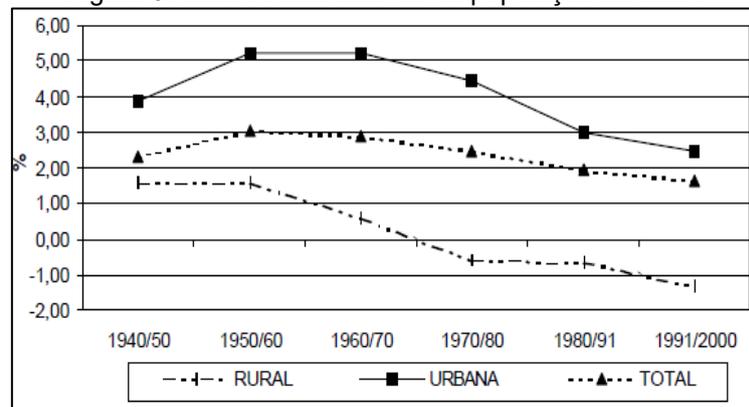
ANO DO CENSO	POPULAÇÃO TOTAL	POPULAÇÃO URBANA	ÍNDICE DE URBANIZAÇÃO	ÍNDICE DE CRESCIMENTO POPULACIONAL	ÍNDICE DE CRESCIMENTO URBANO
1900	17.438.434	-	-	-	-
1920	27.500.000	4.552.000	16,55%	43,08%	-
1940	41.326.000	10.891.000	26,35%	33,46%	37,19%
1950	51.944.000	18.783.000	36,16%	25,70%	72,46%
1960	70.191.000	31.956.000	45,52%	35,13%	70,13%
1970	93.139.000	52.905.000	56,80%	32,69%	65,55%

Fonte: Adaptado de Silva; Macêdo, 2009; apud IBGE, Censos de 1940-2000/ estimativa maio/2006.

A grande novidade, no caso brasileiro, semelhante a alguns outros países em desenvolvimento, foi a velocidade do processo de urbanização, muito superior à dos países capitalistas mais avançados. Somente na segunda metade do século 20, a população urbana passou de 19 milhões para 138 milhões, multiplicando-se 7,3 vezes, com uma taxa média anual de crescimento de 4,1%. Ou seja, a cada ano, em média, nessa última metade de século, 2.378.291 habitantes eram acrescentados à população urbana. (BRITO; SOUZA, 2005, p.49)

Conforme citado por Brito e Souza (2005), tal crescimento faz parte do contexto do ciclo de expansão, que até o momento ocorria no território brasileiro, sendo este impulsionado pelas migrações internas (Figura 3). Deste modo, entre os anos 60 e 80, estima-se que 43 milhões de pessoas mudaram do campo para a cidade, causando um enorme deslocamento populacional, além de transformar as dimensões das cidades, influenciou diretamente nas mudanças estruturais do território.

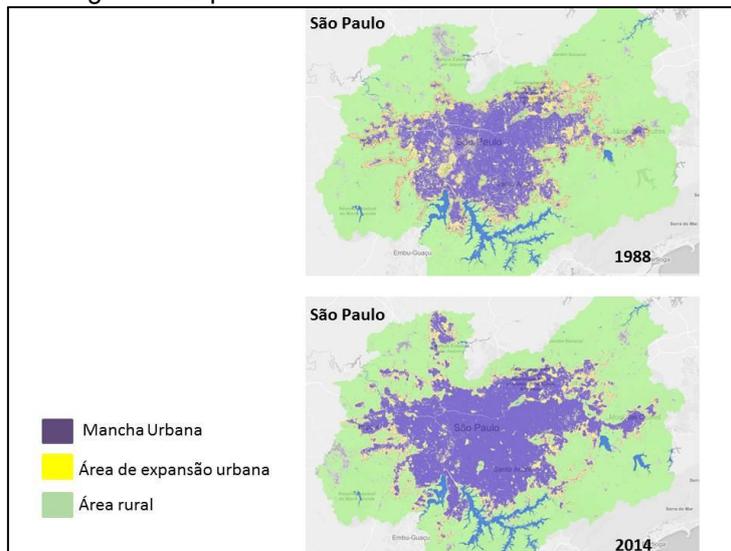
Figura 3: Taxa de crescimento da população do Brasil



Fonte: BRITO *et. al.*, 2001.

Posteriormente a década de setenta, “houve um acentuado declínio de ritmo de crescimento da população urbana, que foi suavizado nos anos noventa” (BRITO *et. al.*, s.d., p.5), ressaltando a diminuição da migração campo-cidade a qual era presente até o momento. Deste modo, observa-se que a expansão urbana “caminhava na direção de uma grande concentração da população nas grandes cidades, principalmente naquelas com mais de 500 mil habitantes” (BRITO *et. al.*, s.d., p.6), como era o caso de grandes centros como São Paulo (Figura 4).

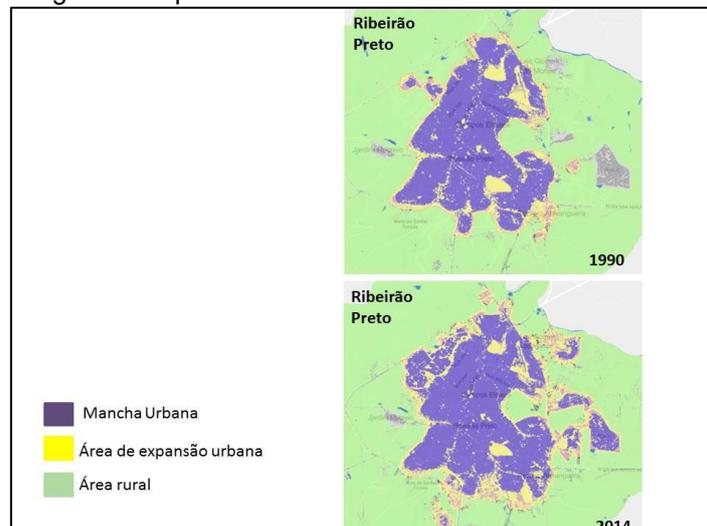
Figura 4: Expansão urbana da cidade de São Paulo.



Fonte: Adaptado de *Atlas of Urban Expansion – São Paulo*. 2020.

Após esta década, até os dias atuais, a expansão assume um novo padrão, sendo mais perceptível em cidades com 100 mil a 500 mil habitantes, como era o caso da cidade de Ribeirão Preto (Figura 5).

Figura 5: Expansão urbana da cidade de Ribeirão Preto.



Fonte: Adaptado de *Atlas of Urban Expansion – Ribeirão Preto*. 2020.

### 3.3. GEOPROCESSAMENTO

Com o aparecimento dos primeiros computadores em 1940, houve, de acordo com Hamada et al. (2007), um ambiente propício para a rápida evolução dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Tal fato contribuiu para que os mapas e documentos que eram até então feitos em papel, pudessem ser representados em um ambiente computacional, impulsionando o desenvolvimento do geoprocessamento.

Deste modo, conforme citado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2001), vários países buscavam automatizar seu sistema de processamento de dados. Nesse cenário, o primeiro SIG foi desenvolvido no Canadá em 1960, o qual desenvolveu seu sistema visando

[...] criar um inventário de recursos naturais. Estes sistemas, no entanto, eram muito difíceis de usar: não existiam monitores gráficos de alta resolução, os computadores necessários eram excessivamente caros, e a mão de obra tinha que ser altamente especializada e caríssima. Não existiam soluções comerciais prontas para uso, e cada interessado precisava desenvolver seus próprios programas, o que demandava muito tempo e, naturalmente, muito dinheiro (INPE, 2001, p.1-2).

Estas restrições fizeram com que, em 1970, fossem “desenvolvidos novos e mais acessíveis recursos de hardware” (INPE, 2001, p.1-2), padronizando e tornando viável a utilização dessa nova tecnologia para grandes organizações, ao mesmo tempo em que foram disponibilizados para o mercado novos programas de modelagem gráfica, melhorando “muito as condições para a produção de desenhos e plantas para engenharia” (INPE, 2011, p.1-2).

Com o avanço dessa tecnologia, o marco desse acontecimento trouxe diversos pontos positivos, sendo estes: “os refinamentos na técnica cartográfica, o rápido desenvolvimento dos sistemas computacionais digitais e a revolução quantitativa na análise espacial” (HAMADA et al., 2007, p.12), permitindo assim, a representação e análise das informações utilizando técnicas matemáticas e estatísticas, possibilitando “realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados geo-referenciados” (INPE, 2001, s.p.), além de viabilizar o armazenamento digital, facilitando o acesso às informações.

Em 1980, iniciou-se um grande crescimento na utilização do SIG

[...] devido a dois fatores principalmente: o desenvolvimento significativo dos microprocessadores, que permitiram a redução de custos e a concentração de

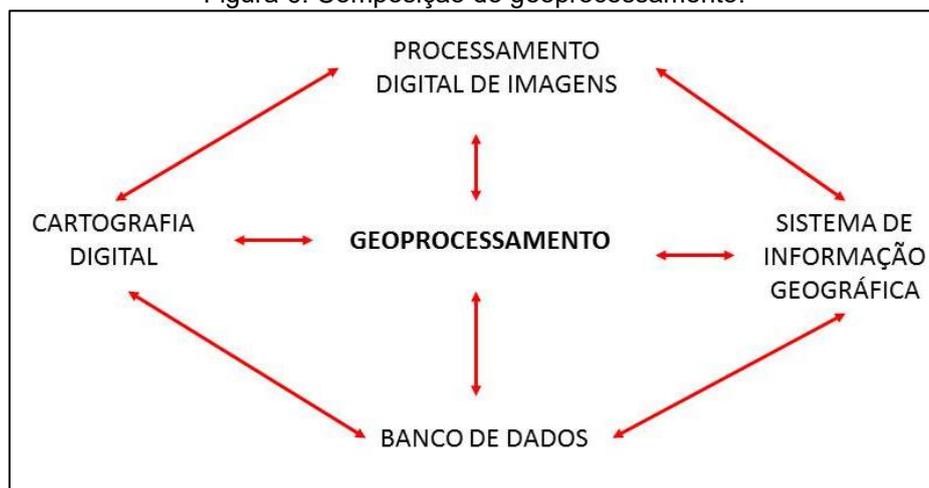
grande quantidade de memória em “chips” muito pequenos e, ainda, a proliferação de “softwares” de baixo custo, muitos deles disponíveis para computadores pessoais (PCs). Esses fatores propiciaram a emergência comercial do SIG como uma nova tecnologia de processamento de informações, oferecendo capacidades únicas de automação, gerenciamento e análise de uma variedade de dados espaciais (HAMADA et al., 2007, p.13).

Atualmente, conforme citado pelo INPE (2001, p. 1-3), é possível observar que o SIG vem sendo amplamente utilizado em vários âmbitos por diversas empresas, sendo impulsionado também pela minimização dos custos dos hardwares, dos softwares e pela facilidade na construção da base de dados geográficos.

Deste modo, segundo Pérez-Machado (2014), o SIG atrelado ao geoprocessamento propõe uma leitura clara do espaço possibilitando uma visão sistêmica sobre os dados coletados, tendo como resultado direto imagens e mapas que traduzem a realidade, contribuindo diretamente, conforme citado por Stassun (2009), para diversas tomadas de decisões, principalmente quando se trata de assuntos relacionados à gestão territorial.

Assim, pode-se dizer que o geoprocessamento é “o conjunto de tecnologias destinadas à coleta e tratamento de informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações” (ROSA, 2013, p. 63), conforme a Figura 6.

Figura 6: Composição do geoprocessamento.



Fonte: Adaptado de ROSA, 2013.

### 3.3.1. SATÉLITES DE MONITORAMENTO

Os satélites de monitoramento são equipamentos tecnológicos, cujo desenvolvimento envolve diversas áreas do conhecimento, incluindo física, química,

eletrônica, telecomunicações, ciências da computação, ciências da terra, entre outras. Esses equipamentos são lançados na órbita terrestre e realizam o mapeamento da superfície do planeta por meio de diversos sensores.

De acordo a EMBRAPA (2021), atualmente, existem mais de 30 satélites ativos frutos de missões que envolvem empresas privadas, instituições e governos de diferentes países.

Entre as principais missões cujos dados são disponibilizados gratuitamente estão: CBERS, SENTINEL e LANDSAT.

#### 3.3.1.1. CBERS –Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres

Em 1988, os governos do Brasil e China assinaram um acordo envolvendo o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e CAST (Academia Chinesa de Tecnologia Espacial). O acordo previa o desenvolvimento de dois satélites de sensoriamento remoto, denominado Programa CBERS.

Em 2002, os governos assinaram outro acordo prevendo a continuação do programa com o lançamento de dois novos satélites, os CBERS-3 e 4. Porém, no mesmo período, o satélite CBERS-2 parou de funcionar. Então, em 2004, construíram o CBERS-2B, lançado em 2007 para substituir o horizonte em que o CBERS-2 parou de mapear.

O CBERS-3 foi lançado em dezembro de 2013, mas devido a uma falha ocorrida com o veículo lançador, o satélite não foi colocado na órbita prevista e retornou para a Terra.

Após a falha do lançamento, do CBERS-3, os governos, anteciparam o lançamento do CBERS-4, que ocorreu em dezembro de 2014 na base de Taiyuan, localizada a 500 km de Pequim.

Dando continuidade ao programa, em dezembro de 2019, foi lançado o CBERS-4A. Embora seja semelhante ao CBERS-3 e 4, o CBERS-4A teve melhorias na câmera imageadora chinesa, em relação a resolução geométrica e espectral disponível nas versões anteriores.

O CBERS-4A possui os sensores: MUX, WFI e WPM. A descrição de cada sensor é apresentada subsequentemente.

- **MUX (Câmera Multiespectral)**

Este sensor possui uma resolução espacial de 16,5 m. O tempo de revisita é de 31 dias e a área imageada é de 95 Km. Na Tabela 4 são apresentadas as especificações desse sensor.

Tabela 4: Especificações do sensor MUX.

Sensor	ID da banda	Banda Espectral	Resolução Espectral ( $\mu\text{m}$ )	Resolução Temporal	Resolução Espacial (Nadir)	Largura da Faixa Imageada
Câmera Multiespectral (MUX)	B5	Azul	0,45 - 0,52	31 dias	16,5 m	95 km
	B5	Verde	0,52 - 0,59			
	B7	Vermelho	0,63 - 0,69			
	B8	Infravermelho próximo (NIR - sigla em inglês)	0,77 - 0,89			

Fonte: IMPE, 2021.

- **A WFI (Câmera de Campo Largo)**

Este sensor tem a propriedade de fazer rápidas revisitas. Em geral em menos de cinco dias. Com isso, atividades de monitoramento e vigilância podem ser mais apropriadamente executadas. Na Tabela 5 são apresentadas as especificações desse sensor.

Tabela 5: Especificações do sensor WFI.

Sensor	ID da banda	Banda Espectral	Resolução Espectral ( $\mu\text{m}$ )	Resolução Temporal	Resolução Espacial (Nadir)	Resolução Radiométrica	Largura da Faixa Imageada
WFI (CBERS-4A)	B13	Azul	0,45 - 0,52	5	55 M	10 bits	866 Km
	B14	Verde	0,52 - 0,59				
	B15	Vermelho	0,63 - 0,69				
	B16	Infravermelho próximo (NIR - sigla em inglês)	0,77 - 0,89				

Fonte: IMPE, 2021.

- **WPM (Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura)**

A WPM foi desenvolvida pela China e embarcada no CBERS-4A. Possui 5 bandas espectrais, que operam no intervalo de 0,45 a 0,90 $\mu\text{m}$  sendo uma pancromática com resolução espacial de 2 metros e outras 4 bandas multiespectrais com 8 metros de resolução. Na Tabela 6 são apresentadas as especificações desse sensor.

Tabela 6: Especificações do sensor WPM.

Sensor	ID da banda	Banda Espectral	Resolução Espectral ( $\mu\text{m}$ )	Resolução Temporal	Resolução Espacial (Nadir)	Largura da Faixa Imageada
WPM	P	Pancromática (espectro visível em escala de cinza)	0,45 - 0,90	31 dias	2 m	92 km
	B1	Azul	0,45 - 0,52	10 dias	8 m	
	B2	Verde	0,52 - 0,59			
	B3	Vermelho	0,63 - 0,69			
	B4	Infravermelho próximo (NIR - sigla em inglês)	0,77 - 0,89			

Fonte: IMPE, 2021.

A principal função da câmera é manter a continuidade dos imageamentos feitos pelos CBERS anteriores. Apresenta algumas diferenças em relação à lançada no satélite CBERS4, sendo as principais: alteração da resolução espacial para 16,5 m, tempo de revisita passou a ser de 31 dias e a área imageada foi alterada para 95 km como efeito da redução da altitude do satélite em relação a órbita terrestre.

### 3.3.1.2. Sentinel

A série Sentinel começou a ser lançado em 2014 e foi desenvolvido a partir de um projeto da Agência Espacial Europeia (ESA) dentro do Programa Copernicus. Esta série tem o objetivo de continuar antigas missões gerenciadas pela ESA, como por exemplo: ERS, ENVISAT e SPOT, monitorar os recursos naturais terrestres, o uso e ocupação das terras, os ambientes marinhos, clima e desastres naturais.

Os satélites SENTINEL-1 são responsáveis pelo monitoramento terrestre e oceânico levando a bordo sensores de radar. O par de satélites SENTINEL-2 foram desenvolvidos para realizar o monitoramento da vegetação, solos e áreas costeiras. Foram equipados com sensor óptico de alta resolução espacial. Já a terceira série (SENTINEL-3), realiza o monitoramento marinho e carrega sensores ópticos e radares. As séries 4 e 5 são aplicadas ao monitoramento da qualidade do ar. Atualmente, a missão Sentinel possui 7 satélites em órbita. Na Tabela 7 são apresentados detalhes de cada satélite.

Tabela 7: Resumo dos satélites da série Sentinel.

Satélite Sentinel	1A	1B	2A	2B	3A	3B	5P
<b>Lançamento</b>	04/2014	04/2016	06/2015	03/2017	02/2016	04/2018	10/2017
<b>Período de Revisita</b>	12 dias	12 dias	5 dias	5 dias	27 dias	27 dias	16 dias
<b>Tempo de Vida Projetado</b>	12 anos	12 anos	12 anos	12 anos	7 anos	7 anos	7 anos
<b>Sensores</b>	SAR	SAR	SAR MSI	SAR MSI	OLCI SLSTR	OLCI SLSTR	TROPOMI

Fonte: Adaptado de EMBRABA, 2021.

As especificações dos sensores da série Sentinel são apresentados a seguir.

- **SAR - SYNTHETIC APERTURE RADAR (Radar de abertura sintética)**

Este sensor é usado para criar modelos digitais da superfície terrestre. Está a bordo dos quatro primeiros satélites da série Sentinel. A frequência que o radar emite está entre 8 e 4 GHz ou 3,8 – 7,5 cm (Banda C). Essa frequência é baixa e não é barrada pela atmosfera terrestre. O radar tem suporte para polarização de HH+HV, VV+VH e HH com uma resolução espacial de 5 metros e resolução radiométrica de 10 bits.

- **MSI - Multispectral Imager (Imagens Multiespectrais)**

O sensor MSI foi lançado nos satélites Sentinel-2A e 2B. Possui resolução espacial de 10 m e é dividido em 12 bandas espectrais, variando de 0,44 µm até 2,20 µm.

- **OLCI - Ocean and Land Color Instrument (Instrumento de medição de cor de terra e oceano)**

Trata-se de um espectrorradiômetro que realiza a medição da radiação solar refletida pela Terra com resolução espacial de 300m, dividido em 21 bandas espectrais variando de 0,40 µm até 1,04 µm. Seu principal objetivo é monitorar o uso e ocupação das terras e as áreas oceânicas.

- **SLSTR - Sea and Land Surface Temperature Radiometer (Radiômetro de temperatura da superfície do mar e da terra)**

Esse sensor está a bordo do satélite Sentinel-3A e 3B. Realiza a medição da temperatura da superfície terrestre, massas d'água e terra. Fornece informações sobre clima e temperatura para aplicações meteorológicas. As bandas do espectro visível

possuem resolução de 500m e variam de 0,55  $\mu\text{m}$  até 2,25  $\mu\text{m}$ . Já as bandas termais, possuem resolução de 1 Km e variam de 3,74  $\mu\text{m}$  até 10,85  $\mu\text{m}$ .

### 3.3.1.3. LANDSAT - Satélite de Sensoriamento Remoto Terrestre

O programa LANDSAT iniciou na década de 60, por meio de um projeto desenvolvido pela Agência Espacial Americana dedicado à observação dos recursos naturais terrestres. Inicialmente, a missão foi denominada *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS) e em 1975 passou a se chamar Landsat.

O primeiro satélite, denominado ERTS-1 ou Landsat-1, foi lançado em 1972 e levou dois instrumentos a bordo: as câmeras RBV (*Return Beam Vidicon*) e MSS (*Multispectral Scanner System*). Esses mesmos instrumentos foram inseridos no Landsat- 2, lançado em 1975, no Landsat-3, lançado em 1978.

O Landsat-4 começou a operar em 1982, com os sensores MSS e TM (*Thematic Mapper*). O Landsat-5 entrou em órbita dois depois com os mesmos sensores do L4 (Landsat-4).

Em 1993 o Landsat-6 não conseguiu atingir a órbita terrestre, devido à problemas durante o lançamento. O L6 tinha sido projetado com o sensor ETM (*Enhanced Thematic Mapper*), com configurações semelhantes ao seu antecessor, com a inovação da inclusão da banda 8 pancromática com 15 metros de resolução espacial.

Em 1999, foi lançado Landsat-7 com o sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*). Esse instrumento ampliou as possibilidades de uso dos produtos Landsat, oferecendo a versatilidade e eficiência quando comparado com as versões anteriores. A resolução espacial da banda 6 (infravermelho termal) foi ampliada para 60 metros. A banda pancromática permitia a geração de composições coloridas com 15 metros de resolução.

Em 2003, o hardware do L7 apresentou problemas e começou a operar com o espelho corretor de linhas (SLC) desligados. Embora continue enviando dados até hoje, para serem utilizados, estes devem ser corrigidos e a passar por análises de acurácia no posicionamento e calibração dos pixels.

O L7 enviou dados completos para a Terra até 2003, quando apresentou avarias de hardware e começou a operar com o espelho corretor de linha (SLC) desligado. Desde então, as imagens continuam adquiridas e enviadas para a Terra, mas para torná-las aptas à utilização necessitam de correções prévias e análise de acurácia no posicionamento e calibração dos pixels.

Em 2013, ocorreu o lançamento do Landsat-8 que opera com os sensores

OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). O sensor OLI dá continuidade aos dados gerados pelos sensores TM e ETM+ dos satélites anteriores.

As especificações dos sensores a bordo dos satélites da série Landsat são apresentados a seguir.

- **SRBV - Return Beam Vidicon (Feixe de retorno Vidicon)**

O sensor RBV está presente nos três primeiros satélites da série Landsat. As câmeras capturavam imagens diurnas com revisitas de 18 dias. Nos dois primeiros satélites (L1 e L2), o sensor RBV operou no modo multiespectral, com três canais nas regiões do visível e infravermelho próximo e resolução espacial de 80 metros, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8: Especificações do sensor SRBV.

Sensor	ID da banda	Banda Espectral	Resolução Espectral ( $\mu\text{m}$ )	Resolução Temporal	Resolução Espacial
SRBV	Canal 1	Azul/Verde	0,475 - 0,575	18 dias	80 m
	Canal 2	Verde/Vermelho	0,580 - 0,680		
	Canal 3	Vermelho / Infravermelho Próximo	0,690 - 0,830		

Fonte: Adaptado de EMBRABA, 2021.

- **MSS - Multispectral Scanner System**

O sensor MSS está presente nos cinco primeiros satélites da série Landsat. As suas especificações são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9: Especificações do sensor MSS.

Sensor	ID da banda	Banda Espectral	Resolução Espectral ( $\mu\text{m}$ )	Resolução Temporal	Resolução Espacial	Resolução Radiométrica	Largura da Faixa Imageada
MSS	B4	Verde	0,5 - 0,6	18 dias (L1- L3) 16 dias (L4-L5)	57 x 79 m	6 bits (L1-L3) 8 bits (L4-L5)	185 Km
	B5	Vermelho	0,6 - 0,7				
	B6	Infravermelho Próximo	0,7 - 0,8				
	B7	Infravermelho Próximo	0,8 - 1,1				
	B8	Infravermelho Termal	10,41 - 12,6				

Fonte: Adaptado de EMBRABA, 2021.

- **TM - Thematic Mapper**

O sensor TM está presente no L4 e L5. Operou com 7 bandas espectrais, desde a região do visível, passando pelo infravermelho próximo, médio, até o termal. As suas especificações são apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10: Especificações do sensor TM.

Sensor	ID da banda	Banda Espectral	Resolução Espectral ( $\mu\text{m}$ )	Resolução Espacial (Nadir)	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica	Largura da Faixa Imageada
TM	B1	Azul	0,45 - 0,52	30 m	16 dias	8 bits	185 Km
	B2	Verde	0,52 - 0,6				
	B3	Vermelho	0,63 - 0,69				
	B4	Infravermelho Próximo	0,76 - 0,9	120 m			
	B5	Infravermelho Médio	1,55 - 1,75				
	B6	Infravermelho Termal	10,4 - 12,5	30 m			
	B7	Infravermelho Médio	2,08 - 2,35				

Fonte: Adaptado de EMBRABA, 2021.

- **ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*)**

Este sensor está a bordo do satélite Landsat 7. Foi o sucessor operacional do sensor TM. Houve a ampliação da resolução espacial da banda 6 (infravermelho termal) para 60 metros e viabilizou a banda pancromática, o que permitiu a geração de composições coloridas com 15 metros de resolução. Em maio de 2003 o sensor apresentou problemas de funcionamento e a partir dessa data, as cenas do Landsat-7, são enviadas em modo *SLC-Off*. Para serem utilizadas necessitam de correções prévias e análise de acurácia no posicionamento e calibração dos pixels. As suas especificações são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11: Especificações do sensor ETM+.

Sensor	ID da banda	Banda Espectral	Resolução Espectral ( $\mu\text{m}$ )	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica	Largura da Faixa Imageada
ETM+	B1	Azul	0,45 - 0,515	30 m	16 dias	8 bits	185 Km
	B2	Verde	0,525 - 0,605				
	B3	Vermelho	0,63 - 0,69				
	B4	Infravermelho Próximo	0,76 - 0,9	60 m			
	B5	Infravermelho Médio	1,55 - 1,75				
	B6	Infravermelho Termal	10,4 - 12,5	30 m			
	B7	Infravermelho Médio	2,09 - 2,35				
	B8	PANCROMÁTICO	0,52 - 0,90	15 m			

Fonte: Adaptado de EMBRABA, 2021.

- **OLI - *Operational Land Imager***

Este sensor está presente no Landsat-8 e possui bandas espectrais desde a faixa do visível, passando pelo infravermelho próximo, até o infravermelho de ondas curtas. Possui também, uma banda pancromática. As suas especificações são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12: Especificações do sensor OLI.

Sensor	ID da banda	Banda Espectral	Resolução Espectral ( $\mu\text{m}$ )	Resolução Espacial (Nadir)	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica	Largura da Faixa Imageada
OLI	B1	Costal	0,433 - 0,453				
	B2	Azul	0,45 - 0,515				
	B3	Verde	0,525 - 0,60				
	B4	Vermelho	0,63 - 0,68	30 m			
	B5	Infravermelho Próximo	0,845 - 0,885		16 dias	12 bits	185 Km
	B6	Infravermelho Médio	1,56 - 1,660				
	B7	Infravermelho Médio	2,10 - 2,30				
	B8	PANCROMÁTICO	0,50 - 0,680	15 m			
	B9	Cirrus	1,360 - 1,390	30 m			

Fonte: Adaptado de EMBRABA, 2021.

- **TIRS - Thermal Infrared Sensor**

Este sensor possui bandas espectrais na faixa do infravermelho termal. Oferece continuidade à aquisição de dados dos sensores TM e ETM+. As suas especificações são apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13: Especificações do sensor TIRS.

Sensor	ID da banda	Banda Espectral	Resolução Espectral ( $\mu\text{m}$ )	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica	Largura da Faixa Imageada
TIRS	B10	LWIR 1	10,30 - 11,30	100 m	16 dias	12 bits	185 Km
	B11	LWIR 2	11,50 - 12,50				

Fonte: Adaptado de EMBRABA, 2021.

### 3.3.2. DADOS DE LUZES NOTURNAS DA SUPERFÍCIE DA TERRA

As atividades antropogênicas, como a iluminação elétrica de centros populacionais e a queima de gás em campos de petróleo, iluminam a superfície da terra.

As luzes noturnas (NTL – sigla em inglês referente ao termo *nighttime lights*), podem ser capturadas pelos satélites do programa Meteorológico da Defesa da Força Aérea dos Estados Unidos. Por estarem intimamente relacionados com a atividade humana, esses dados fornecem informações importantes para identificar com precisão as áreas construídas e eliminar a interferência de terrenos nus (BENNETT, 2017).

O sistema de Varredura de Linhas Operacionais (DMSP-OLS) e seu sucessor, a *Suomi National Polar-orbiting Partnership (Suomi NPP)*. DMSP-OLS é uma constelação de satélites meteorológicos militares originalmente projetados para detectar nuvens à noite. Depois de sua desclassificação em 1972, os cientistas perceberam a capacidade do sensor OLS de gerar imagens com o brilho das luzes das cidades, queima

de gás, frotas de pesca e outras características iluminadas (BENNETT, 2017; *apud* CROFT, 1978). Inicialmente, as aplicações socioeconômicas das imagens NTL eram limitadas. Entre o final da década de 1970 e o início da década de 1990, apenas alguns estudos utilizando os dados foram publicados. Os estudos sistemáticos usando NTL iniciaram em 1992, quando o Centro de Dados de Geociência Nacional da Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (NOAA /NGDC), criou um arquivo digital de dados DMSP-OLS, com espaço temporal de 1992 a 2013. Infelizmente, os dados que antecedem 1992 não foram preservados (ELVIDGE, 2013).

Em 2011, foi lançado o sensor VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*) a bordo do satélite Suomi NPP. O instrumento VIIRS observa e coleta dados globais que abrangem os comprimentos de onda visível e infravermelho em terra, oceano e atmosfera. O radiômetro de varredura possui 22 canais que variam de 0,41  $\mu\text{m}$  a 12,01  $\mu\text{m}$ . Cinco desses canais são bandas de imagem de alta resolução ou bandas I, e dezesseis funcionam como bandas de resolução moderada. VIIRS também hospeda uma banda dia/noite pancromática única (DNB), que é ultrasensível em condições de pouca luz, capaz de capturar luzes noturnas com melhores resoluções espaciais e temporais em comparação com os dados de luzes noturnas fornecidos anteriormente pelo Programa de Satélites Meteorológicos de Defesa. Na Figura 7 é apresentada uma ilustração do dado do VIIRS (NOAA, 2021).

Figura 7: Imagem da França (VIIRS *Day Night band*).

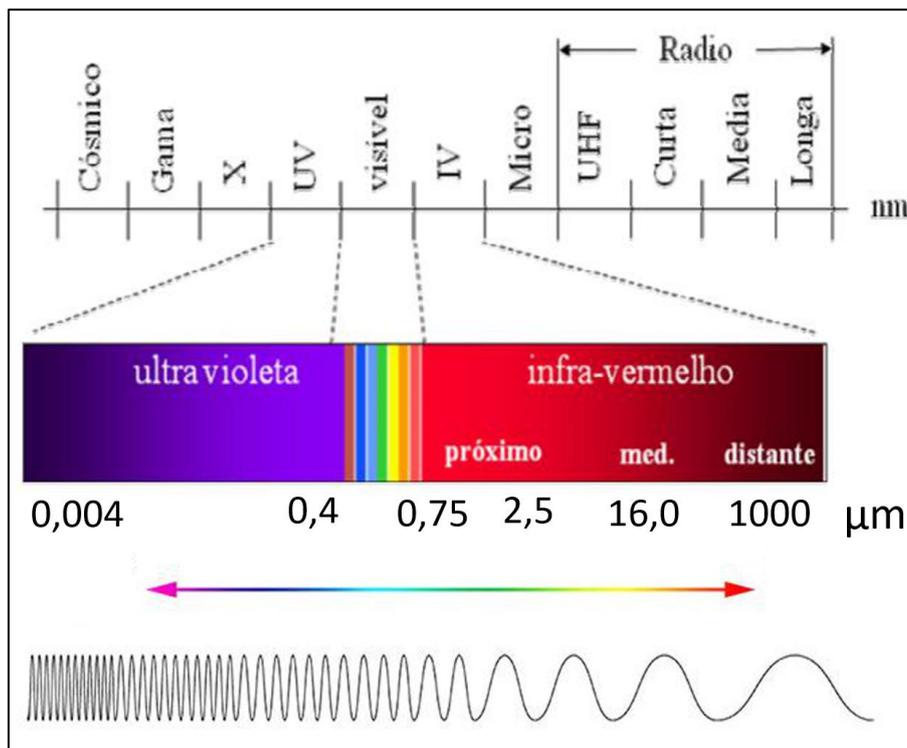


Fonte: Center for Satellite Applications and Research (STAR) – NOAA, 2021.

### 3.3.3. ÍNDICES ESPECTRAIS

A espectroscopia de reflectância é baseada na detecção da intensidade de radiação eletromagnética refletida, emitida ou espalhada da superfície do objeto em comprimentos de onda característico. No caso do sensoriamento remoto, a radiação solar incidente no planeta é do tipo eletromagnética. A porção refletida de energia produz um espectro de reflectância que é capturado pelos sensores a bordo dos satélites e divididos em bandas que representam determinadas faixas de comprimento de onda. Na Figura 8 são apresentados os diferentes comprimentos de ondas evidenciando a faixa do espectro visível (HOLLER *et. al.*, 2009).

Figura 8: Espectro eletromagnético.



Fonte: Adaptado de Hadlich (2017).

As faixas de comprimento de ondas, divididos em bandas, ilustrados nas imagens de satélite, permitem a realização de análises diferenciadas, uma vez que esses dados possibilitam visualizar a superfície terrestre, com comprimentos de onda dentro e fora da faixa do espectro visível.

Essas bandas podem ser combinadas para isolar padrões nas imagens de sensoriamento remoto de acordo com a assinatura espectral do fenômeno físico de interesse. Essas combinações recebem o nome de índice espectral, uma vez que, é realizado a norma da diferença entre duas bandas. Posteriormente, esses índices podem ser combinados com outros índices e ajustados com constantes para criar um contraste e

evidenciar o fenômeno físico de interesse. De acordo com *Index Database* (2021), existem mais 500 índices disponíveis nesse banco de dados e cada um é aplicado para se obter informações específicas dos dados de sensoriamento orbital.

Um grupo de índices muito comum está relacionado com a análise da vegetação, conhecidos como IVs (índices de vegetação). Eles combinam matematicamente uma banda espectral visível e uma não visível. Normalmente, o espectro do vermelho e do infravermelho próximo e médio. Isso porque, essas faixas contêm a maior variação de resposta espectral para a vegetação (OLIVEIRA *et. al.*, 2007). Um dos índices mais populares para se mapear a vegetação é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), conhecido como índice de vegetação por diferença normalizada. Esse índice estima a saúde das plantas baseado na forma como a vegetação reflete a luz solar. O NDVI é calculado conforme a Eq.(1) (INDEX DATABASE, 2021).

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

O índice utilizando para se evidenciar a assinatura espectral da água nos dados orbitais é o NDWI (*Normalized Difference Water Index*), conhecido como índice de água por diferença normalizada. O NDWI é calculado por meio da Eq.(2) (INDEX DATABASE, 2021).

$$NDWI = \frac{\text{Resposta Espectral } 8,6\mu\text{m} - \text{Resposta Espectral } 1,24\mu\text{m}}{\text{Resposta Espectral } 8,6\mu\text{m} + \text{Resposta Espectral } 1,24\mu\text{m}} \quad (2)$$

Outro índice importante para este trabalho é o NDBI (*Normalized Difference Built-Up Index*), conhecido como índice de expansão urbana por diferença normalizada. Esse índice tem se mostrado eficiente para acompanhar o processo de crescimento urbano nas cidades (Zha, 2003). O NDBI é calculado conforme a Eq.(3) (INDEX DATABASE, 2021).

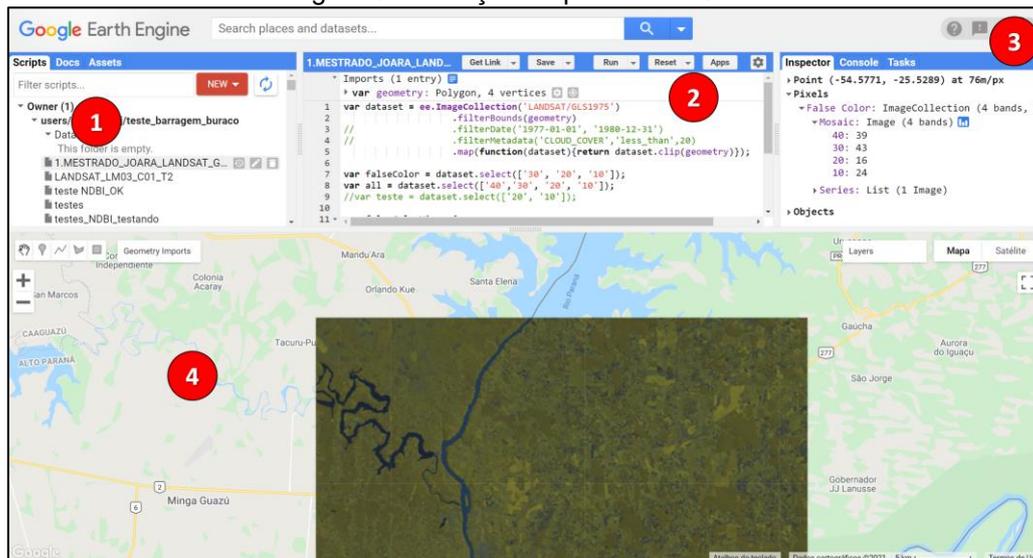
$$NDBI = \frac{\text{Infravermelho Próximo} - \text{Infravermelho Médio}}{\text{Infravermelho Próximo} + \text{Infravermelho Médio}} \quad (3)$$

### 3.3.4. GOOGLE EARTH ENGINE

O *Google Earth Engine* (GEE) é uma plataforma interativa de análise geoespacial na nuvem (utilizando os servidores da empresa Google para realizar o

armazenamento e processamento das imagens orbitais). Por meio da plataforma o usuário pode visualizar e analisar imagens dos satélites Sentinel, Modis e Landsat, desde 1972. O usuário pode optar em utilizar a plataforma web, apresentada na Figura 9. Nesse caso, o usuário deve programar os comandos para realizar o geoprocessamento das imagens utilizando a linguagem de programação *java script*. Para facilitar a construção dos algoritmos, o GEE disponibiliza centenas de exemplos de códigos para as mais diversas finalidades que podem ser encontrados por meio das caixas de busca (detalhe 1 da Figura 9). Uma vez que esses códigos são copiados, o usuário pode alterar partes específicas do código (detalhe 2 da Figura 9), mesmo sem domínio em programação, para atender as suas necessidades, como alterar a data de filtro de um satélite ou a localização do polígono que delimita a área de interesse. O usuário pode realizar inspeções em pontos específicos do mapa e visualizar a variação da intensidade do pixel em séries temporais (detalhe 3 da Figura 9). Finalmente, o usuário pode visualizar graficamente o resultado do geoprocessamento na parte inferior da tela (detalhe 4 da Figura 9).

Figura 9: Ilustração da plataforma GEE.

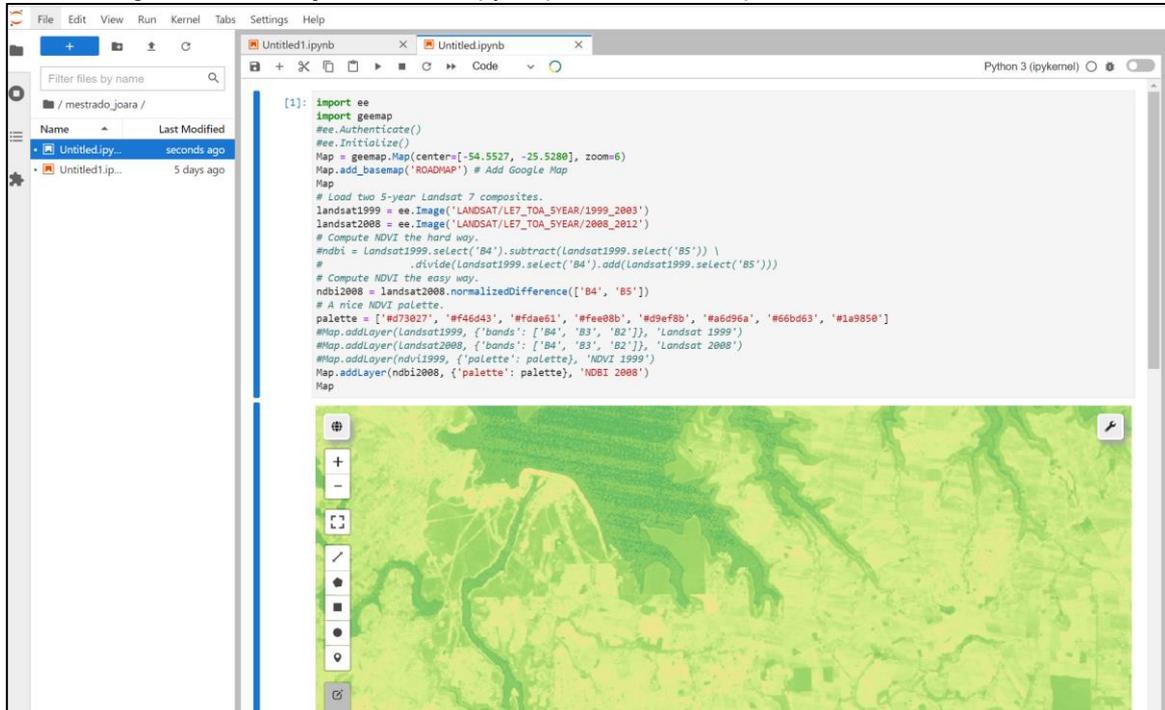


Fonte: Adaptado Google Earth Engine, 2021.

Outra forma de acessar o GEE é utilizando a linguagem *PYTHON*. Embora o código possa ser compilado em qualquer IDE (*Integrated Development Environment*), sugere-se a utilização de IDE's que sejam executados no navegador web, como por exemplo o *JUPYTER*. Isso porque, existem bibliotecas do GEE que exibem os mapas com os resultados imediatamente. Caso o usuário opte em trabalhar com IDE's *desktop*, os resultados não poderão ser vistos imediatamente. O usuário deverá escrever linhas de código solicitando o *download* da imagem ou animação no formato *.gif*, para poder

visualizar os resultados. Na Figura 10 é apresentada a IDE *Jupyter* com linhas de código escrito em *PYTHON* realizando geoprocessamento pela plataforma GEE por meio do navegador local do computador.

Figura 10: Ilustração da IDE Jupyter processando mapas com bibliotecas GEE.



Fonte: Autora (2021).

### 3.3.5. MAPBIOMAS BRASIL

O MapBiomias Brasil é um projeto do Observatório do Clima, iniciado em 2015, desenvolvido por diversas instituições, desde universidades, ONGs, até empresas de tecnologia, com o propósito de mapear e monitorar o uso do solo do Brasil anualmente (MAPBIOMAS, 2020).

Atualmente, o projeto possui centenas de pesquisadores envolvidos espalhados em todo território brasileiro. São especialistas em sensoriamento remoto, ciências da computação, biomas e uso do solo. Todo trabalho realizado pelos profissionais é feito utilizando computação em nuvem por meio da plataforma *Google Earth Engine*.

As imagens orbitais processadas no projeto MapBiomias, desde a coleção 1 até 5, são provenientes dos sensores TM, ETM<sup>+</sup> e OLI-TIRS, a bordo dos satélites Landsat 5, 7 e 8, respectivamente, e possuem uma resolução de 30m por pixel.

A coleção 5 do MapBiomias Brasil, lançado em agosto de 2019, traz informações desde 1985 até 2019, referente às áreas apresentadas na tabela Tabela 14 (MAPBIOMAS, 2020).

Tabela 14: Classificações de áreas disponíveis na Coleção 5 do MapBiomias Brasil.

Floresta	Floresta natural
	Formação florestal
	Formação de savana
	Manguezal
	Plantação florestal
Formação Natural Não Florestal	<i>Wetland</i>
	Formação de pastagem
	Salina
	Afloramento Rochoso
	Outras formações naturais não florestal
Agricultura	Pasto
	Agricultura
	Safra Anual
	Soja
	Cana de açúcar
	Safra perene
	Mosaico de agricultura e pastagem
Área Não Vegetada	Praia e duna
	Infraestrutura Urbana
	Mineração
	Outra Área Não Vegetada
Água	Rio, lago e oceano
	Aquicultura

Fonte: Adaptado de MAPBIOMAS (2020).

A validação das áreas mapeadas foi realizada utilizando duas metodologias:

- Análise comparativa com mapas de referência existentes sobre o tema e;
- Análise baseada na técnica estatística usando pontos de amostras independentes, do qual se tem dados de campo, com interpretação visual ao longo de todo o território e para toda série histórica (MAPBIOMAS, 2020).

### 3.3.5.1. Mapeamento da Infraestrutura Urbana

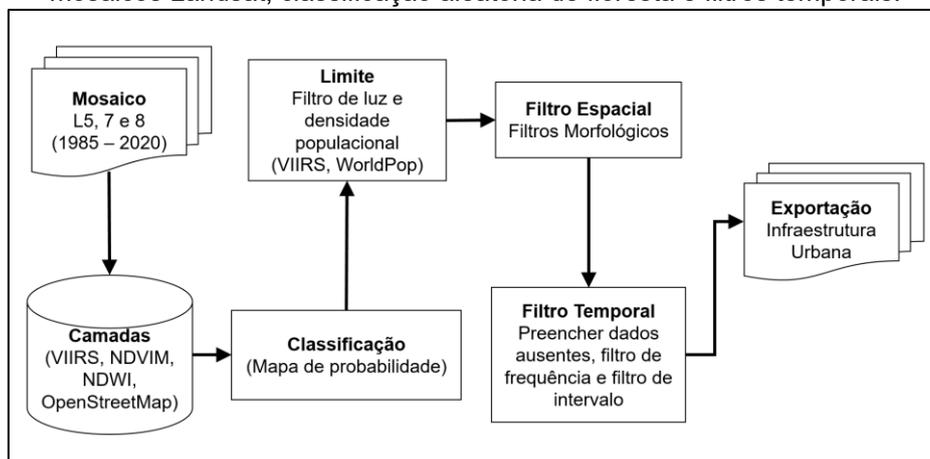
A coleção 5 da plataforma MapBiomias para mapeamento de infraestrutura urbana no Brasil teve a adição das frações vegetação verde, solo, sombra, nuvem, vegetação não fotossintética, geradas pela Análise de Mistura Espectral (SMA). Trata-se de

uma técnica para estimar a proporção de cada pixel que é coberto por uma série de tipos de cobertura, determinando a provável composição de cada pixel da imagem. Essas variações foram adicionadas como um espaço de recursos, gerando uma melhor detecção nos primeiros anos da série temporal, contribuindo para a resolução de problemas de estabilidade, aumentando a precisão (URBAN INFRAESTRUCTURE, 2021).

Para realizar a classificação da infraestrutura urbana na Coleção 5, foram utilizados mosaicos de imagens Landsat 5, 7 e 8, de 1985 a 2020. O conjunto de dados Landsat são as imagens de refletância de superfície, com correções atmosféricas, dos sensores Landsat 5 ETM, Landsat 7 ETM + e o Landsat 8 OLI/TIRS. Todo esse conjunto de dados tem uma resolução espacial de 30 metros. Para processar esses mosaicos, foram utilizadas imagens com cobertura de nuvens menor ou igual a 60%. As nuvens excedentes são removidas por meio de dois métodos. Para o Landsat 5 e 7 (mosaicos de 1985 a 2012), foram utilizados outros métodos de acordo com o sensor (URBAN INFRAESTRUCTURE, 2021).

O algoritmo de classificação da área urbana utiliza um algoritmo *Random Forest* utilizando o *Google Earth Engine*. Foram utilizadas amostras aleatórias de treinamento. Em seguida foram realizadas classificações com base em mapas de referência (*OpenStreetMap*, Terceiro Inventário Nacional, densidade populacional *WorldPop*). Após o treinamento, realizou-se a classificação automática dos mosaicos Landsat utilizando o modelo florestal aleatório (*Random Forest*) com amostras de treinamento extraídas de um buffer no conjunto de dados de caminhos do *OpenStreetMap*, visando uma classificação binária entre infraestrutura urbana e áreas não urbanas. Na Figura 11 é apresentado o fluxograma de treinamento e classificação da área urbana realizada no MapBiomias Brasil.

Figura 11: Etapas metodológicas de classificação de infraestrutura urbana na coleção MapBiomias 5 usando mosaicos Landsat, classificação aleatória de floresta e filtros temporais.



Fonte: Adaptado de *Urban Infrastructure – Collection 5* (2021).

As camadas de classificação de Infraestrutura Urbana na Coleção 5 do MapBiomias tem 17 variáveis de entrada, incluindo a mediana das bandas Landsat e índices que distinguem melhor as áreas urbanas de outras classes de cobertura e uso do solo. Os principais índices são apresentados na Tabela 15.

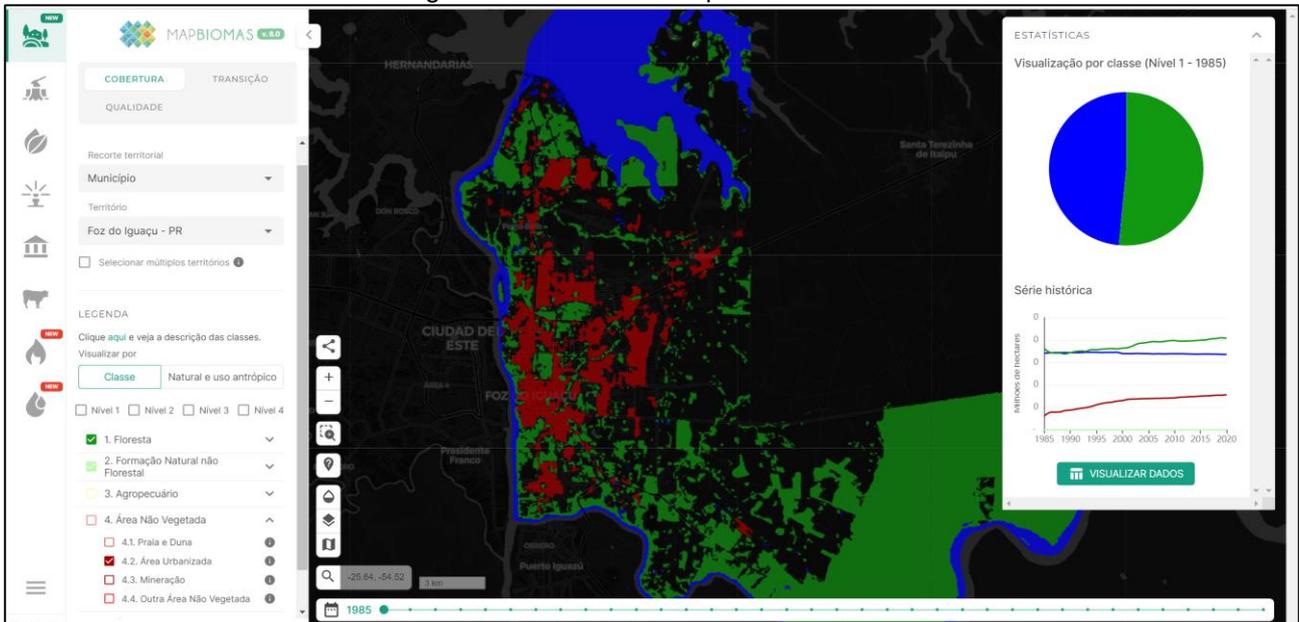
Tabela 15: Lista, descrição, estatística e acrônimo do script usado para o espaço de recursos de infraestrutura urbana na Coleção MapBiomias 5.

Variável	Descrição	Estatística	Acrônimo do Script
BLUE	Banda Landsat		blue
GREEN	Banda Landsat		green
RED	Banda Landsat		red
NIR	Banda Landsat		nir
SWIR1	Banda Landsat	median	swir1
SWIR2	Banda Landsat		swir1
BU	Built-up Index		bu
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index		ndvi
NDBI	Normalized Difference Built-Up Index		ndbi

Fonte: Adaptado de Urban Infrastructure – Collection 5 (2021).

Na Figura 12 é apresentada a plataforma MapBiomias utilizando o filtro de áreas urbanas, de 1985, da cidade de Foz do Iguaçu, estado do Paraná.

Figura 12: Plataforma MapBiomias Brasil.



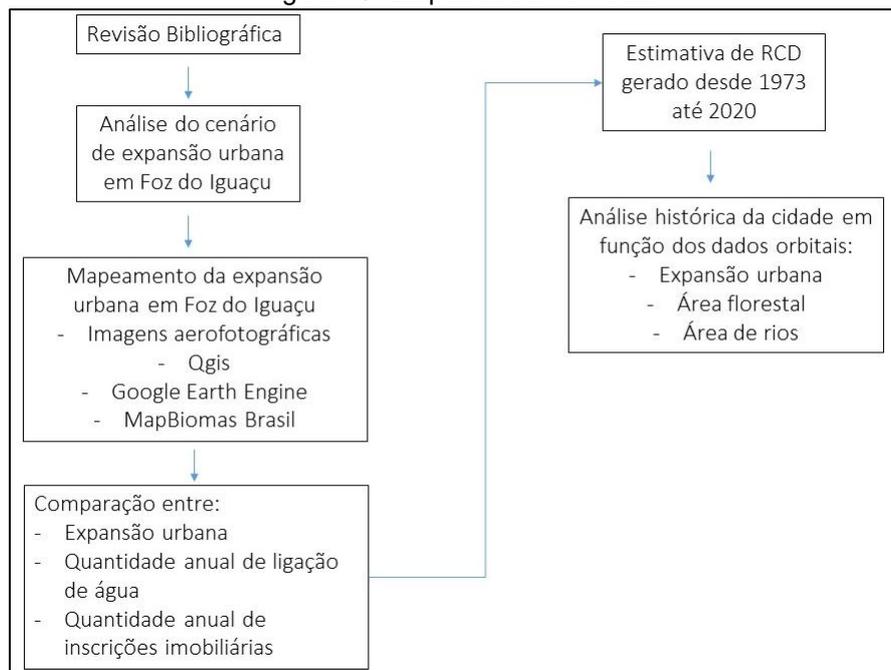
Fonte: MapBiomias Brasil (2021).

### 3.METODOLOGIA

Visando o embasamento do desenvolvimento desta dissertação foram realizadas diversas leituras buscando munir o presente trabalho com a teoria necessária. Assim, no primeiro momento a pesquisa se limitou a busca de documentos referentes ao tema via internet, em base de dados confiáveis – *Waste Management; Resources, Conservation and Recycling; Waste Management And Research; Journal of Cleaner Production; Construction and Building Materials; Renewable and Sustainable Energy Reviews; Waste and Biomass Valorization; International Journal of Life Cycle Assessment; Journal of Hazardous Materials; Journal of Industrial Ecology, Science Direct, Scielo* e sites oficiais do governo – localizando assim, artigos, teses, dissertações e documentos oficiais do governo.

Na Figura 13 é apresentado o fluxograma das etapas que serão realizadas nesta dissertação.

Figura 13: Etapas desenvolvidas.



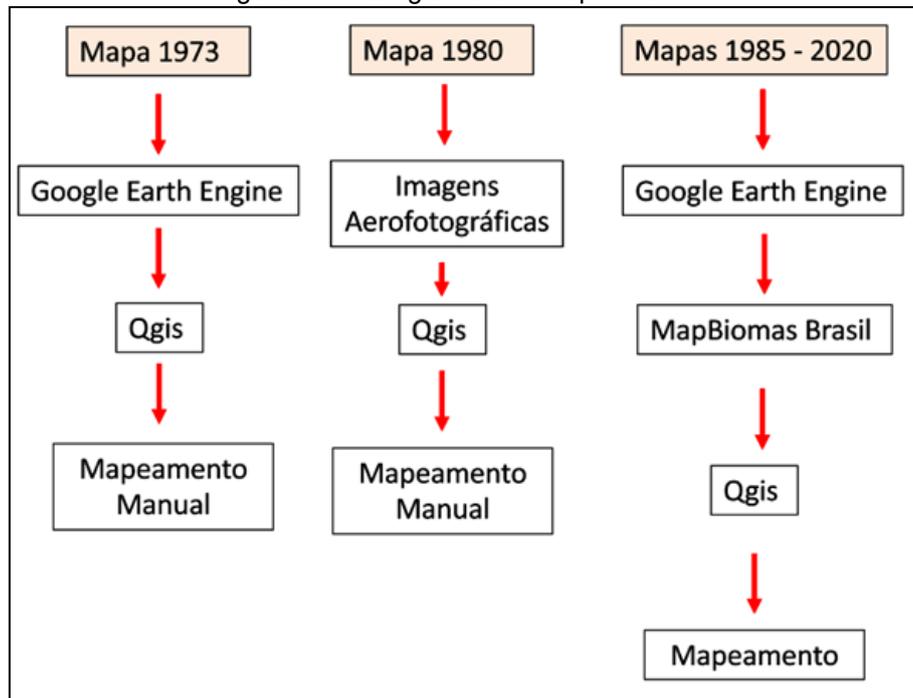
Fonte: Autora, 2020.

Na primeira etapa foi desenvolvido um estudo sobre a formação da cidade em questão e como a mesma se organiza no território. Tal processo foi feito através de pesquisas bibliográficas com base em documentos oficiais e buscas sobre dados populacionais no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Na segunda etapa, analisou-se o cenário atual do RCD em Foz do Iguaçu, através de pesquisas bibliográficas com base em decretos, leis e dados sobre a produção de RCD.

Na terceira etapa foram realizados os mapeamentos, para tal, empregou-se três metodologias diferentes. A primeira foi aplicada para o mapeamento de 1973, a segunda para o mapeamento de 1980 e a terceira para os mapeamentos de 1985 a 2020, conforme o fluxograma apresentado na Figura 14.

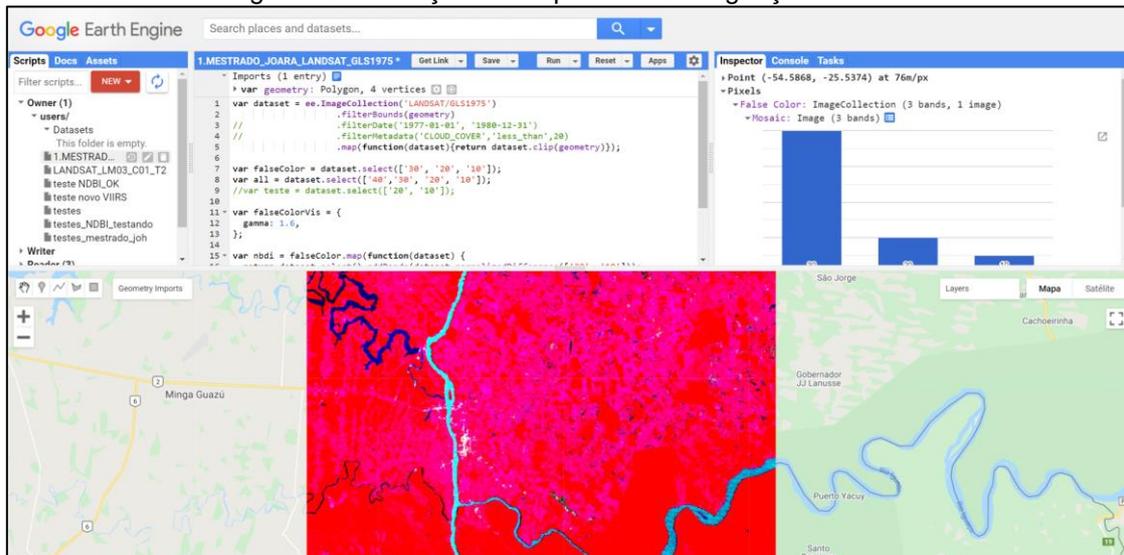
Figura 14: Fluxograma dos mapeamentos.



Fonte: Autora, 2021.

Assim, para se estimar a área urbana de 1973, foram utilizados os dados do Landsat/GLS com resolução de 80 metros por pixel, por meio da plataforma GEE. Na Figura 15 é apresentado mapa de Foz do Iguaçu de 1973 na plataforma.

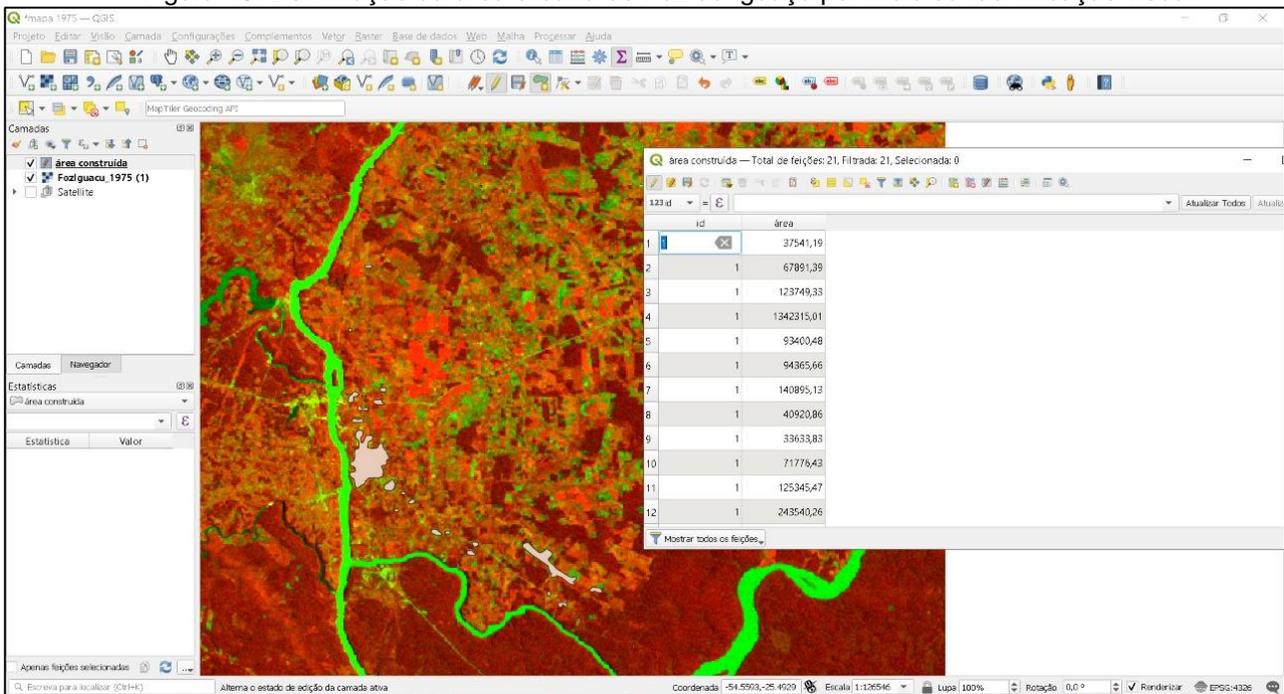
Figura 15: Obtenção do mapa de Foz do Iguaçu de 1973.



Fonte: Google Earth Engine (2021).

Devido à limitação do sensor que capturou a imagem, não foi possível aplicar os índices que auxiliam no contraste da assinatura espectral das áreas urbanas. Dessa forma, foram realizados ajustes nos valores de exibição do pixel da imagem (máximo e mínimo) em, 22.4 e 29.5, respectivamente. Assim, foi possível identificar as áreas urbanas e realizar uma delimitação de área de forma manual utilizado no programa Qgis, conforme apresentado na Figura 16.

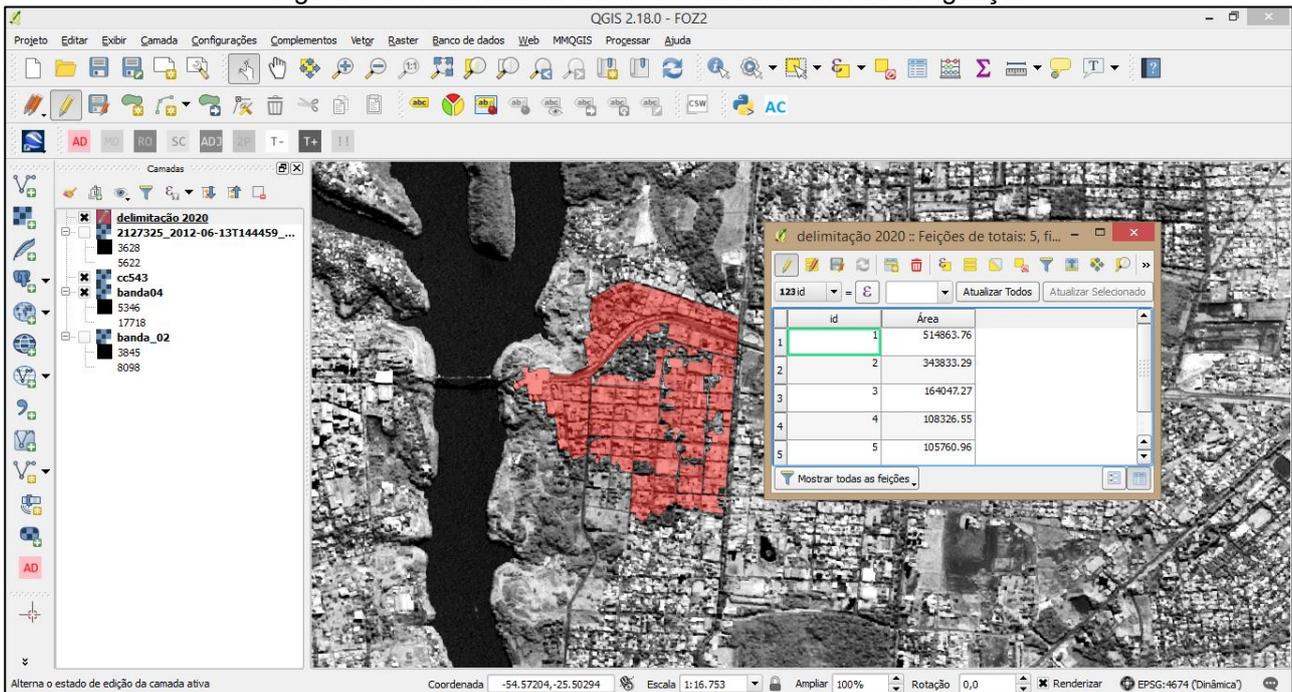
Figura 16: Delimitação da área urbana de Foz do Iguaçu por meio da identificação visual.



Fonte: Autora (2021).

Para se estimar a área urbana de 1980, foram utilizadas aerofotografias pancromáticas com escala aproximada 1:25.000 com resolução de 1metro por pixel. Utilizando o programa Qgis, montou-se um mosaico georreferenciado com as imagens, e posteriormente, foram criadas camadas de polígonos identificando as áreas construídas de forma visual, conforme apresentado na Figura 17.

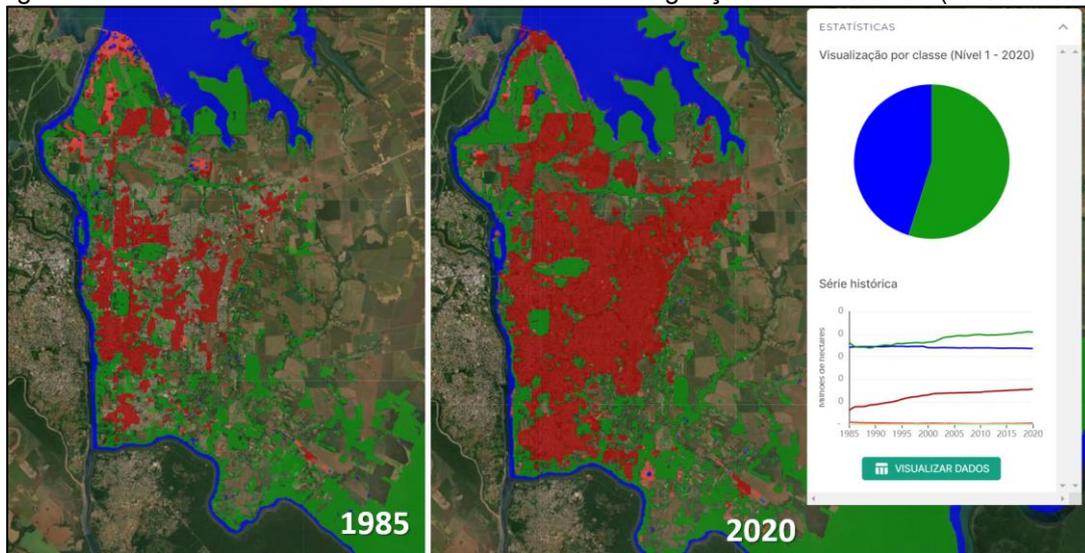
Figura 17: Levantamento da área construída de Foz do Iguaçu.



Fonte: Autora, 2020.

A área urbana da cidade de Foz do Iguaçu, de 1985 a 2020, foi levantada utilizando os dados da plataforma MapBiomias Brasil, cuja metodologia utilizada para se delimitar a área urbana e validar os dados utilizando a plataforma GEE, foram apresentados no capítulo 5.3.5. Na Figura 18 são apresentadas, a mancha urbana em 1985 e 2020, por meio da plataforma MapBiomias, respectivamente.

Figura 18: Levantamento da área construída de Foz do Iguaçu de 1985 a 2020 (MabBiomias).



Fonte: Adaptado de MapBiomias Brasil (2021).

Para se estimar a área urbana de 1980, foram utilizadas aerofotografias pancromáticas, sendo as mesmas georreferenciadas no programa Qgis, identificando de modo visual e mapeando as áreas construídas na cidade de Foz do Iguaçu. Finalmente, para estimar as áreas urbanas de 1985 a 2020, foram utilizados os dados da plataforma MapBiomias Brasil, cuja metodologia utilizada para se delimitar a área urbana e validar os dados utiliza a plataforma GEE.

Na quarta etapa foram realizadas análises de correlação de Pearson entre os dados de expansão urbana, quantidade anual de ligações de água e a quantidade de inscrições imobiliárias.

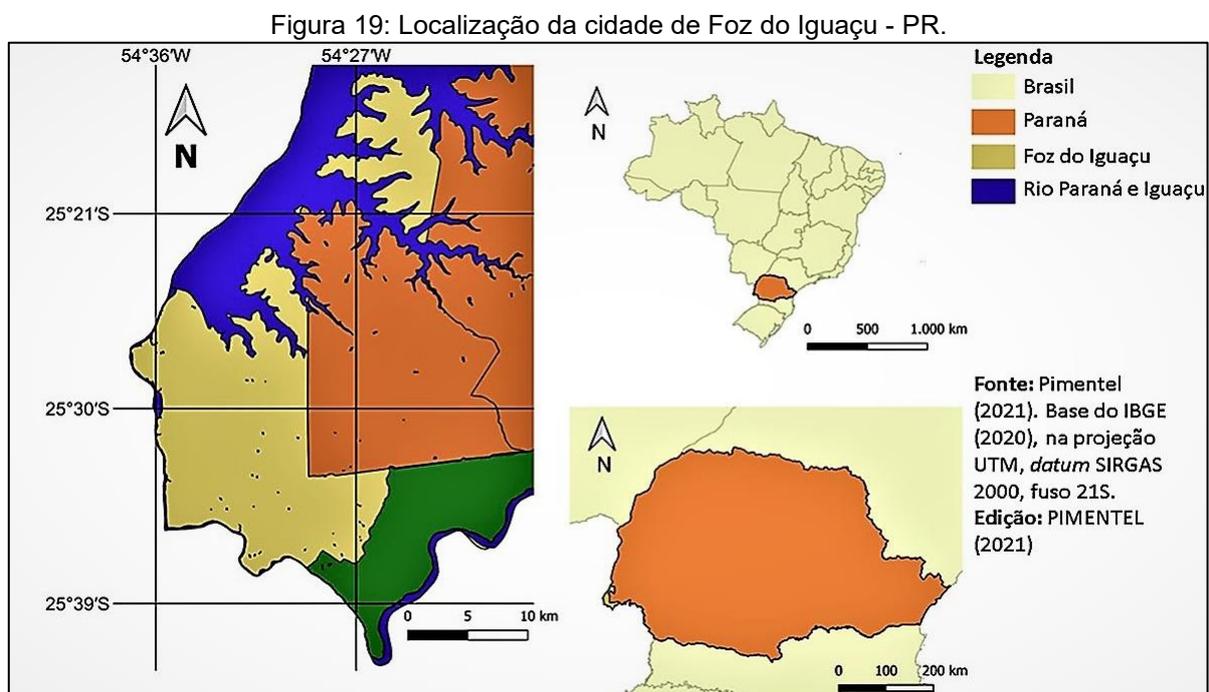
Na quinta etapa, foi estimado a quantidade de RCD da cidade de Foz do Iguaçu desde 1973, através da relação dos mapeamentos das áreas construídas com o índice de RCD desenvolvido por Pinto (1999). Analisou-se também a relação dos mapeamentos com a metodologia desenvolvida por Ângulo *et. al.* (2011), onde os dados obtidos apontam uma concordância entre o RCD produzido no território e o aumento das ligações de água.

Na sexta etapa, foram realizadas análises históricas da cidade, comparando os dados orbitais de expansão urbana, área florestal e corpos hídricos do satélite Landsat 5, 7 e 8.

## 4. ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA EM FOZ DO IGUAÇU

### 4.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DA EXPANSÃO URBANA EM FOZ DO IGUAÇU

O município de Foz do Iguaçu – PR, 25° 32' 49" S 54° 35' 11" O (IBGE 2020), é considerado pelo Ministério do Turismo (2019) um dos principais pontos turísticos do Brasil, tendo um forte posicionamento no cenário nacional e internacional. A cidade em questão tem uma configuração espacial que ocorre ao longo do Rio Paraná e do Rio Iguaçu, estabelecendo uma estrutura física delimitada por um eixo viário de norte a sul, com a expansão predominantemente ao leste deste território (Figura 19).



Fonte: Elaborado pela autora com dados do IBGE (2020).

Tal capítulo é baseado na pesquisa realizada por Ribeiro (2015). Conforme citado pelo mesmo, Foz do Iguaçu é resultado de diversos interesses atrelados ao território, onde os mesmos contribuíram para a remodelação e urbanização do local, chegando à configuração atual da cidade.

No caso específico da urbanização na zona de fronteira do Iguaçu, além da densa e antiga história cultural, o lugar está marcado por diversas políticas e estratégias de povoamento, ainda no século XIX, que se estenderam por todo século XX. Por tratar-se de área de fronteira, as políticas tinham o objetivo não apenas de povoar e desenvolver regiões, mas de formar cidades que pudessem demarcar e assegurar a soberania dos países por meio de estratégias de controle da população fronteiriça. (SOUZA, 2011, p.77).

Deste modo, em 1889, conforme citado por Souza (2011), foi estabelecido que a região da cidade de Foz do Iguaçu seria uma colônia militar, através da Comissão Estratégica do Paraná, coibindo assim a presença de estrangeiros no local e controlando as atividades de extração de erva mate e madeira que estava ocorrendo até então, desenvolvendo a região e estabelecendo uma base militar de defesa do território (Figura 20).

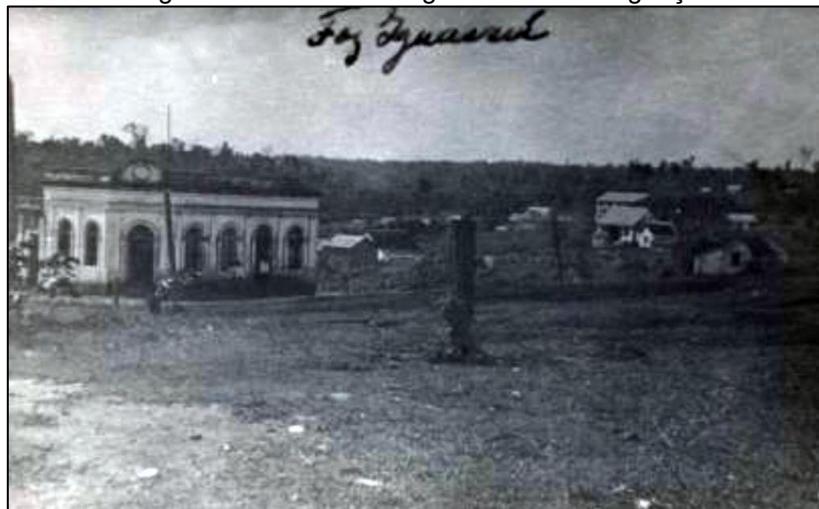
Figura 20: Sapeco da erva mate na região de Foz do Iguaçu.



Fonte: Portal da cidade, 2020.

Em 1892, o local já contava com infraestrutura (Figura 21), sendo ofertadas para os colonos - italianos, alemães, ingleses - e militares residentes da região “casas construídas pelo governo, para a diretoria, enfermaria, farmácia, casa do médico, depósito de gêneros, quartel das praças, ferraria, carpintaria” (MYSKIW, 2009, p.148), além de haver diversas áreas as quais eram destinadas para serem cultivadas.

Figura 21: Primeira delegacia de Foz do Iguaçu



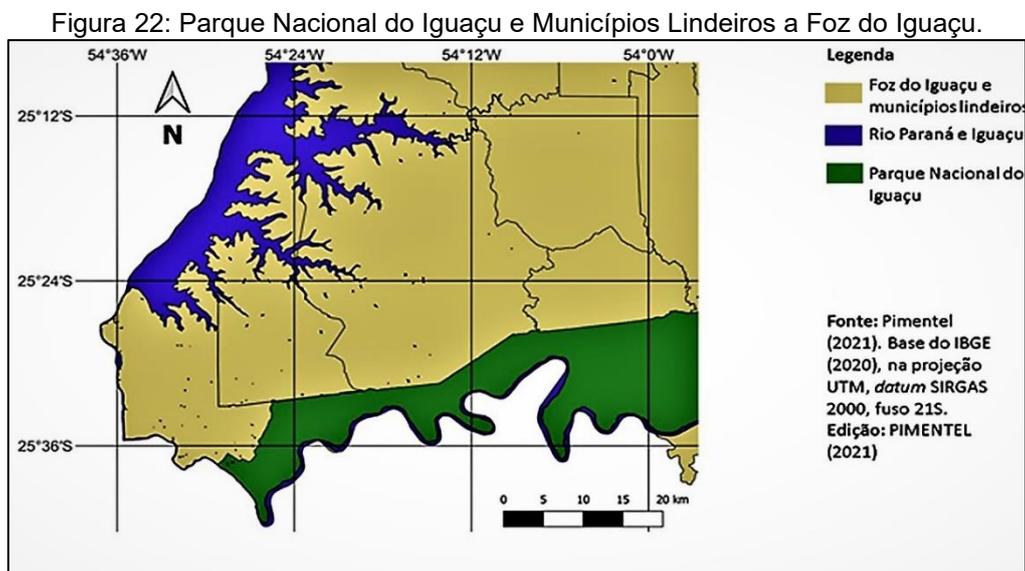
Fonte: Portal da cidade, 2020.

Segundo Souza (2011), com o passar dos anos, percebeu-se que a região ainda estava muito isolada em relação aos grandes centros políticos e administrativos, gerando assim, uma dificuldade de desenvolvimento local. “Nove anos após a instalação da colônia militar brasileira, sua população flutuante e fixa alcançava 765 pessoas” (SOUZA, 2011, p.83), deste modo, houve a necessidade e oportunidade de estabelecer relações comerciais com os países vizinhos, fato este que perdura até os dias atuais.

Em 1912, determinou-se que a Colônia Militar do Iguaçu iria integrar “o território do município de Guarapuava e passou à jurisdição do Estado do Paraná” (CURY, 2010, p.154). Dois anos após o ocorrido houve a emancipação da colônia em questão, sendo estabelecido pela Lei 1383 o Município Vila Iguassu.

Conforme citado por Souza (2011), em 1916, o município em questão recebeu a visita do aviador Santos Dumont, o qual, encantado pelas Cataratas do Iguaçu solicitou para o governo do Paraná que o local fosse considerado, por lei, patrimônio público. Tal fato permitiu a desapropriação da área, a qual até o presente momento era uma propriedade particular, no “dia 28 de julho, pelo decreto nº 63, foi declarada de utilidade pública com 1008 hectares” (CURY, 2010, p.155). Passados dois anos, o Município de Vila Iguassu passa a ser reconhecida como Foz do Iguaçu.

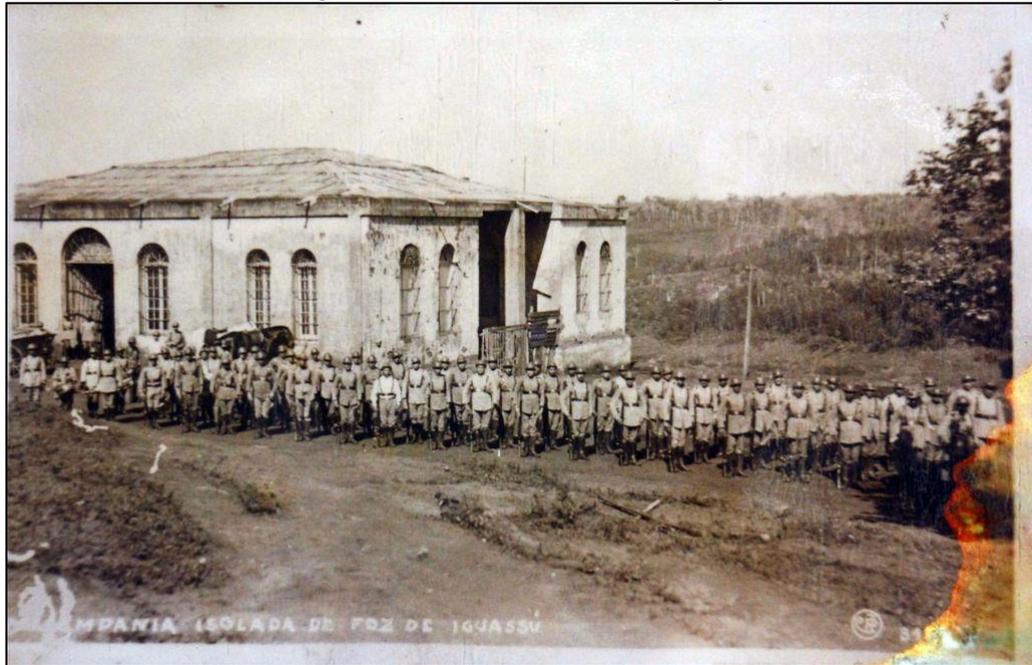
Segundo Cury (2010), após este fato a região começa a ser mais visitada e em 1939, o presidente Getúlio Vargas cria um decreto para proteger a região das Cataratas do Iguaçu, sendo a mesma denominada como Parque Nacional do Iguaçu, preservando assim, o local e seus municípios vizinhos, os quais totalizam aproximadamente 225 mil hectares (Figura 22).



Fonte: Elaborado pela autora com dados do IBGE (2020).

Com a crescente “interatividade humana na região da tríplice fronteira” (CURY, 2010, p.155) e a forte presença de estrangeiros, fez com que o governo militarizasse ainda mais o local, surgindo assim em 1943 o 1º Batalhão de Fronteira reforçando as forças armadas no território (Figura 23). Tal fato veio a contribuir também para a proteção da fronteira nos anos seguintes, quando o Brasil entrou na Segunda Guerra Mundial.

Figura 23: Militares em Foz do Iguaçu.

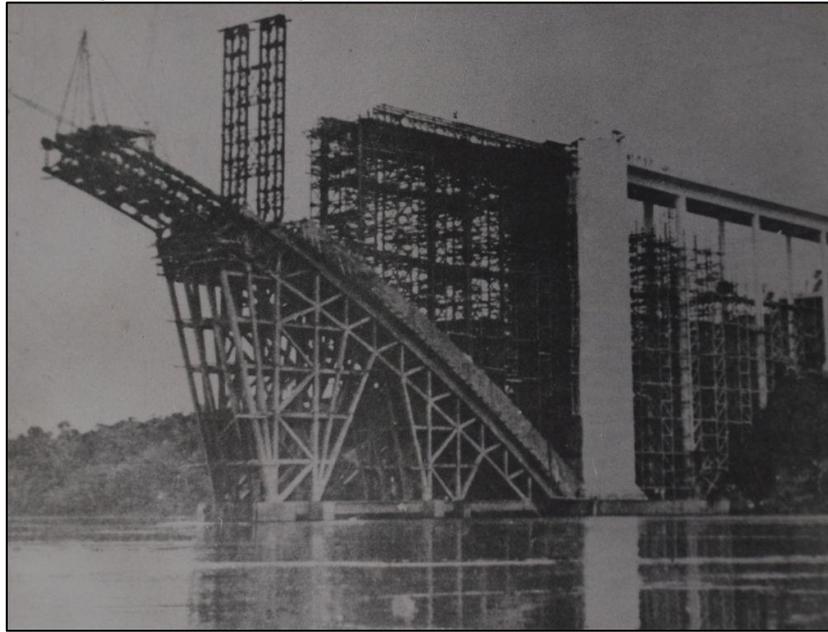


Fonte: Portal da cidade, 2020.

Em 1956, os Presidentes Juscelino Kubitschek, do Brasil, e Alfredo Stroessner, do Paraguai, estiveram na fronteira para lançar a pedra fundamental para a construção da Ponte da Amizade entre Foz do Iguaçu e a futura Cidade de Leste, fundada um ano depois, em 1957. (SOUZA, 2011, p.89).

Ressalta-se que nesse período, entre 1960 e 1970, o país passava por um momento de incentivo ao desenvolvimento econômico. Assim, com a inauguração da Ponte Internacional da Amizade (Figura 24), conforme citado por Souza (2011), a malha urbana da cidade de Foz do Iguaçu passa a ter uma expansão maior no eixo Brasil-Paraguai, “incentivadas pelas oportunidades oferecidas pelo comércio” (SOUZA, 2011, p.155) entre os países vizinhos.

Figura 24: Construção da Ponte Internacional da Amizade.



Fonte: Portal da cidade, 2020.

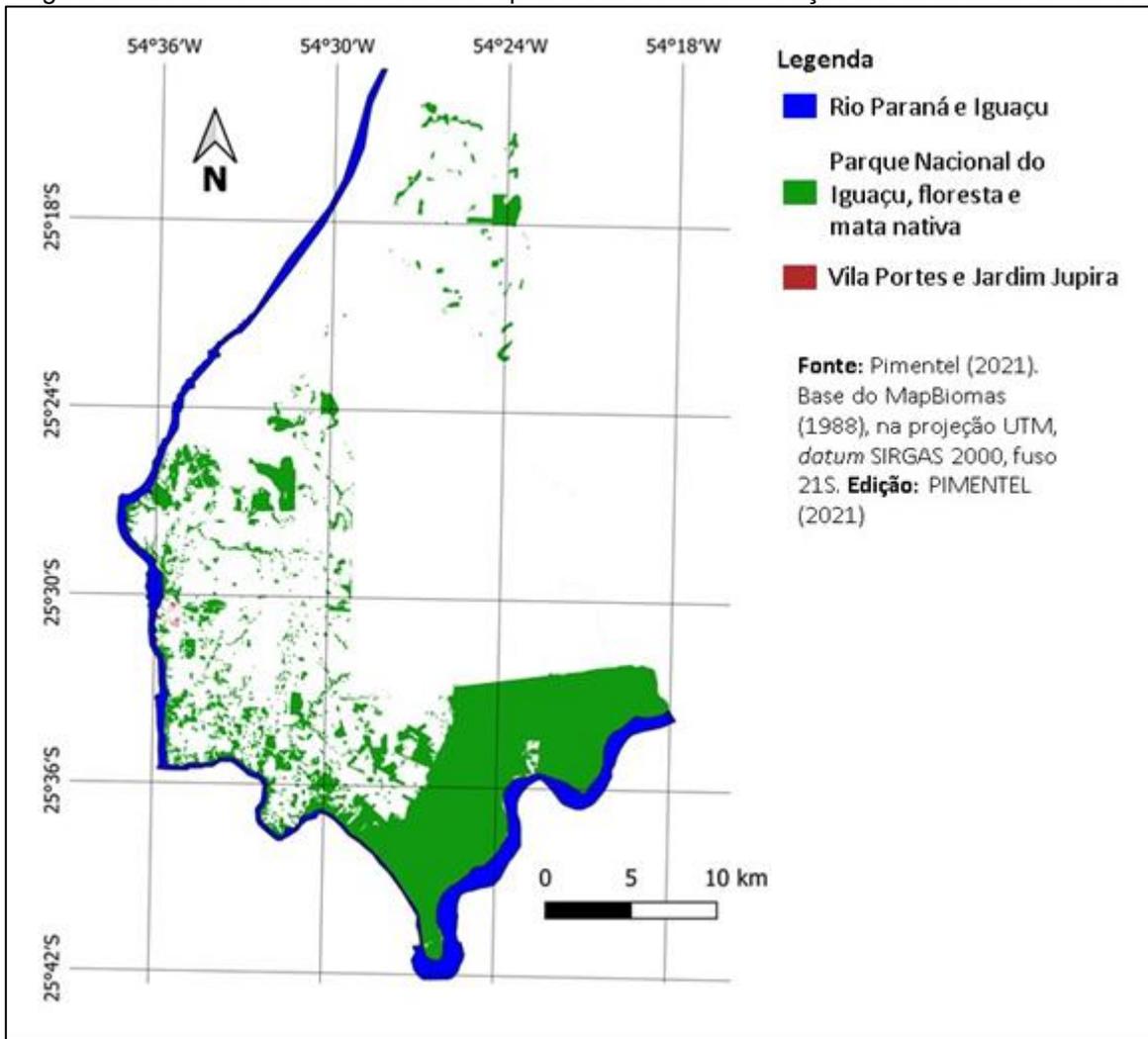
Tal vínculo entre os países também incentivou a vinda de novos habitantes para a região. “Os primeiros imigrantes árabes chegaram à Foz do Iguaçu no início dos anos de 1960, motivados pelo comércio” (CURY, 2010, p.156), abrindo assim, diversos estabelecimentos, incentivando a exportação e importação de diversos produtos e a relação comercial entre os países. Como resultado, desenvolveram-se os principais bairros comerciais da cidade, sendo estes: Jardim Jupira e Vila Portes (Figura 25 e Figura 26).

Figura 25: Comércio na região do Jardim Jupira e Vila Portes.



Fonte: Blog de Foz, 2020.

Figura 26: Desenvolvimento do Jardim Jupira e Vila Portes em relação ao restante do território.



Fonte: Resultado da pesquisa.

Ao mesmo tempo em que a inauguração da ponte acelerou consideravelmente o aumento da população urbana no município, grande parte da configuração espacial da cidade em si, somente foi determinada com a construção da Usina Hidrelétrica de Itaipu. Tal proposta era parte do II Plano Nacional de Desenvolvimento, onde era incentivado o aumento da produção energética do país. Deste modo, o projeto da implementação da Itaipu ganha força, sendo a mesma construída em Foz do Iguaçu, no Rio Paraná.

A construção da barragem clamou por grandes negociações políticas entre os países, contribuindo diretamente para a expansão e remodelação do território urbano da cidade de Foz do Iguaçu e dos municípios lindeiros. Deste modo, no período que ocorreu a construção da usina, foi executado um programa de desapropriação do território afetando

[...] uma população estimada em 40 mil pessoas, somente do lado brasileiro. As desapropriações foram feitas espaçadamente nos oito municípios que seriam afetados pelo alagamento. Isto causou grandes problemas porque os núcleos comunitários eram desfeitos, com as famílias tomando rumos diferentes. (RIBEIRO, 2002, p.28).

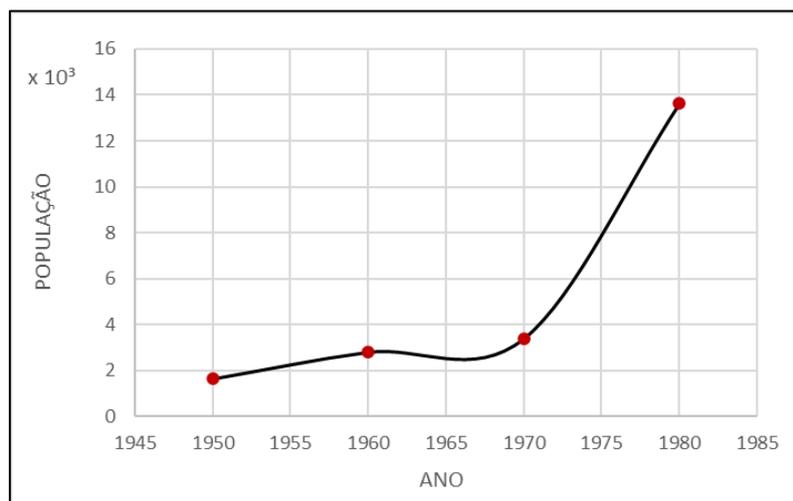
No total, 8.519 propriedades foram desapropriadas, entre essas, 6.913 eram propriedades rurais e 1.606 urbanas, somando uma área de 101.092,52 hectares. Foi nesse período que houve uma intensa migração dos trabalhadores rurais para a cidade, em busca de novas oportunidades, trazendo para o território novas realidades e diferentes dinâmicas foram estabelecidas no local. Deste modo, em questão de vinte e um anos a população urbana da cidade aumentou mais de 730% conforme Tabela 16 e Gráfico 1.

Tabela 16: Aumento da população urbana de Foz do Iguaçu 1953/1974

<b>ANO</b>	<b>POPULAÇÃO</b>	<b>AUMENTO DA POPULAÇÃO EM RELAÇÃO A 1950 (%)</b>
1950	16.421	-
1960	28.079	70,99
1970	33.966	106,84
1980	136.352	730,35

Fonte: Adaptado de IBGE, 2020.

Gráfico 1: Crescimento Populacional de Foz do Iguaçu



Fonte: Autora, 2020.

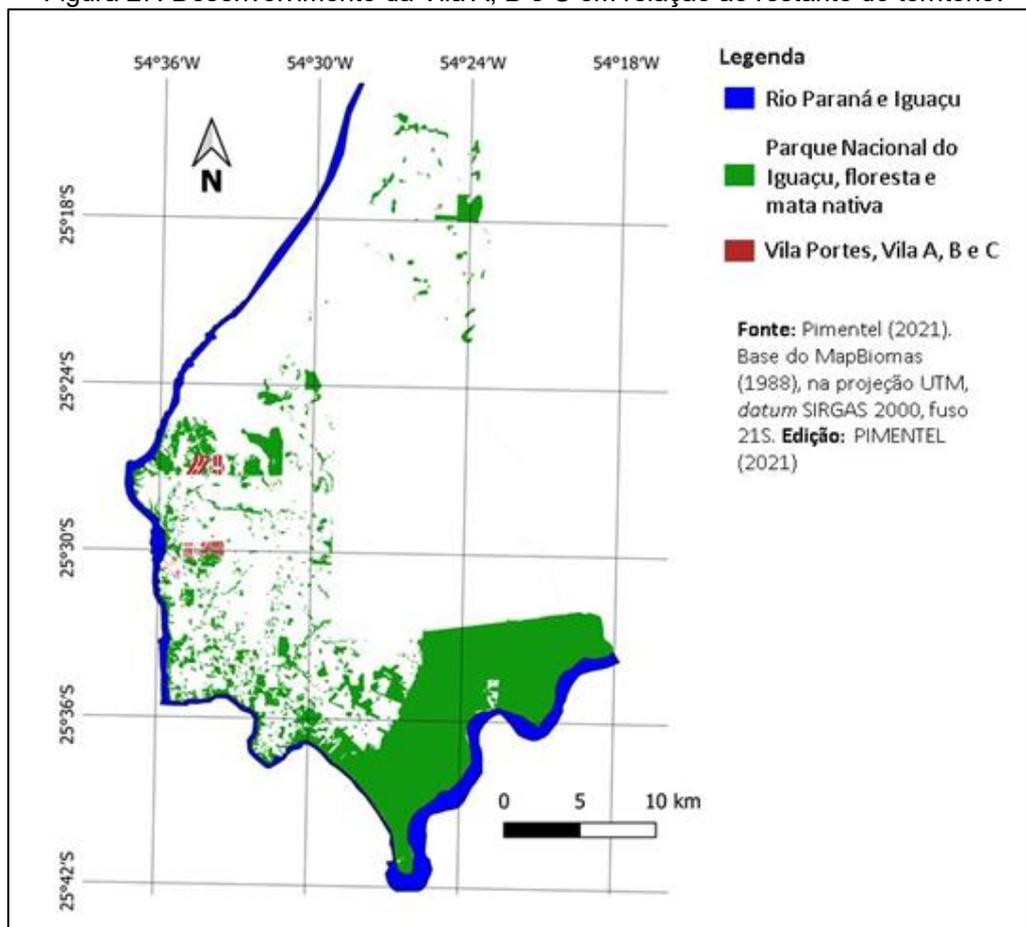
Conforme citado por Souza (2011), em 1974, com a construção da barragem em andamento e com várias áreas urbanas desapropriadas, foram desenvolvidos projetos de conjuntos habitacionais, levando em consideração que havia em torno de 40

mil obreiros estabelecidos no município de Foz do Iguaçu e que os mesmos necessitavam de residências para habitar.

Os conjuntos habitacionais se destinavam a fornecer moradia para os funcionários brasileiros e paraguaios, que foram basicamente separados em três categorias: a primeira de administradores e engenheiros – a segunda de profissionais técnicos – e a terceira de operários e trabalhadores em postos de serviços como: motoristas, cozinheiros, vigias, mecânicos, pintores, encanadores, montadores e barrageiros. (SOUZA, 2011, p.129).

Através dessas obras de infraestrutura e habitação, foi traçado uma boa parte dos eixos existentes atualmente na cidade, modificando e expandindo o território. Conforme Souza (2011), 561 hectares foram ocupados, sendo projetado um total de 5199 casas, sem contar os equipamentos urbanos, como corpo de bombeiros, escolas, água tratada e hospitais. Deste modo, surgiram os respectivos conjuntos habitacionais: Vila A, Vila B e Vila C (Figura 27).

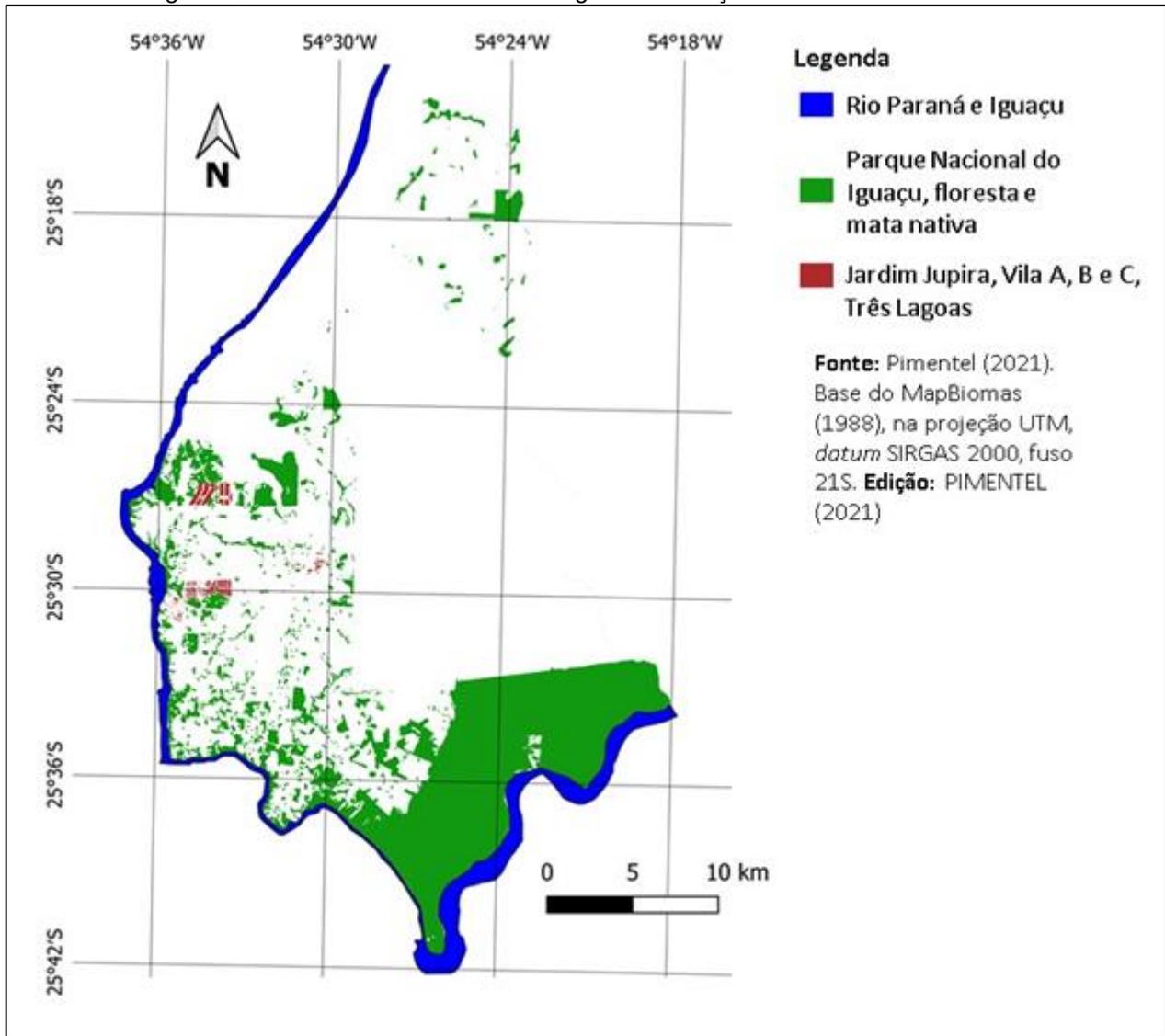
Figura 27: Desenvolvimento da Vila A, B e C em relação ao restante do território.



Fonte: Resultado da pesquisa.

Em contrapartida, ao mesmo tempo que grandes obras são efetivadas, há o início do estabelecimento das periféricas de Foz do Iguaçu, como por exemplo: Três Lagoas, sendo este um dos principais resultados da desapropriação das áreas que foram destinadas ao projeto de Itaipu (Figura 28).

Figura 28: Desenvolvimento de Três Lagoas em relação ao restante do território.



Fonte: Resultado da pesquisa.

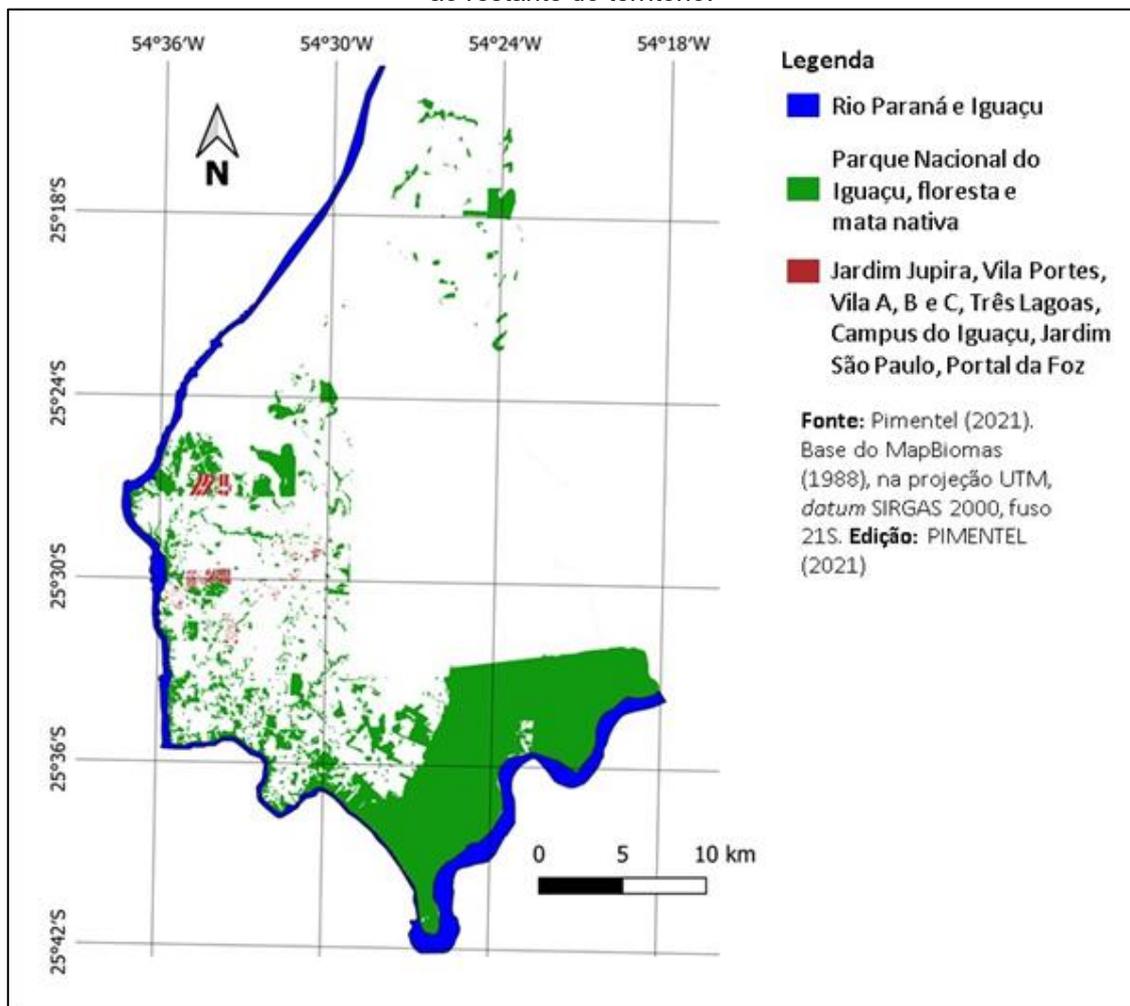
Assim, Foz do Iguaçu sofreu um inchaço repentino,

[...] seja de moradores que foram expulsos de suas localidades pela construção do lago ou das vilas, seja pela chegada de aproximadamente 20 mil trabalhadores na década de 1970, que vieram trabalhar ou buscar trabalho na hidrelétrica, alguns chegaram inclusive acompanhados de suas famílias, que fizeram com que a demanda de serviços públicos e privados aumentasse de forma desproporcional. Paralelo a isso, observa-se o aumento do custo de vida do município devido à inflação e da demanda por moradia e junto com a procura a especulação imobiliária

na cidade, processo que não só reconfigurou o espaço rural e urbano mais as relações de poder sobre terra. (RIBEIRO, 2015, p.154).

Com o aumento da demanda por moradia e a expropriação de diversas áreas para a construção das vilas residenciais destinadas aos trabalhadores de Itaipu, os grandes proprietários de terras da cidade viram a oportunidade de capitalizar certas regiões, oferecendo assim, diversas oportunidades de negócios para suas terras, estabelecendo no território novos loteamentos, onde o mesmo seria destinado para a população crescente. Tal fato fez com que surgissem diversos loteamentos populares como Campos do Iguaçu, Morumbi, Jardim São Paulo e Portal da Foz (Figura 29).

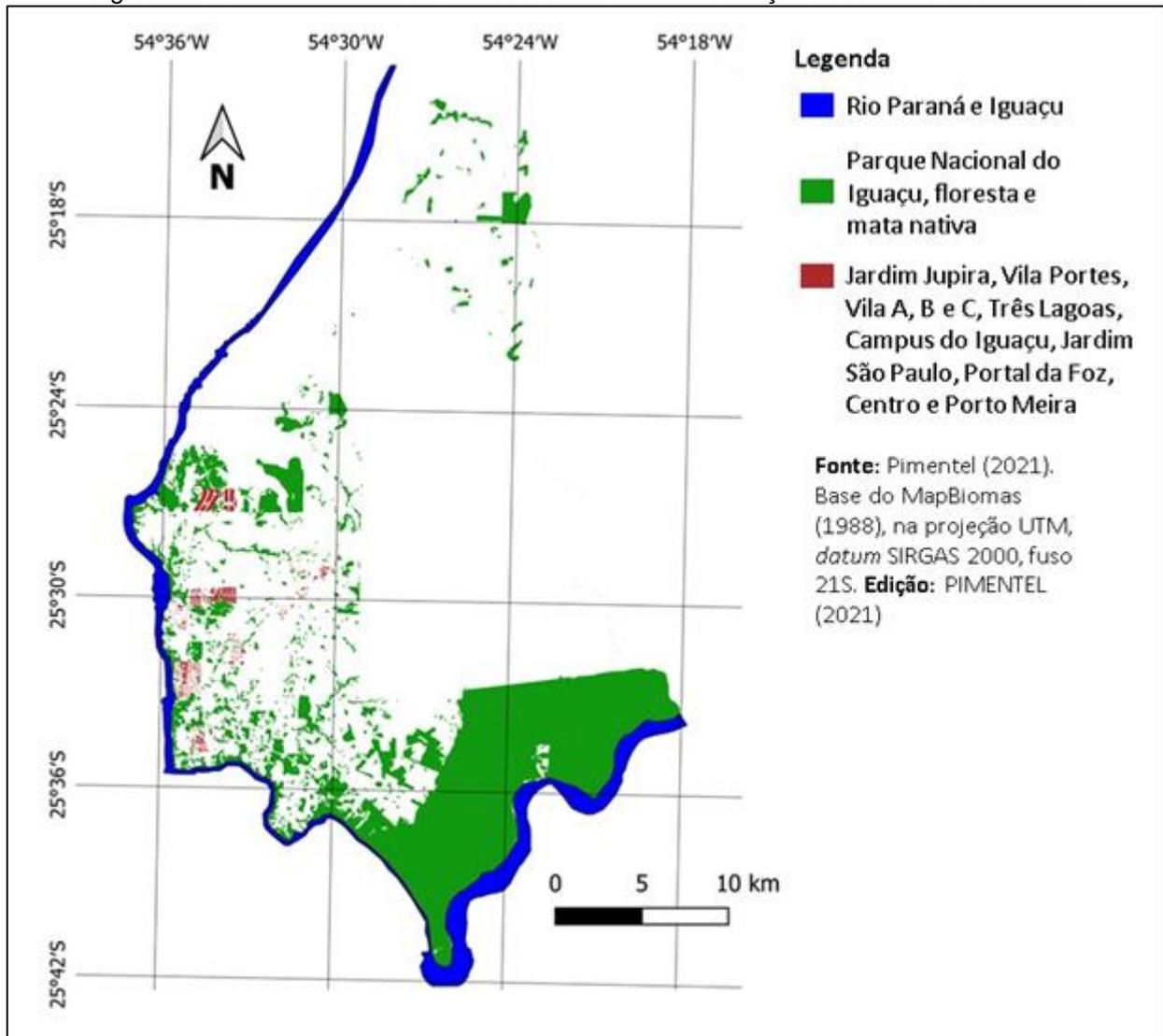
Figura 29: Desenvolvimento do Campus do Iguaçu, Morumbi, Jardim São Paulo e Portal da Foz em relação ao restante do território.



Fonte: Resultado da pesquisa.

Em 1980, em paralelo à ocupação dessas regiões anteriormente citadas, a população que vivia na região central de Foz do Iguaçu foi realocada para região do Porto Meira, visando o incentivo e a consolidação do centro comercial da cidade (Figura 30).

Figura 30: Desenvolvimento do Centro e Porto Meira em relação ao restante do território.



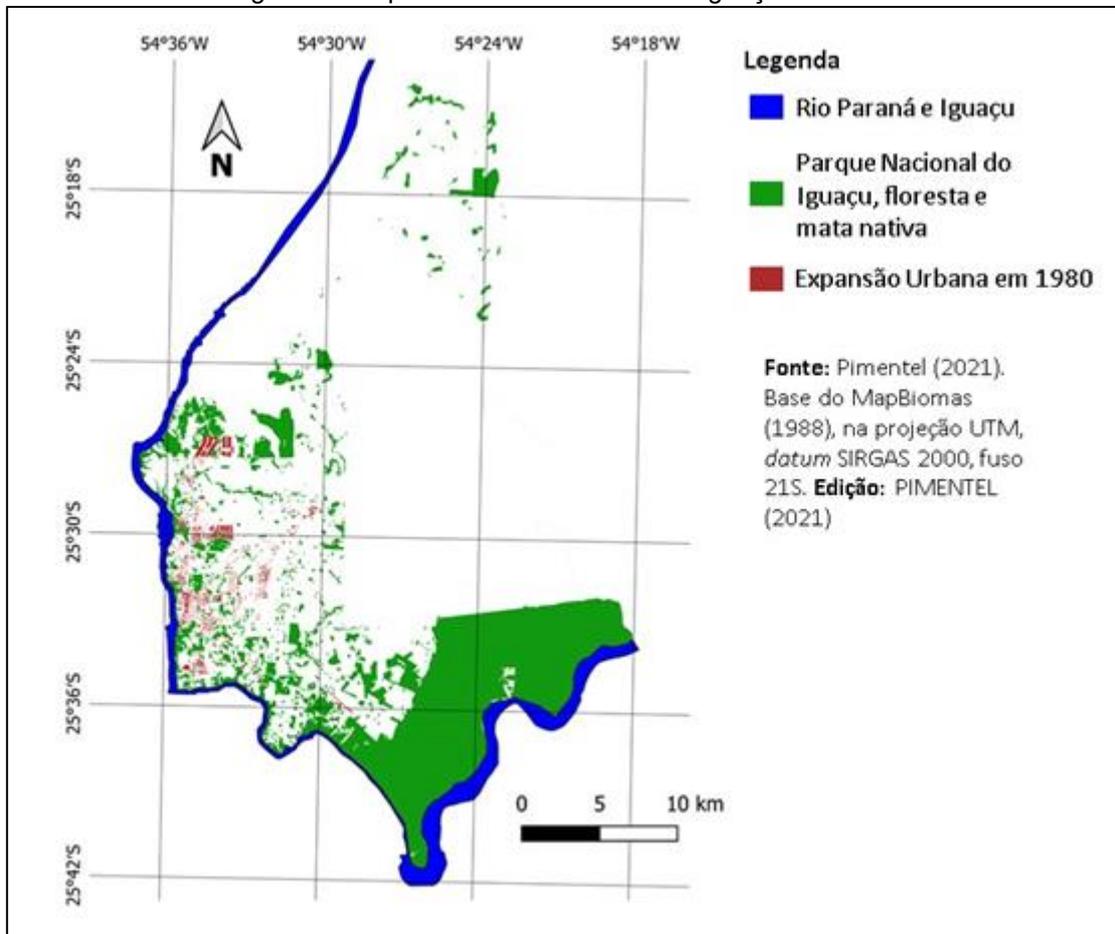
Fonte: Resultado da pesquisa.

Em contrapartida, tal fato demonstra a preocupação existente em incentivar o embelezamento do local visando melhorias para que Foz do Iguaçu pudesse atrair mais turistas a fim de visitar as cataratas e a grande construção realizada. Em 1985, foi inaugurada a Ponte da Fraternidade, ligando Porto Iguaçu na Argentina à Foz do Iguaçu. Tal fato também contribuiu para o incentivo do turismo da região.

Nos três últimos anos da construção de Itaipu – 1982, 1983 e 1984 – houve uma grande redução de empregos interferindo diretamente nos trabalhadores que vieram para a cidade e se estabeleceram com a construção da usina, tendo como consequência demissões em massa. Esse processo de finalização acarretou na presença de várias pessoas no território que não conseguiram ser incorporadas novamente no mercado. Deste modo, estes trabalhadores “foram viver em favelas existentes ou criaram novas favelas com

a ocupação de terrenos, ou ainda, foram viver nas áreas mais isoladas cujo preço da terra era mais acessível” (RIBEIRO, 2015, p.53). A Figura 31 mostra a expansão urbana da cidade com a finalização da construção da Itaipu.

Figura 31: Expansão urbana de Foz do Iguaçu em 1980.



Fonte: Resultado da pesquisa.

Posteriormente à década de 80, iniciou-se outro ciclo econômico para cidade de Foz do Iguaçu, visando o incentivo do comércio entre o Paraguai e o Brasil, além do incentivo ao turismo movimentando a economia local.

Com a finalização da construção de Itaipu, houve grande investimento por parte dos empresários de Foz do Iguaçu no setor turístico da cidade, a qual traria para região um amplo crescimento em diversos setores, gerando diversos empregos.

A reformulação do espaço urbano traria mais turistas e com a vinda deles mais renda, mas de fato orientava-se a criação de um desenho mais atraente para cidade, em prol do “desenvolvimento” do setor, que clamava para uma higienização da cidade, do que para a solução dos problemas daquela população. O turismo vai se transformando na agenda central do município, o interesse particular das elites locais é generalizado como a solução para toda sociedade. (RIBEIRO, 2002, p.62).

Deste modo, houve um grande incentivo para que os próprios moradores locais se especializarem para trabalhar no setor de comércio, turismo e serviços, formando assim guias turísticos e órgãos especializados para suprir a demanda turística que começava a crescer na cidade.

Vale ressaltar que este fato juntamente com o planejamento estratégico proporcionou diversas mudanças no território, principalmente em áreas estratégicas, a fim de embelezar a cidade para receber os turistas. Além do mais, foram desenvolvidas estratégias para conscientizar a população da importância de se manter a cidade arrumada e limpa, iniciando, ao mesmo tempo, a rearborização das principais vias do município e desenvolver um projeto paisagístico para a cidade.

Assim, enquanto havia a valorização da cidade e das áreas urbanas de interesse econômico e turístico para o local, houve em contrapartida a “coexistência de um grande fluxo de capital, pessoas e mercadoria a partir de comércio de produtos importados da fronteira. Esse cenário garante a permanência e o constante fluxo de uma classe trabalhadora” (RIBEIRO, 2002, p.82), gerando assim o ciclo sacoleiro, o qual proporcionou para a cidade de Foz do Iguaçu uma grande população flutuante (Figura 32).

Figura 32: Comércio em *Ciudad del Este*.



Fonte: Blog compras no Paraguai, 2020.

A compra e venda de mercadorias importadas era pouco fiscalizada e os preços dos produtos disponibilizadas no *microcentro* de Ciudad del Este eram atrativos e garantiam o sucesso das ocupações existentes na fronteira, sendo um convite para que outros trabalhadores desempregados procurassem seus meios de renda e sobrevivência no Paraguai. (RIBEIRO, 2002, p. 86).

Tal processo de compras e de revenda de mercadorias foi incentivado pela

baixa do dólar, além de estimular a vinda de estrangeiros para conhecer os atrativos turísticos na região, estabelecendo essa dinâmica no local por vários anos.

Vale ressaltar que em paralelo a este fato, houve neste período o aumento considerável na região de meios de hospedagens. Deste modo, a paisagem urbana de Foz do Iguaçu é modificada através das construções de prédios e edifícios, valorizando assim a região central da cidade, onde diversas obras de infraestrutura.

Ressalta-se que em meados da década de 90 houve a construção da Avenida Beira Rio, porém, em contrapartida a estas melhorias, havia várias ocupações irregulares na região da Avenida Paraná, além da Favela da Marinha, Favela do Cemitério, Favela do Bambu e Favela do Monsenhor Guilherme, as quais totalizavam uma população de aproximadamente três mil pessoas.

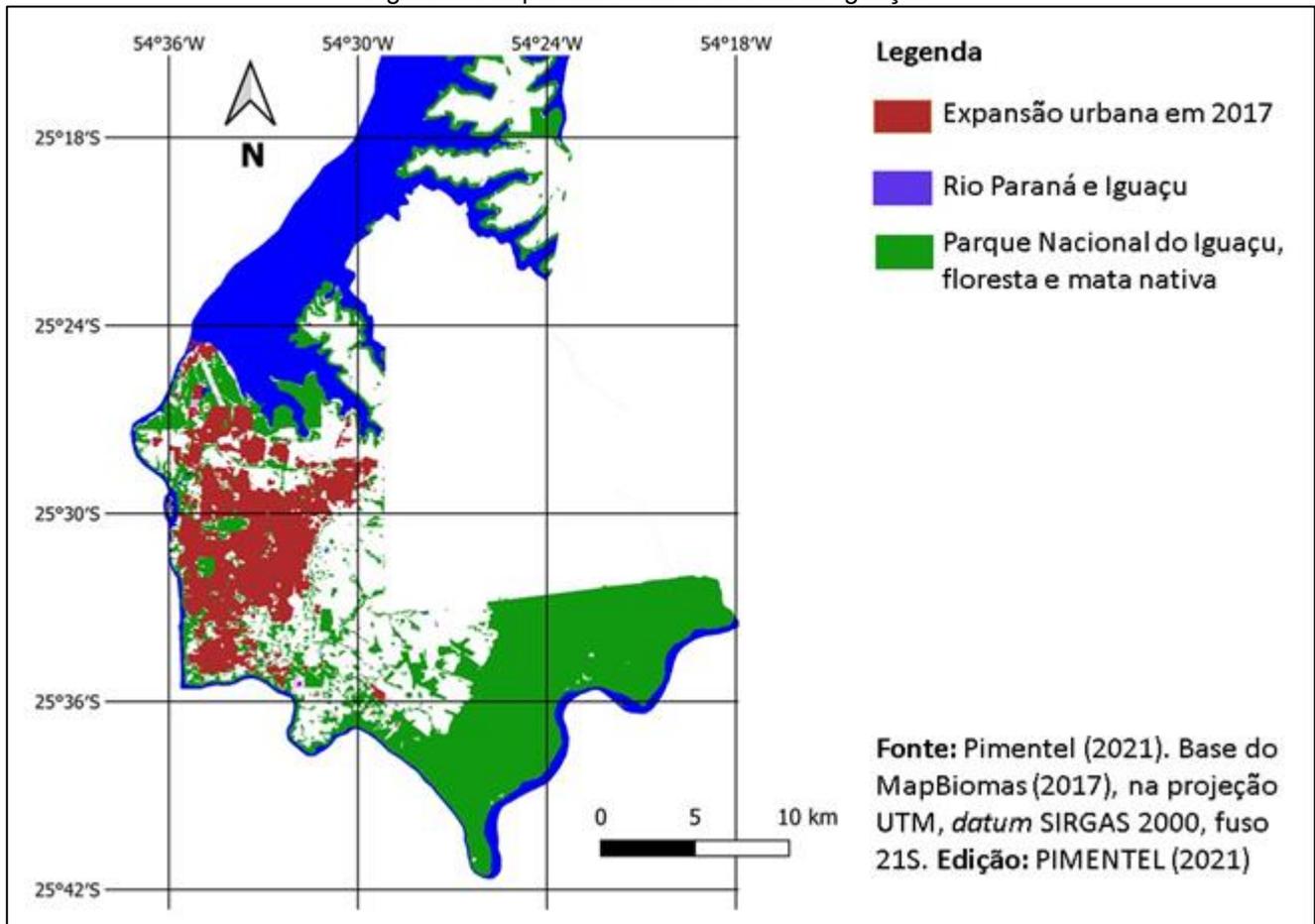
Em 1996, houve o incentivo para a construção do conjunto habitacional Cidade Nova, tal fato promoveu o deslocamento de diversas famílias as quais estavam alocadas em diferentes favelas ao longo do Rio Paraná para a região norte da cidade, consolidando assim os bairros Cidade Nova I e II.

Posteriormente, foi criada a Lei 2.269/1999, a qual instituiu a criação do corredor turístico para Foz do Iguaçu, tendo como objetivo padronizar o sistema viário da cidade, reorganizando assim as áreas de interesse turístico, o qual proporcionou a valorização de diversas áreas do município.

Esta realidade de investimentos voltados para o corredor turístico da cidade entra em conflito com o restante do território. Ao analisar a expansão urbana, observa-se a existência de diversas ocupações ao longo do território, tal como Favela da Marinha, Favela do Cemitério, Favela do Bambu e Favela do Monsenhor Guilherme, as quais ainda estão presentes na região. Vale ressaltar também que, desde 2013 nas proximidades do corredor turístico há a Ocupação Bubas, a qual até o presente momento é considerada a maior ocupação do Estado do Paraná, onde diversas famílias vivem em situação precária.

Diante deste cenário, onde o turismo e as relações comerciais entre os países são fatores limitadores do território de Foz do Iguaçu, definiu-se a malha urbana atual da cidade (Figura 33).

Figura 33: Expansão Urbana de Foz do Iguaçu.



Fonte: Resultado da pesquisa.

#### 4.2. CENÁRIO DO RCD EM FOZ DO IGUAÇU

Em relação ao gerenciamento do RCD na cidade de Foz do Iguaçu, analisa-se o Decreto nº 24.774/2016, que regulamenta a aplicação do Plano de Gerenciamento de RCD, visando à destinação correta desses resíduos. Deste modo, a Secretaria Municipal do Meio Ambiente, juntamente com a Prefeitura Municipal passam a ser responsáveis pela fiscalização desse processo, ao mesmo tempo em que os proprietários das construções - com área entre 70 e 300m<sup>2</sup> - ou demolições, com área inferior a 100m<sup>2</sup>, são responsáveis em apresentar o Plano Simplificado de Gerenciamento de Resíduos da respectiva construção. A partir desse documento, atribui-se aos geradores desses resíduos construtivos, a total responsabilidade sobre o gerenciamento do mesmo.

Conforme citado no Decreto nº 24.459/2016, o transporte e disposição destes resíduos deverão ser dispostos em locais licenciados pelo Instituto Ambiental do Paraná, sendo o mesmo realizado em Foz do Iguaçu pela Concessionária Vital Engenharia Ambiental S/A. De acordo com o estudo realizado por Frigo e Silveira (2012), o aterro

sanitário do município em questão, possui local adequado para o descarte dos resíduos sólidos da construção civil, sendo estes separados dos resíduos domiciliares.

Também é possível verificar na cidade a alta presença das construções e reformas informais, as quais segundo a pesquisa feita em 2015 pelo Conselho de Arquitetura e Urbanismo (CAU/BR) e pelo Instituto Datafolha, 54% dos 2419 entrevistados em todo país, já construíram ou reformaram suas habitações. Dentro deste percentual, 85% não utilizaram os serviços de um profissional da área, consolidando suas residências através da autoconstrução. Esta informalidade, além de contribuir para o crescimento desordenado da expansão urbana, influência diretamente na disposição clandestina dos resíduos sólidos da construção civil, os quais poderiam ser reciclados e reutilizados como matéria-prima para vários processos construtivos, minimizando diversos impactos ambientais. Deste modo, a indústria da construção civil ajudaria a evitar o desperdício desta fonte de recursos, tendo como consequência o desenvolvimento sustentável, dando enfoque à reutilização de diversos componentes.

Em 2012, a prefeitura de Foz do Iguaçu publicou o Plano Municipal de Saneamento Básico do município (PMSB) (Lei nº198/2012). Esse documento foi elaborado a partir de levantamentos de dados realizados pela equipe técnica da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), concessionária dos serviços de limpeza pública (Vital Engenharia Ambiental) e pela Cooperativa dos Agentes Ambientais de Foz do Iguaçu (COAAFI). O plano integra uma avaliação quali-quantitativa dos recursos hídricos e o licenciamento ambiental das atividades específicas como água, esgoto, resíduos sólidos, entre outros.

De acordo com o PMSB (2012), ao todo a cidade gera aproximadamente 7.049 toneladas de RCD por mês. Como alternativa para a disposição final desses resíduos o município possui empresas de reciclagem associadas à construção civil que utilizam o resíduo como insumo do processo produtivo. Porém, a capacidade de reciclagem ainda é limitada, absorvendo apenas uma pequena parcela de todo resíduo gerado. O restante é levado ao aterro sanitário da cidade ou descartado indevidamente em áreas clandestinas. O RCD levado ao aterro é depositado no setor de inertes. Parte desse resíduo é aproveitada no aterro para melhorar as condições das vias internas de acesso para tráfego do maquinário e caminhões caçambas, conforme a Figura 34.

Figura 34: Resíduos sólidos no aterro sanitário de Foz do Iguaçu.

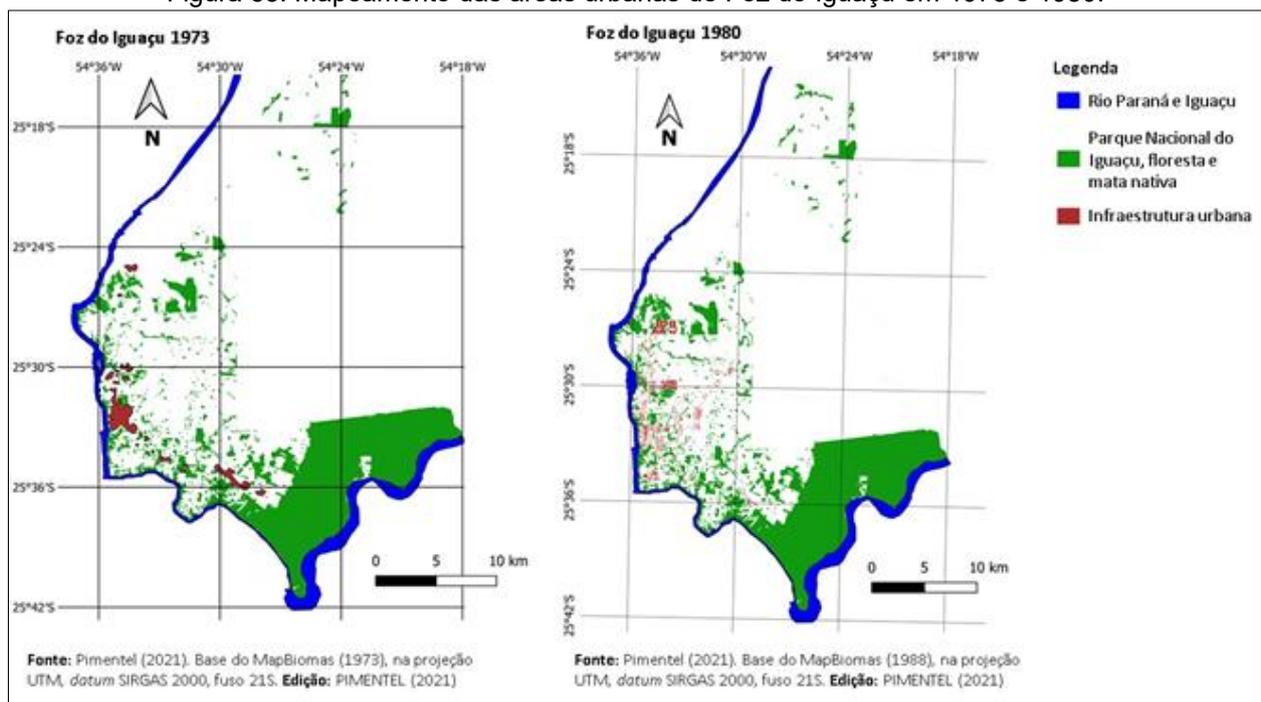


Fonte: PMSB, 2012.

#### 4.3. EXPANSÃO URBANA TEMPORAL DE FOZ IGUAÇU - PARANÁ

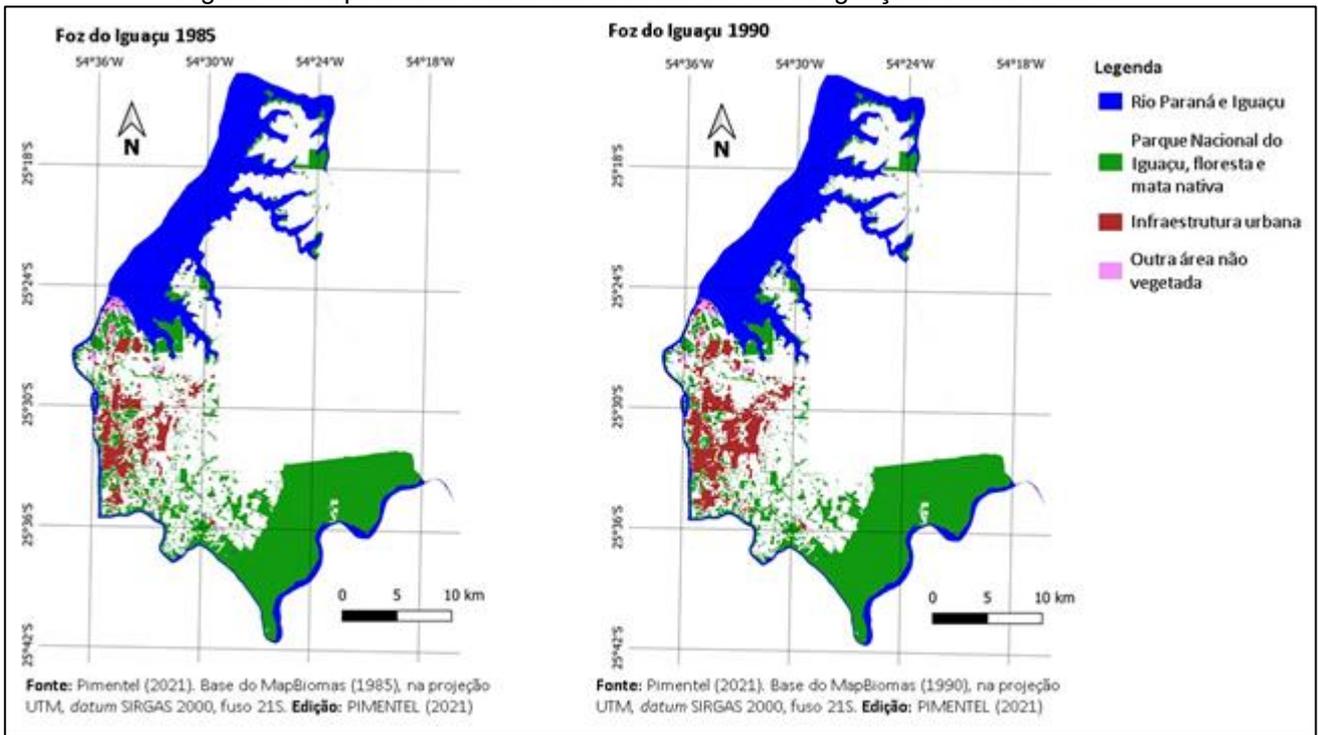
Para se estimar a área de expansão urbana da cidade de Foz do Iguaçu, desde 1973 até 2020, foram utilizadas as três metodologias apresentadas anteriormente, tal resultado é apresentado nas Figura 35 até Figura 39.

Figura 35: Mapeamento das áreas urbanas de Foz do Iguaçu em 1973 e 1980.



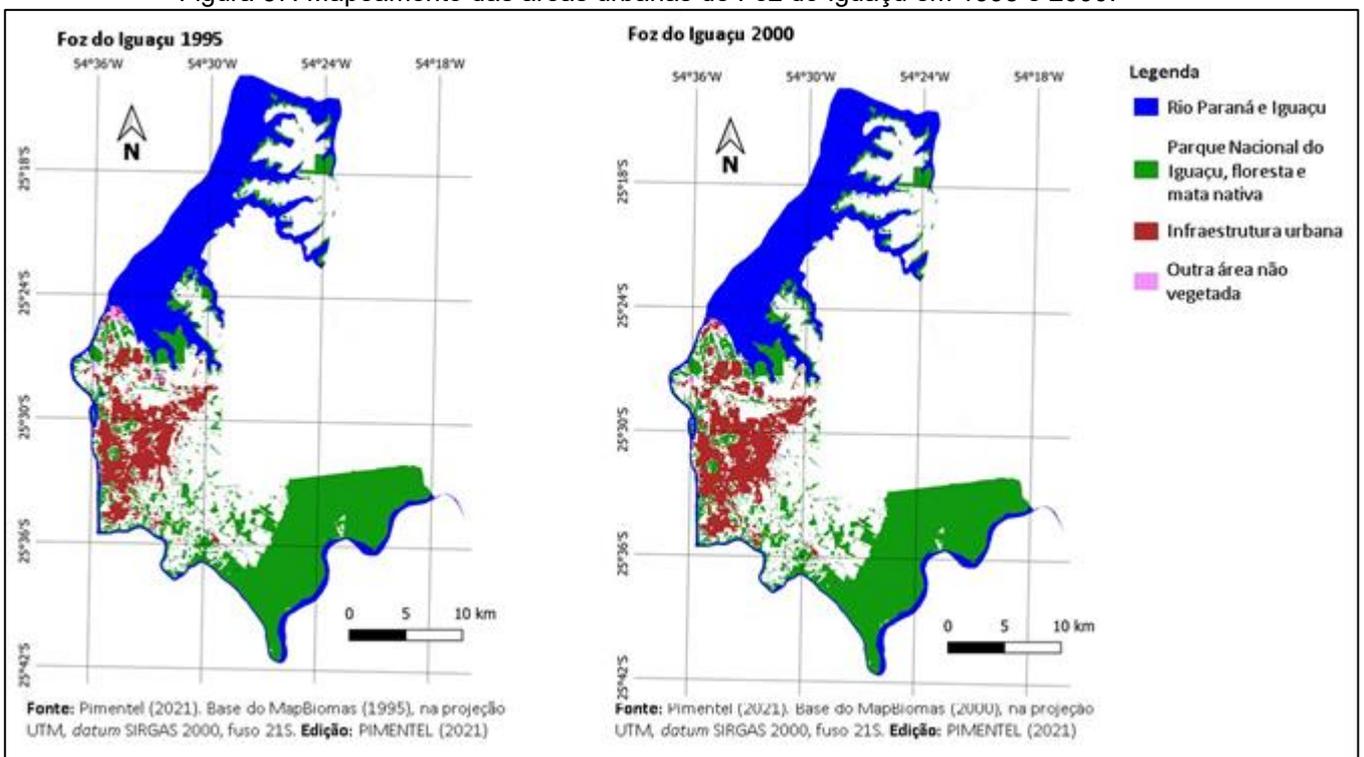
Fonte: Resultado da pesquisa.

Figura 36: Mapeamento das áreas urbanas de Foz do Iguaçu em 1988 e 1990.



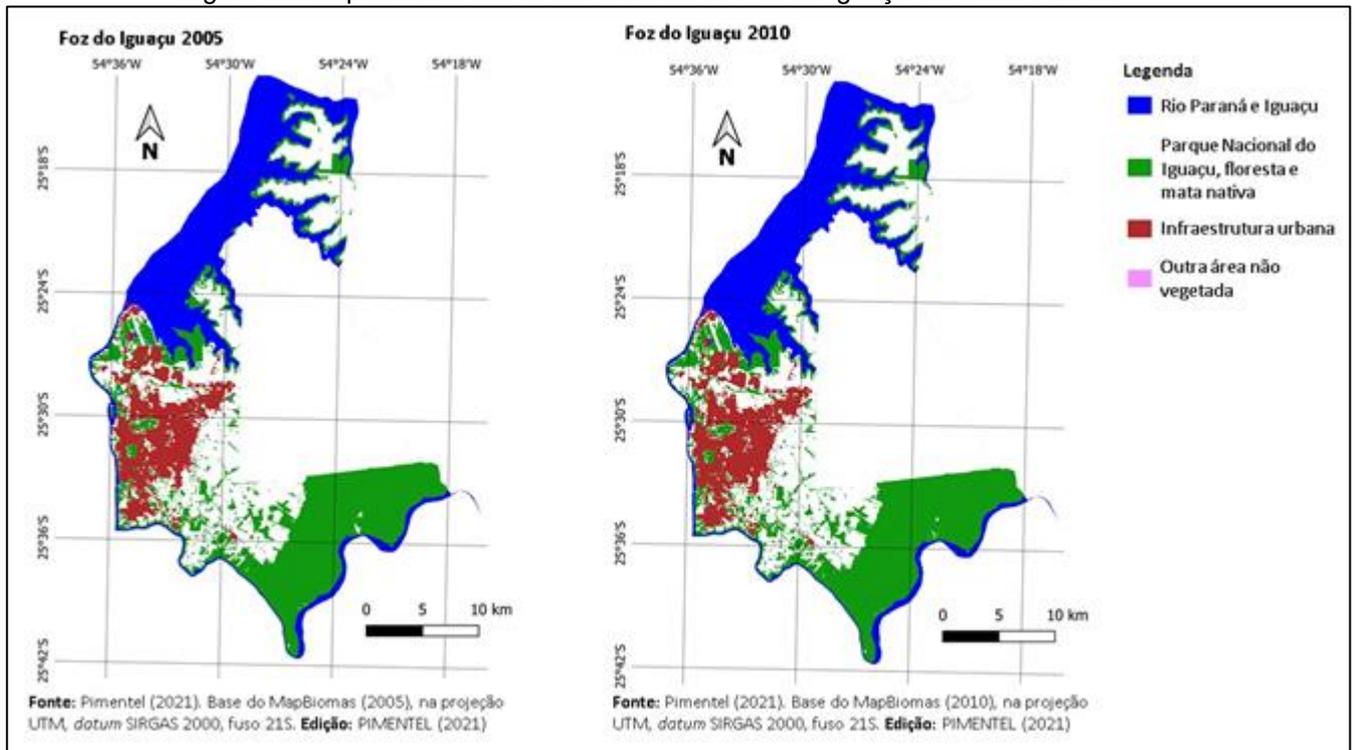
Fonte: Resultado da pesquisa.

Figura 37: Mapeamento das áreas urbanas de Foz do Iguaçu em 1995 e 2000.



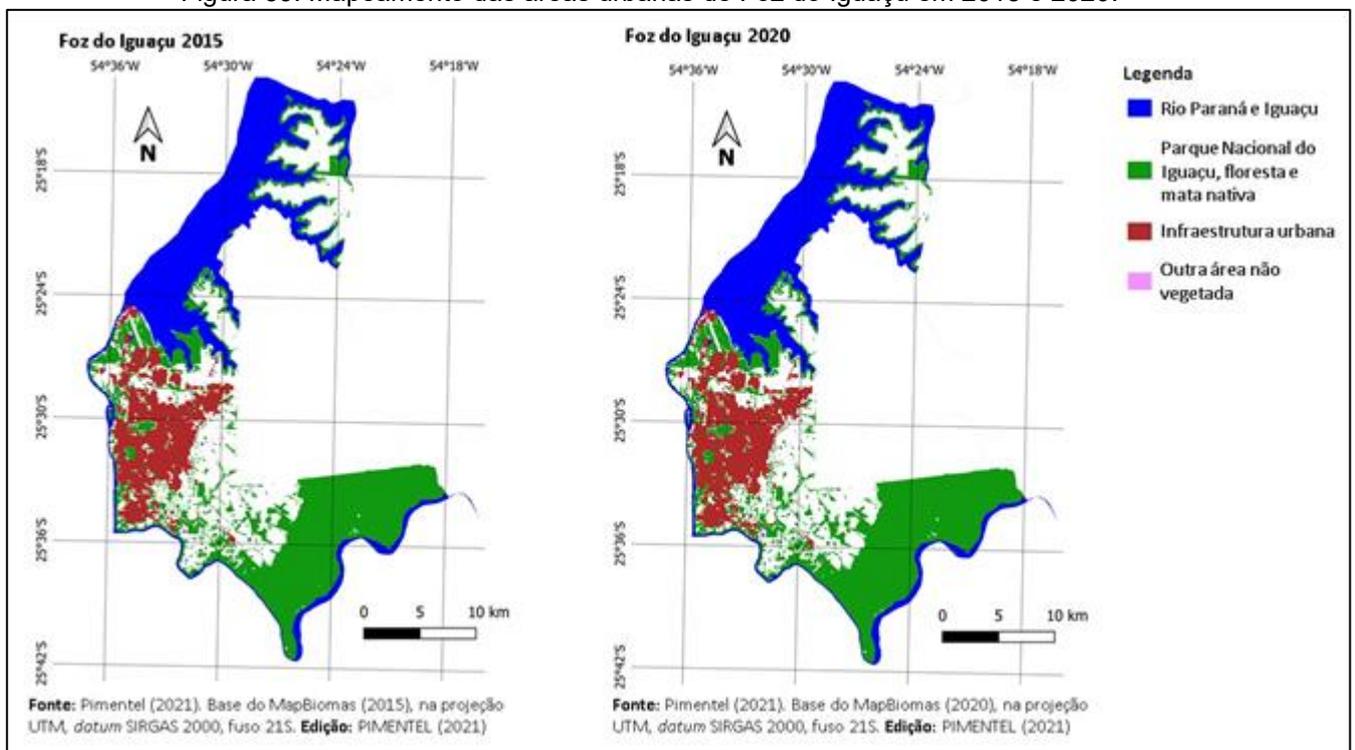
Fonte: Resultado da pesquisa.

Figura 38: Mapeamento das áreas urbanas de Foz do Iguaçu em 2005 e 2010.



Fonte: Resultado da pesquisa.

Figura 39: Mapeamento das áreas urbanas de Foz do Iguaçu em 2015 e 2020.



Fonte: Resultado da pesquisa.

#### 4.4. ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE RCD EM FUNÇÃO DA EXPANSÃO URBANA DE FOZ DO IGUAÇU

Para se estimar a produção de RCD, consequência da expansão urbana da cidade, utilizou-se a taxa de geração de resíduos de construção, desenvolvida por PINTO (1990), cujo valor é de 150 quilos de resíduo por metro quadrado construído.

Dessa forma, antes de se estimar a quantidade anual de resíduo em função da área urbana, foram realizadas análises estatísticas (correlação de Pearson) entre a evolução da expansão urbana, as quantidades ativas de ligações de água desde 2001 e as inscrições imobiliárias desde 2004, da cidade de Foz do Iguaçu. Na Tabela 17 são apresentados os dados utilizados nas análises de correlação (a área urbana, a quantidade de ligações ativas de água e o número de inscrições imobiliárias, desde 2001).

Tabela 17: Dados utilizados na análise de correlação (validação da expansão urbana).

Classe	Área Urbanizada (Km <sup>2</sup> )	Ligações Ativas de água (Unidade) *	Inscrições imobiliárias (Unidade) **
2001	67,8888	60.296	-
2002	68,7034	60.963	-
2003	68,9888	61.253	-
2004	69,5195	62.748	64.810
2005	69,6489	63.626	70.505
2006	70,0775	65.457	71.728
2007	70,2821	66.615	73.238
2008	70,6945	67.895	74.891
2009	70,9242	68.718	75.855
2010	71,2129	71.095	77.301
2011	72,6617	73.489	80.239
2012	73,1365	75.983	81.791
2013	73,9372	78.083	83.500
2014	74,3246	80.777	86.334
2015	75,1488	82.884	92.996
2016	75,7756	84.092	95.413
2017	76,2252	86.047	97.426
2018	77,0956	87.877	99.383
2019	77,225	90.150	102.020
2020	78,4148	-	103.913

Fonte: Adaptado do \*SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2021).

\*\* Prefeitura de Foz do Iguaçu (2021).

Por meio da análise de correlação de Pearson, constatou-se que há uma correlação superior a 99% entre os dados, conforme apresentado na Tabela 18.

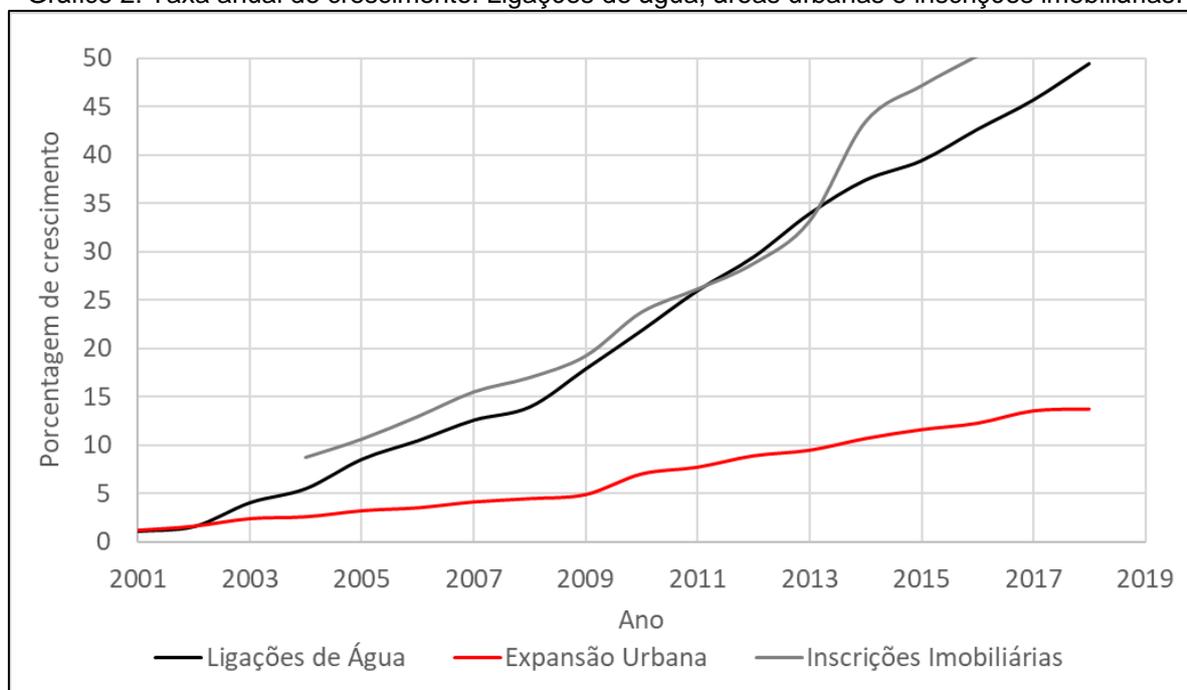
Tabela 18: Análise de correlação entre os dados da Tabela 17.

Ligações água e expansão urbana	0,996
Inscrições Imobiliárias e expansão urbana	0,988
Ligações água e Inscrições Imobiliárias	0,989

Fonte: Resultado da pesquisa (2021).

No Gráfico 2 são apresentadas as porcentagens de crescimento dos dados apresentados na Tabela 17 considerando como referência o primeiro ano de 2001, exceto para os dados de inscrições imobiliárias, que começam em 2004.

Gráfico 2: Taxa anual de crescimento: Ligações de água, áreas urbanas e inscrições imobiliárias.



Fonte: Resultado da pesquisa (2021).

Após a realização da análise de correção entre a área de expansão urbana, obtida por métodos de geoprocessamento, e outras variáveis que também expressão o crescimento da população da cidade de Foz do Iguaçu, considerou-se que, a área poderia ser utilizada para se estimar a quantidade de RCD em função da expansão urbana. Os resultados são apresentados na Tabela 19.

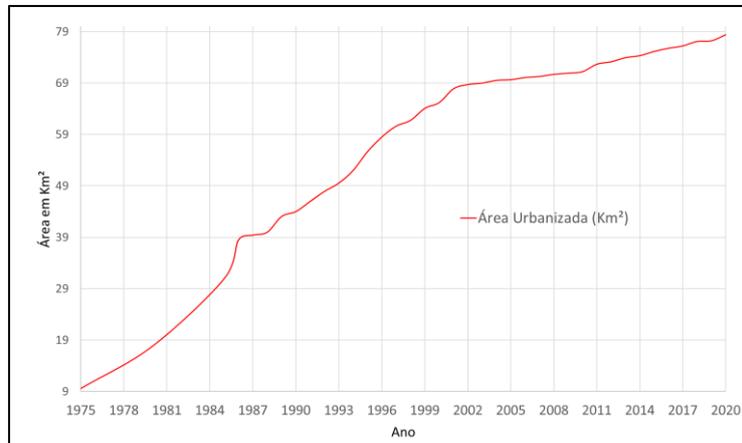
Tabela 19: Áreas obtidas pelo geoprocessamento e estimativa de RCD gerado.

Classe	Área superficial de rios (Km <sup>2</sup> )	Variação Anual Área Superficial Rios (Km <sup>2</sup> )	Área Florestal (Km <sup>2</sup> )	Variação Anual Área Florestal (Km <sup>2</sup> )	Área Urbanizada (Km <sup>2</sup> )	Variação Área urbana (Km <sup>2</sup> )	Geração de RCD anual (ton)	Geração Acumulada de RCD (ton)
1973	-	-	-	-	9,56	0,00	-	1.434.000
1980	-	-	-	-	17,8	8,24	1.236.000	2.670.000
1985	170,98	0,00	181,67	0,00	30,94	13,14	1.971.450	4.641.450
1986	171,70	0,72	173,05	-8,62	38,46	7,52	1.128.150	5.769.600
1987	172,17	0,47	171,19	-1,86	39,40	0,94	140.490	5.910.090
1988	172,20	0,02	171,12	-0,07	39,97	0,57	85.395	5.995.485
1989	172,23	0,04	169,30	-1,82	43,02	3,05	457.530	6.453.015
1990	172,28	0,05	172,41	3,10	43,99	0,97	145.710	6.598.725
1991	172,34	0,06	174,45	2,04	45,96	1,97	295.560	6.894.285
1992	172,45	0,11	175,91	1,46	47,92	1,96	294.210	7.188.495
1993	173,03	0,58	175,26	-0,65	49,54	1,62	243.135	7.431.630
1994	173,09	0,06	178,69	3,43	52,01	2,47	370.200	7.801.830
1995	173,12	0,03	178,68	0,00	55,66	3,64	546.480	8.348.310
1996	172,55	-0,57	179,88	1,20	58,50	2,85	427.200	8.775.510
1997	172,90	0,35	180,67	0,79	60,62	2,12	317.850	9.093.360
1998	172,80	-0,11	181,32	0,65	61,74	1,12	167.715	9.261.075
1999	172,97	0,17	180,61	-0,72	64,08	2,34	350.280	9.611.355
2000	170,29	-2,67	182,18	1,57	65,19	1,12	167.580	9.778.935
2001	170,14	-0,16	183,17	0,99	67,89	2,70	404.385	10.183.320
2002	170,12	-0,02	187,33	4,16	68,70	0,81	122.190	10.305.510
2003	170,35	0,24	192,22	4,89	68,99	0,29	42.810	10.348.320
2004	170,00	-0,35	193,72	1,50	69,52	0,53	79.605	10.427.925
2005	169,87	-0,13	195,35	1,63	69,65	0,13	19.410	10.447.335
2006	169,46	-0,41	196,85	1,50	70,08	0,43	64.290	10.511.625
2007	169,74	0,28	196,19	-0,65	70,28	0,20	30.690	10.542.315
2008	169,40	-0,35	197,13	0,94	70,69	0,41	61.860	10.604.175
2009	169,72	0,32	198,76	1,63	70,92	0,23	34.455	10.638.630
2010	169,82	0,10	199,20	0,45	71,21	0,29	43.305	10.681.935
2011	169,81	-0,02	197,74	-1,47	72,66	1,45	217.320	10.899.255
2012	169,59	-0,22	197,98	0,24	73,14	0,47	71.220	10.970.475
2013	169,20	-0,38	198,27	0,30	73,94	0,80	120.105	11.090.580
2014	168,88	-0,32	199,13	0,86	74,32	0,39	58.110	11.148.690
2015	169,02	0,14	199,99	0,86	75,15	0,82	123.630	11.272.320
2016	169,27	0,25	200,71	0,72	75,78	0,63	94.020	11.366.340
2017	169,04	-0,23	202,86	2,14	76,23	0,45	67.440	11.433.780
2018	168,90	-0,14	203,61	0,75	77,10	0,87	130.560	11.564.340
2019	168,45	-0,45	205,34	1,73	77,23	0,13	19.410	11.583.750
2020	168,19	-0,26	204,08	-1,26	78,41	1,19	178.470	11.762.220

Fonte: Resultado da pesquisa (2021).

No Gráfico 3 é apresentado a área urbanizada, em Km<sup>2</sup>, desde 1973 até 2020.

Gráfico 3: Área urbana da cidade de Foz do Iguaçu (de 1973 a 2020).



Fonte: Resultado da pesquisa (2021).

No Gráfico 4 são apresentadas as variações anuais da expansão urbana, áreas de florestas e corpos hídricos. Nos máximos positivos da expansão urbana, são apresentados os valores de RCD em toneladas gerados no ano de referência. Esse gráfico permite realizar uma análise histórica dos principais fatos ocorridos na cidade Foz do Iguaçu em função dos picos de variação dessas grandezas estimadas, como por exemplo, as crises hídricas tiveram como consequência a redução do nível do reservatório da Central Hidrelétrica Itaipu. Como consequência, é possível observar no Gráfico 4, períodos em que houve uma redução pontual das áreas superficiais dos corpos hídricos da cidade.

Gráfico 4: Variação anual das áreas: urbanas, florestal e corpos hídricos.



Fonte: Autora (2021).

## 5. CONCLUSÃO

O levantamento histórico da expansão urbana auxilia na compreensão da formação do território, ponderando as regiões da cidade onde há maior produção de RCD ao longo dos anos. Tal fato contribui diretamente para o gerenciamento do RCD presente no território, acrescentando um caráter qualitativo nos dados quantitativos determinados a partir da metodologia adotada com base no geoprocessamento.

O município de Foz do Iguaçu passou por um período de desenvolvimento econômico entre 1960 e 1970, com a inauguração da Ponte Internacional da Amizade. No mesmo, a malha urbana da cidade expandiu nos trechos de acesso ao Paraguai, aumentando a população urbana no município. Porém, grande parte da configuração espacial da cidade em si, somente foi determinada com a construção da Usina Hidrelétrica de Itaipu, implantada no leito do Rio Paraná.

Para analisar a expansão urbana da cidade de Foz do Iguaçu e estimar a geração de RCD, foram realizadas análises de geoprocessamento utilizando a plataforma *Google Earth Engine*, Mapbiomas e o programa Qgis. O GEE permitiu realizar o processamento rápido e eficiente das imagens orbitais e evidenciar a área urbana de Foz do Iguaçu em 1973. Embora a resolução da imagem disponível do satélite Landsat desse ano seja de 80 metros por pixel, foi possível obter um valor aproximado para iniciar as análises e complementar os dados subsequentes. Em relação aos dados de 1980, utilizou-se um mosaico de imagens aerofotográficas pancromáticas, com resolução de 1 metro por pixel. As áreas construídas foram estimadas por meio de análise visual utilizando o programa Qgis3.2. Essa metodologia foi utilizada somente para fins de aprendizagem. Devido ao tempo dedicado para o levantamento das áreas construídas, recomenda-se fortemente, a utilização e combinação de índices espectrais para se estimar essas grandezas, como por exemplo o NDBI. Finalmente, as áreas urbanas a partir de 1985 foram obtidas por meio da plataforma Mapbiomas Brasil, que utiliza as ferramentas de geoprocessamento do GEE para adquirir, processar, validar e armazenar os dados disponíveis na plataforma. Na última atualização da plataforma (coleção 5), foram utilizadas imagens orbitais do satélite Landsat 5, 6 e 7. Para a determinação das áreas urbanas, os profissionais utilizaram também, imagens noturnas VIIRS de satélite, que evidenciam as luzes noturnas, resultado das atividades humanas em áreas urbanas. Além disso, são utilizados diversos índices espectrais de forma combinada para extrair a área urbana, como por exemplo: NDVI, NDBI e o NDWI.

Analisando os resultados das imagens orbitais, constatou-se que a área urbana de Foz do Iguaçu passou de 10 Km<sup>2</sup> em 1973 para 31 Km<sup>2</sup> em 1985 consequência da expansão promovida pela construção da Central Hidrelétrica Itaipu. Nesse período, estima-se que tenham sido gerados mais de 1 milhão de toneladas de RCD. Constata-se ainda que, juntamente com a expansão urbana, uma área de aproximadamente 8 Km<sup>2</sup> de floresta foi desmatada.

Em 1989 ocorreu uma aceleração da expansão urbana da cidade. Nesse período, houve grande investimento por parte dos empresários de Foz do Iguaçu no setor turístico. Os moradores locais foram incentivados a se especializarem para trabalhar no setor de comércio, turismo e serviços, formando assim guias turísticos e órgãos especializados para suprir a demanda turística que começava a crescer em Foz do Iguaçu. Esse fato acarretou em reformas urbanas em áreas estratégicas, como por exemplo, a rearborização das principais vias do município e o desenvolvimento de um projeto paisagístico para a cidade.

De acordo com os dados orbitais, em 1991, a cidade apresentou uma expansão de aproximadamente 2 Km<sup>2</sup>. Nesse período, a baixa do dólar incentivou o crescimento de fluxo de pessoas e mercadoria a partir de comércio de produtos importados da fronteira, gerando assim o ciclo sacoleiro, o qual proporcionou para a cidade de Foz do Iguaçu uma grande população flutuante. Em paralelo, a paisagem urbana de Foz do Iguaçu é modificada através das construções de prédios e edifícios na região central da cidade, nas avenidas Jorge Schimmelpfeng e no início da República Argentina. Ainda na década de 90, houve a construção da Avenida Beira Rio, porém, em contrapartida a estas melhorias, haviam várias ocupações irregulares na região da Avenida Paraná, além da Favela da Marinha, Favela do Cemitério, Favela do Bambu e a Favela do Monsenhor Guilherme. De 1985 a 1990, estima-se que tenham sido gerados quase 4 milhões de toneladas de RCD.

Em 1995, os dados orbitais apresentam uma expansão urbana de aproximadamente 4 Km<sup>2</sup>. Nesse período, houve o incentivo para a construção do conjunto habitacional Cidade Nova. Tal fato promoveu o deslocamento de diversas famílias as quais estavam alocadas em diferentes favelas ao longo do Rio Paraná para a região norte da cidade, consolidando assim os bairros Cidade Nova I e II.

Em 1999 e em 2001, notam-se picos de expansão urbana de 2,5 Km<sup>2</sup>. Nesse período, foi criada a Lei 2.269/1999, a qual instituiu a criação do corredor turístico para Foz do Iguaçu, tendo como objetivo a padronização e a estruturação do sistema viário,

visando à reorganização de áreas, locais e bens de interesse turístico. Devido à valorização de diversas áreas da cidade, principalmente no corredor turístico, surgem conflitos de interesse devido à existência de diversas ocupações ao longo do território, tal como Favela da Marinha, Favela do Cemitério, Favela do Bambu e Favela do Monsenhor Guilherme, as quais ainda estão presentes na região. De 1990 a 2000, estima-se uma geração de 3 milhões de toneladas de RCD.

Em 2003, nota-se um pico de crescimento da vegetação na cidade de Foz do Iguaçu, aproximadamente, 5 Km<sup>2</sup>. Nesse período, a ITAIPU Binacional redefiniu o seu planejamento estratégico, resultando em uma nova missão: “gerar energia elétrica de qualidade, com responsabilidade social e ambiental, impulsionando o desenvolvimento econômico, turístico e tecnológico, sustentável, no Brasil e no Paraguai. Dessa forma, a empresa passou a investir em diversas ações sociais e ambientais, entre elas, a preservação e recuperação da mata ciliar do reservatório da barragem. De acordo com a ITAIPU (2008), estima-se que tenham sido recuperados mais de 100 hectares de floresta no Brasil e no Paraguai.

De 2003 até 2010, a taxa de expansão urbana se manteve constante, apresentando um pico de crescimento de 1,5 Km<sup>2</sup> em 2011. Esse fenômeno pode ser associado à resposta imobiliária da cidade com a chegada dos alunos da Universidade Federal da Integração Latino Americana (UNILA), que recebeu a primeira turma no segundo semestre de 2010 ao mesmo tempo em que este período também foi lançado o projeto do governo federal Minha Casa Minha Vida, onde o mesmo prevê inúmeras habitações para famílias que necessitam de moradia.

Finalmente, pode-se dizer que ao analisar a formação da cidade de Foz do Iguaçu e comparando o mesmo com os dados orbitais do satélite Landsat no período de 1973 a 2020, que a variação de crescimento das áreas dos fenômenos físicos obtidos por meio do geoprocessamento expressa fatores históricos que impactaram pontualmente a cidade. Além disso, por meio da quantificação de geração de RCD, utilizando a metodologia de Pinto (1999), foi possível estimar a geração de resíduo em cada fase de crescimento e evolução de Foz do Iguaçu, que em 2020 apresentava uma área urbana 78 Km<sup>2</sup> e uma geração total acumulada de resíduo, de aproximadamente 12 milhões de toneladas de RCD.

Vale a pena ressaltar que esta pesquisa faz uma análise espacial e planejada do território, não levando em conta as construções com mais de um andar, porém a mesma pode contribuir para estudos similares como este em outras cidades

colaborando diretamente para a gestão correta do RCD. Fica como sugestão para trabalhos futuros o levantamento das construções com mais de um andar na cidade de Foz do Iguaçu e análise do RCD gerado pelas mesmas, a fim de complementar os dados e contribuir com a correta gestão deste resíduo ao longo dos anos.

## REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010**. Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2013**. Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014**. Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015**. Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016**. Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017**. Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019**. Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

ATLAS OF URBAN EXPANSION. São Paulo. Disponível em: <[http://atlasofurbanexpansion.org/cities/view/Sao\\_Paulo](http://atlasofurbanexpansion.org/cities/view/Sao_Paulo)>. Extraído 10/06/2020.

ATLAS OF URBAN EXPANSION. São Paulo. Disponível em: <[http://atlasofurbanexpansion.org/cities/view/Ribeirao\\_Preto](http://atlasofurbanexpansion.org/cities/view/Ribeirao_Preto)>. Extraído 10/06/2020.

ÂNGULO, S. C.; TEIXEIRA, C. E.; Castro, A. L. de; NOGUEIRA, T. P. Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.24, n.10, p.299-306, jul/set 2011.

BENNETT, M.M.; SMITH, L.C. **Advances in using multitemporal night-time lights satellite imagery to detect, estimate, and monitor socioeconomic dynamics**. Remote Sens. Environ. 2017.

BRASIL. Decreto nº 24.459, de 26 de fevereiro de 2016. Dispõe sobre a prestação de serviços de disposição final de resíduos sólidos oriundos da construção civil. **Diário Oficial do Município de Foz do Iguaçu**, Foz do Iguaçu, PR, ano XIX, ed. 2.739, p. 49, 26 fev. 2016.

BRASIL. Decreto nº 24.774, de 9 de agosto de 2016. Regulamenta os procedimentos relativos à aplicação do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil – PGRCC e Plano de Gerenciamento de Resíduos de Demolição – PGRCD, no âmbito do Município de Foz do Iguaçu. **Diário Oficial do Município de Foz do Iguaçu**, Foz do Iguaçu, PR, ano XIX, ed. 2.871, p. 173, 24 agos. 2016.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos (SP); 2001.

BRASIL. Ministério do Turismo. Disponível em:< <http://www.turismo.gov.br/>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

BRITO, F.; HORTA, C. J. G.; AMARAL, E. F. L.. **A urbanização recente no Brasil e as aglomerações metropolitanas**. Disponível em:< <https://osf.io/84b92/>>. Extraído 31/01/2020.

BRITO, Fausto; SOUZA, Joseane de. Expansão Urbana nas Grandes Metrôpoles – o significado das migrações intrametropolitanas e da mobilidade pendular na reprodução da pobreza. São Paulo em Perspectiva, São Paulo, v.19, n.4, p.48-63, out/dez 2005.

CARELI, E. D. **A Resolução CONAMA no 307/2002 e as novas condições para gestão dos resíduos de construção e demolição. 2008**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2008. Disponível em: < <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp097631.pdf>>. Extraído 03/07/2020.

CAU/BR. **Pesquisa CAU/BR DATAFOLHA**. Disponível em: <<http://www.caubr.gov.br/pesquisa2015/>>. Extraído 31/08/2019.

CHENG, J. C. P.; MA, L. Y. H. A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning. **Waste Management**, p. 1539-1551. 2013.

COLVERO, D. A.; GOMES, A. P.; TARELHO, L. A. C.; MATOS, M. A. A.; SANTOS, K. A. Use of a geographic information system to find áreas for location of municipal solid waste management facilities. **Waste Management**, p. 1-16. 2018.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002: Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 jul. 2002.

CURY, M. J. F. **Territorialidades Transfronteiriças do Iguassu (TTI): Interconexões, Interdependências e Interpenetrações nas Cidades da Tríplex Fronteira – Foz do Iguassu (BR), Ciudad Del Este (PY) e Puerto Iguazú (AR)**. 2010. 234 f. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR. 2010.

ELVIDGE, C.D.; BAUGH, K.E.; ZHIZHIN, M.; HSU, F.-C. **Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights**. Proc. Asia Pac. Adv. Netw. 2013.

FIRJAN. **Construção Civil – Desafios 2020**. Disponível em:< <https://www.firjan.com.br/construcao-civil/desafios.htm>>. Extraído 02/05/2020.

FRIGO, J. P.; SILVEIRA, S. D. **Educação Ambiental e Construção Civil: Práticas De Gestão de Resíduos em Foz do Iguassu-PR**. 2012. p. 1938 – 1952.

HADLICH, H. L. **O reconhecimento de espécies arbóreas em campo por meio da casca com o uso da espectroscopia no visível e infravermelho próximo na Amazônia Central**. Dissertação De Mestrado Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA. 2017.

HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R. do V.. **Introdução ao Geoprocessamento: princípios básicos e aplicação**. 1ª edição. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2007.

HENDRIKS, C.F., PIETERSEN, H.S. Sustainable Raw Materials: Construction and Demolition Waste. **RILEM Publication, Cachan Cedex**, France, 2000.

HOLLER, F.J.; SKOOG, D.A.; CROUCH, S.R. **Princípios de Análise Instrumental**. 6 ed. Bookman, Porto Alegre, 2009.

IBGE. Relatório de Estação Geodésica. Disponível em: <<http://www.bdg.ibge.gov.br/bdg/pdf/relatorio.asp?L1=1715N>>. Extraído 10/06/2020.

JIN, R.; YUAN, H.; CHEN, Q. Science mapping approach to assisting the review of construction and demolition waste management research published between 2009 and 2018. **Resources, Conservation & Recycling**, p. 14, 2019.

KERN, A. P.; DIAS, M. F.; KULAKOWSKI, M. P.; GOMES, L. P.; Waste generated in high-rise buildings construction: A quantification model based on statistical multiple regression. **Waste Management**, p. 1-10, 2015.

LLATAS, C.; OSMANI, M. Development and validation of a building desing waste reduction model. **Waste Management**, p. 1-19, 2016.

LIMA, S. M. S. A.; LOPES, W. G. R.; FAÇANHA, A. C. Desafios do planejamento urbano na expansão das cidades: entre planos e realidade. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, p. 11, 2019.

MADI, N.; SROUR, I. Managing emergency construction and demolition waste in Syria using GIS. **Resources, Conservation & Recycling**, p. 163-175.

MARICATO, E. Metr pole, legisla o e desigualdade. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.17, n.48, p.151-167.

MARICATO, E. Urbanismo na Periferia do Mundo Globalizado Metr poles Brasileira. São Paulo. **São Paulo em Perspectiva**, v. 14 n. 4. Out/dez 2000.

MAPBIOMAS. **MapBiomas General "Handbook": Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) - Collection 5**. 2020.

MAPBIOMAS. Urban Infrastructure Appendix - Collection 5. 2020. Disponível em: <[https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Urban\\_Infrastructure\\_ATBD\\_Colecao\\_5\\_0\\_v1.docx.pdf](https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Urban_Infrastructure_ATBD_Colecao_5_0_v1.docx.pdf)>. Acessado em: 01 de set 2021.

MYSKIW, A. M. **A Fronteira Como Destino de Viagem: A Colônia Militar de Foz do Iguaçu (1888/1907)**. 2009. 245 f. Tese (Doutorado em História Social), Universidade Federal Fluminense. Niterói –RJ. 2009.

NOAA Star Center for Satellite Applications and Research. 2021.

OLIVEIRA, Luís G. L. de., PEREIRA, Leonardo M., PEREIRA, Gabriel, MORAES, Elisabete C. Estudo da variabilidade de índices de vegeta o através de imagens do ETM+/LANDSAT 7. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2007/01.1.19.10/doc/@sumario.htm>>.

Extraído 11/05/2019.

RIBEIRO, D. G. **Metamorfoses na Cidade: Tensões e Contradições na Produção e Apropriação do Espaço Urbano em Foz do Iguaçu**. 2015. 263 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais) – Centro de Ciências Humanas e Sociais – CCHS, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo. 2015.

RIBEIRO, M. de F. **Memórias do concreto: vozes na construção de Itaipu, Cascavel – PR**, EDUNIOESTE, 2002.

PINTO, T. de P. **Metodologia Para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**, 1999.

PMSB. **PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO MUNICÍPIO DE FOZ DO IGUAÇU - PR** . 2012.

ROSA, R. **Introdução ao Geoprocessamento**. Universidade Federal de Uberlândia - Instituto de Geografia, 2013.

SAKUNO, N. R.; KAWAKUBO, F. S.; SPALEVIC, V.; MINCATO, R. **Mapeamento de Superfícies Impermeáveis em Áreas Urbanas Utilizando Imagens Índices Geradas Pelo Sistema Landsat-5 Thematic Mapper**. RDG - Revista do Departamento de Geografia Universidade de São Paulo. Volume Especial – XVII. 2017.

SALLES, M.C.T; GRIGIO, A. M.; SILVA, M. R.F. Expansão Urbana e Conflito Ambiental: Uma Descrição da Problemática do Município de Mossoró, RN - Brasil. **Sociedade & Natureza**, p. 281, 2013.

SANTOS, M. A Urbanização Brasileira. São Paulo: **Editora da Universidade de São Paulo**, 5 ed. 1 reimpr. 2008.

SEROR, N.; PORTNOV, B. A. Identifying áreas under potential risk of ilegal construction and demolition waste dumping using GIS tools. **Waste Management**, p. 22-29. 2018.

SILVA, Izabelle Cristina da. **Geoprocessamento e biopolítica: vigilância espacial por meio do Sistema Único de Saúde**. 2019. 61 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia - Bacharel) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2019.

SILVA JUNIOR, E. J. **Análise Termo-Mecânica 2D da Barragem de Contraforte da Itaipu Pelo Método dos Elementos Finitos em Fortran**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2018.

SILVA, R. C. N.; MACÊDO, C. S. **Geografia Urbana - A Urbanização Brasileira**. Programa Universidade a Distância - UNIDIS. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN e Universidade Estadual da Paraíba - UEPB. 2009.

SILVA, R. F.; SANTOS, V. A.; GALDINO, S. M. G. **Análise dos impactos ambientais da Urbanização sobre os recursos hídricos na sub-bacia do Córrego Vargem Grande em Montes Claros-MG**. Caderno de Geografia, 2016.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. 2021.

SCREMIN, L. B. **Desenvolvimento de um Sistema de Apoio ao Gerenciamento de Resíduos de Construção e Demolição para Municípios de Pequeno Porte**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis. 2007. Disponível em: <[http://www.mpdft.mp.br/saude/images/Meio\\_ambiente/Desenvolvimento\\_sistema\\_apoio.pdf](http://www.mpdft.mp.br/saude/images/Meio_ambiente/Desenvolvimento_sistema_apoio.pdf)>. Extraído 10/07/2020.

SOUZA, A. A. de. **Itaipu e a Urbanização da Zona de Fronteira do Iguaçu: Cidade e Conjuntos Habitacionais da Usina Hidrelétrica**. 2011. 192 f. Dissertação (Mestrado em Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação na Área de Urbanismo da Pontifícia Católica de Campinas, Campinas. 2011.

SOUSA, M. T. **Análise do NDBI como método para classificar áreas construídas para os anos de 2000 e 2010 nos municípios de São José dos Campos, Jacareí e Arapeí, São Paulo**.

STASSUN, C. C. S. **Geoprocessamento como prática biopolítica de governo municipal: desenho de um dispositivo**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

TENG, Y. H.; JUN, Y.; XUE, C. L.; PENG, G. **Mapping Urban Land Use by Using Landsat Images and Open Social Data. Remote Sens.** Journals Remote Sensing. Vol. 8. 2016.

TESSARO, A. B.; SACCOL, J. S.; SCREMIN, L. B. **Quantificação e Classificação dos Resíduos Procedentes da Construção Civil e Demolição no Município de Pelotas, RS**. Ambiente Construído. Vol. 12, n. 2. Porto Alegre. 2012. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/ac/v12n2/08.pdf>>. Extraído 03/07/2020.

PAZ, D. H. F.; LAFAYETTE, K. P. V.; SOBRAL, M. C. GIS-based planning system for managing the flow of construction and demolition waste in Brazil. **Waste Management & Research**, p. 541-549. 2018.

PÉREZ-MACHADO, R. P. Os novos enfoques da geografia como apoio das tecnologias da informação geográfica. **Revista do Departamento de Geografia**, v. Especial Cartogeo, p. 203-241, 2014.

PIROLI, E. L. **Introdução ao geoprocessamento**. Ourinhos: Unesp-Campus Experimental de Ourinhos, 2010.

PNRS. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos 2012**. Disponível em: <[https://sinir.gov.br/images/sinir/Arquivos\\_diversos\\_do\\_portal/PNRS\\_Revisao\\_Decreto\\_28\\_0812.pdf](https://sinir.gov.br/images/sinir/Arquivos_diversos_do_portal/PNRS_Revisao_Decreto_28_0812.pdf)>. Acesso em: 05 jan. 2020.

VAL, S. dos S. **A metrópole brasileira: origens e perspectivas**. Disponível em: <<https://cp2.g12.br/ojs/index.php/PS/article/view/603/516>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

VILLORIA-SÁEZ, P.; PORRAS-AMORES, C.; DEL RIO MERINO, M. Estimation of construction and demolition waste. **Advances In Construction and Demolition Waste Recycling**, p.13-30. 2020.

VILLORIA-SÁEZ, P.; PORRAS-AMORES, C.; DEL RIO MERINO, M. New quantification proposal for construction waste generation in new residential constructions. **Journal of Cleaner Production**, p.1-8. 2015.

ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International Journal Of Remote Sensing**, China, v. 24, n. 3. 2001.

ZHI-QIANG LU; FU-QIANG DAI; CHENG SUN. Evaluation of urban sprawl and urban landscape pattern in a rapidly developing region. **Springer Science**, p. 6437- 6448. 2011.