



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

**RECENTES MUDANÇAS NA COBERTURA FLORESTAL NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO ARROIO LAMI, PORTO ALEGRE,  
COM DADOS DE SENSORES REMOTOS E SIG**

ÁLVARO DEBOM STEIW

ORIENTADORA: PROF. DR. KÁTIA KELLEM DA ROSA

**PORTO ALEGRE  
2019**

**ÁLVARO DEBOM STEIW**

**RECENTES MUDANÇAS NA COBERTURA FLORESTAL NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO ARROIO LAMI, PORTO ALEGRE,  
COM DADOS DE SENSORES REMOTOS E SIG.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento para obtenção do Título de Mestre em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. Área de Concentração: Sensoriamento Remoto Aplicado.

Orientadora: Dra. Kátia Kellem da Rosa

**PORTO ALEGRE  
2019**

### CIP - Catalogação na Publicação

Steiw, Álvaro Debom

Recentes Mudanças na Cobertura Florestal na Bacia Hidrográfica do Arroio Lami, Porto Alegre, com Dados de Sensoriamentos Remotos e SIG / Álvaro Debom Steiw. -- 2019.

120 f.

Orientador: Kátia Kellem da Rosa.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Porto Alegre, BR-RS, 2019.

1. Fragmentação Florestal. 2. Uso e Cobertura da Terra. 3. Plano Diretor. 4. PlanetScope. 5. Métricas de Paisagem. I. da Rosa, Kátia Kellem, orient. II. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**ÁLVARO DEBOM STEIW**

**RECENTES MUDANÇAS NA COBERTURA FLORESTAL NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO ARROIO LAMI, PORTO ALEGRE,  
COM DADOS DE SENSORES REMOTOS E SIG.**

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dra. Kátia Kellem da Rosa (Orientadora) - UFRGS

---

Dr. Júlio Celso Borello Vargas - UFRGS

---

Dr. Marcos Wellausen Dias de Freitas - UFRGS

---

Dr. Venisse Schossler - UFRGS

APROVADO EM: \_\_\_\_ DE \_\_\_\_\_ DE 2019.

## **Agradecimentos**

A minha orientadora, Professora Kátia Kellem da Rosa, pela orientação, confiança e incentivo a mim dados, para o desenvolvimento deste trabalho;

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pública e gratuita, por ter proporcionado uma educação exemplar em vários momentos da minha formação acadêmica;

Ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, pela estrutura disponibilizada para o desenvolvimento desta dissertação;

Aos amigos e colegas de curso, pelos momentos de discussão e crescimento pessoal;

Aos amigos e colegas da Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Porto Alegre pela constante troca de conhecimento e informações;

A minha mãe, Leny, pelo apoio quando mais necessitava;

A minha esposa, Lilian Meyer, pelo amor verdadeiro e único que lhe tenho, pela imensa dedicação a nossa família, me apoiando, me ouvindo;

Ao meu filho querido e amado, Thiago, que teu pai seja o farol do teu caminho;

Ao meu Théo, anjo lindo que me zela.

## RESUMO

O objetivo geral da dissertação de mestrado é investigar variações no uso e cobertura da terra e nos padrões espaciais de fragmentação florestal na bacia hidrográfica do Arroio Lami, localizada em Porto Alegre, RS, no período entre 2003 a 2018. Foi realizado o mapeamento das atuais classes de uso da terra e cobertura vegetal e comparadas as variações de uso e cobertura entre o Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre de 2003, Levantamento Aerofotogramétrico da Prefeitura Municipal de Porto Alegre de 2010 e o mapeamento da imagem *PlanetScope* de 2018 com uso do plug-in *Semi-Automatic Classification* (SCP) do QGis. Realizou-se o cálculo e análise das métricas da paisagem (número de fragmentos existentes, a relação de tamanho entre eles, o formato e grau de conectividade) para 2003, 2010 e 2018. O mapa de classes de uso e cobertura para 2018 evidencia que a bacia possui 62% de Vegetação Arbórea, 34% de Vegetação Herbácea e 4% de urbano. A classe de coberturas florestais localiza-se principalmente nas áreas mais íngremes dos morros. A planície aluvial, junto ao Arroio Lami, é a unidade com maior crescimento urbano e a ocupação por áreas de cultivo. Evidenciou-se um aumento significativo no total de área dos fragmentos florestais, passando de 17.275 ha em 2003 para 21.402 ha em 2018 e também um aumento de 23% de área florestada (4.127 ha) em 15 anos, refletindo a recuperação florestal na bacia, a qual está relacionada com as características dos fragmentos florestais e da evolução no uso e cobertura. O comportamento da métrica Área Total evidenciou o aumento da cobertura florestal de 1.437 ha em 2003 para 1.662 ha em 2018 na unidade APAN e de 254,60 ha em 2003 para 346,78 ha em 2018 na Zona Rural. A maior preservação e adensamento da floresta na APAN é relacionada a sua característica geomorfológica, enquanto, na Zona Rural, é relacionada ao abandono de algumas áreas antes destinadas para agricultura. A dinâmica da paisagem da bacia dependerá de planejamento e de ações, envolvendo o Plano Diretor, visando a compatibilização do uso da terra e a sustentabilidade ambiental, com o planejamento da ocupação e da conservação da paisagem como um todo, em especial a Zona Rural, onde ocorre o processo de fragmentação. O entendimento das recentes mudanças na bacia e a relação com as bacias do entorno pode auxiliar na definição de políticas públicas e de diretrizes para o uso sustentável das demais bacias hidrográficas da região sul de Porto Alegre.

Palavras-chave: fragmentação florestal, uso e cobertura da terra, Plano Diretor, APAN Morro São Pedro e do Lami.

## ABSTRACT

This dissertation aims to investigate variations in land use, cover, and forest spatial fragmentation patterns in the Arroio Lami drainage basin, located in Porto Alegre, RS, between 2003 and 2018. Mapping of the current land use classes and vegetation cover was carried out and the use and coverage variations were compared to the Porto Alegre Environmental Diagnosis 2003, Porto Alegre 2010 Aero Photogrammetric data and the 2018 PlanetScope image mapping (using the QGIS Semi-Automatic Classification plugin). Calculation and analysis of the landscape metrics (number of existing fragments, size relation between them, form and degree of connectivity) has been performed for 2003, 2010 and 2018. Land use and cover class map for 2018 shows that the basin has 62% of Arboreal Vegetation, 34% of Herbaceous Vegetation and 4% of urban. Forest cover class is mainly located in the steepest areas of the hills. Such alluvial plain, next to Arroio Lami, displays greater urban growth and occupation by cultivated areas. There was a significant increase in the total area of forest fragments, from 17,275 ha in 2003 to 21,402 ha in 2018 and also a 23% increase in forest area (4,127 ha) within 15 years, reflecting forest recovery in the basin, which is related to the characteristics of the forest fragments and the evolution in the use and coverage. The behavior of the Total Area metric showed the increase in forest coverage from 1,437 ha in 2003 to 1,662 ha in 2018 in the APAN unit and from 254,60 ha in 2003 to 346,78 ha in 2018 in the Rural Area. Greater preservation and densification of the forest in APAN area is related to its geomorphological characteristic, whereas in the Rural Area it is related to the abandonment of some areas previously destined to agriculture. The dynamics of the basin landscape will depend on planning and actions, involving the Urban Architectural Plan, aiming at the compatibility of land use and environmental sustainability, planning the occupation and conservation of the landscape as a whole, especially in Rural Areas, where the fragmentation process occurs. This understanding of the recent changes in the basin and the relationship with its surrounding basins can help us in the making of public policies and guidelines for the sustainable use of the other hydrographic basins in the southern region of Porto Alegre.

Keywords: Forest Fragmentation, land use and coverage, Urban Architectural Plan, APAN Morro São Pedro and Lami.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
SUMÁRIO.....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	ix
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	x
LISTA DE TABELAS e QUADROS.....	xi
CAPÍTULO 1.....	12
1.1 Introdução.....	13
1.2 Objetivo Geral.....	15
1.2.1. Objetivos Específicos.....	15
1.3 Área de Estudo.....	15
1.4 Justificativa.....	19
CAPÍTULO 2. ALTERAÇÕES NA COBERTURA FLORESTAL E NO ESPAÇO URBANO: DESAFIOS PARA O PLANEJAMENTO URBANO .....	21
2.1 Evolução do Espaço Urbano.....	21
2.1.1 Fatores Populacionais na Transformação do Espaço Urbano.....	21
2.1.2 Planos Diretores e as Transformações Urbanas.....	23
2.1.2.1 O Plano Diretor de Porto Alegre.....	23
2.1.2.2 Bacia hidrográfica do Arroio Lami e as Zonas de Uso .....	34
2.2 Cobertura Florestal no Espaço Urbano.....	40
2.2.1 Relevância das Unidades de Conservação.....	40
2.2.2 Ecologia de Paisagem .....	43
2.2.3 Sensoriamento Remoto Aplicado .....	44
CAPÍTULO 3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	47
3.1 Dados.....	47
3.2 Procedimento Metodológicos.....	51
3.2.1 Mapeamento do Uso da Terra.....	54
3.2.2 Métricas de Paisagem.....	58
3.2.3 Fotos da área de estudo .....	64
CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	66
4.1 PRIMEIRO ARTIGO.....	66
Mudanças Espaço-temporais de Uso e Cobertura da Terra da Bacia Hidrográfica do Arroio Lami, Porto Alegre, RS.	
4.2 SEGUNDO ARTIGO.....	85
Plano Diretor e as Métricas de Paisagem nos anos de 2003, 2010 e 2018 na Bacia hidrográfica do Arroio Lami, Porto Alegre – RS.	
CAPÍTULO 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	108
REFERÊNCIAS.....	112

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>INPE</b>	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
<b>PDDU</b>	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano
<b>PDDUA</b>	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental
<b>PMPA</b>	Prefeitura Municipal de Porto Alegre
<b>RB</b>	Reserva da Biosfera
<b>RBMA</b>	Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA)
<b>REBIO</b>	Reserva Biológica
<b>REVIS</b>	Reserva da Vida Silvestre
<b>SIG</b>	Sistemas de Informação Geográfica
<b>SMAMS</b>	Secretaria Municipal do Meio Ambiente e Sustentabilidade
<b>SMF</b>	Secretaria Municipal da Fazenda
<b>UC</b>	Unidades de Conservação
<b>UFRGS</b>	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
<b>UTM</b>	Universal Transversa de Mercator

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1:</b>	Localização da Bacia hidrográfica do Arroio Lami .....	16
<b>Figura 2:</b>	Vista aérea da Bacia hidrográfica do Arroio Lami .....	17
<b>Figura 3:</b>	Mapa Topográfico de Porto Alegre - 1941 .....	25
<b>Figura 4:</b>	Mapa Topográfico de Porto Alegre - 1956.....	26
<b>Figura 5:</b>	Mapa do Plano Diretor de Porto Alegre - 1959 .....	26
<b>Figura 6:</b>	Mapa do Plano Diretor de Porto Alegre - 1979 .....	28
<b>Figura 7:</b>	Evolução Urbana de Porto Alegre .....	29
<b>Figura 8:</b>	Estratégia de Produção da Cidade – PDDUA .....	31
<b>Figura 9:</b>	Estratégia de Sistema de Produção – PDDUA .....	32
<b>Figura 10:</b>	Zonas de Usos da Bacia hidrográfica do Lami / PDDUA .....	35
<b>Figura 11:</b>	Localização das Unidades de Conservação .....	37
<b>Figura 12:</b>	Reservas da Biosfera Brasileira .....	41
<b>Figura 13:</b>	CubeSat Dove da empresa Planet .....	49
<b>Figura 14:</b>	Fluxograma da Metodologia .....	51
<b>Figura 15:</b>	Fluxograma da Metodologia .....	52
<b>Figura 16:</b>	Imagem da Bacia hidrográfica do Arroio Lami .....	53
<b>Figura 17:</b>	Mapa de Uso e Cobertura da Terra 2003 .....	55
<b>Figura 18:</b>	Mapa de Uso e Cobertura da Terra 2010 .....	57
<b>Figura 19:</b>	Evolução florestal da Bacia hidrográfica do Lami .....	59
<b>Figura 20:</b>	Fragmentos Florestais no ano de 2003 por Zona de Uso .....	60
<b>Figura 21:</b>	Fragmentos Florestais no ano de 2010 por Zona de Uso .....	61
<b>Figura 22:</b>	Fragmentos Florestais no ano de 2018 por Zona de Uso .....	62
<b>Figura 23:</b>	Imagem da Bacia .....	64
<b>Figura 24:</b>	Imagem da Bacia .....	65

### Artigo 1

---

<b>Figura 1:</b>	Localização da Bacia hidrográfica do Arroio Lami .....	68
<b>Figura 2:</b>	Vista aérea da Bacia hidrográfica do Arroio Lami .....	73
<b>Figura 3:</b>	Mapa de Uso e Cobertura da Terra 2003 .....	75
<b>Figura 4:</b>	Mapa de Uso e Cobertura da Terra 2010 .....	76

### Artigo 2

---

<b>Figura 1:</b>	Localização da Bacia hidrográfica do Arroio Lami.....	88
<b>Figura 2:</b>	Fluxograma da Metodologia.....	91
<b>Figura 3:</b>	Evolução florestal (verde) na Bacia hidrográfica do Lami.....	93
<b>Figura 4:</b>	Unidade de planejamento da Bacia Hidrográfica do Arroio Lami1.....	94
<b>Figura 5:</b>	Fragmentos Florestais no ano de 2003 por Zona de Uso .....	96
<b>Figura 6:</b>	Fragmentos Florestais no ano de 2010 por Zona de Uso .....	97
<b>Figura 7:</b>	Fragmentos Florestais no ano de 2018 por Zona de Uso .....	98
<b>Figura 8:</b>	Comportamento da métrica área total.....	100
<b>Figura 9:</b>	Comportamento da métrica área média.....	101
<b>Figura 10:</b>	Comportamento da métrica índice da maior mancha.....	102
<b>Figura 11:</b>	Comportamento da métrica densidade de borda.....	103
<b>Figura 12:</b>	Comportamento da métrica dimensão fractal.....	103
<b>Figura 13:</b>	Comportamento da métrica MESH.....	104

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b>	Participação da População Urbana e Rural, Brasil, 1950 – 2010.....	21
<b>Tabela 2:</b>	População de Porto Alegre de 1950 a 2017. Fonte: IBGE. ....	22
<b>Tabela 3:</b>	Áreas das Zonas de Usos da Bacia hidrográfica do Lami.....	36
<b>Tabela 4:</b>	Variações da Classe Arbórea entre 2003 e 2018.....	109

### Artigo 1

---

<b>Tabela 1:</b>	Matriz de erro do SCP.....	77
<b>Tabela 2:</b>	Distribuição de classes de uso e cobertura da terra entre 2003 e 2018	78
<b>Tabela 3:</b>	Variação da classe arbórea entre 2003 e 2018.....	81

### Artigo 2

---

<b>Tabela 1:</b>	Unidade de planejamento da bacia hidrográfica do Lami/PDDUA.....	94
------------------	--	----

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b>	Fonte de dados utilizados .....	47
<b>Quadro 2:</b>	Nível de informações do Diagnóstico Ambiental .....	47
<b>Quadro 3:</b>	Nível de informações do Levantamento Aerofotogramétrico de 2010	48
<b>Quadro 4:</b>	Características do produto PlanetScope Ortho Scene. ....	49
<b>Quadro 5:</b>	Registro das vistorias realizadas.....	52
<b>Quadro 6:</b>	Classes de Uso da Terra – Diagnóstico Ambiental Porto Alegre .....	54
<b>Quadro 7:</b>	Classificação associada aos valores da estatística Kappa .....	56
<b>Quadro 8:</b>	Métricas de paisagem utilizadas na paisagem na Bacia do Lami .....	63

### Artigo 1

---

<b>Quadro 1:</b>	Nível de informações do Diagnóstico Ambiental .....	69
<b>Quadro 2:</b>	Nível de informações do Levantamento Aerofotogramétrico de 2010	70
<b>Quadro 3:</b>	Características do produto PlanetScope Ortho Scene. ....	70
<b>Quadro 4:</b>	Classes de Uso da Terra – Diagnóstico Ambiental Porto Alegre .....	72
<b>Quadro 5:</b>	Classificação associada aos valores da estatística Kappa .....	74

### Artigo 2

---

<b>Quadro 1:</b>	Fonte de dados utilizados .....	89
<b>Quadro 2:</b>	Nível de informações do Diagnóstico Ambiental .....	89
<b>Quadro 3:</b>	Nível de informações do levantamento aerofotogramétrico.....	90
<b>Quadro 4:</b>	Características do produto PlanetScope Ortho Scene.....	90
<b>Quadro 5:</b>	Classes de Uso da Terra – Diagnóstico Ambiental Porto .....	92
<b>Quadro 6:</b>	Métricas utilizadas na quantificação da paisagem da Bacia do Lami.	94

# CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 INTRODUÇÃO

A segunda metade do século XX no Brasil foi estruturada pelas intensas relações entre dinâmica demográfica e processo de urbanização. A tendência generalizada de baixos níveis de fecundidade e os deslocamentos de população em busca por melhores condições de vida implicou no progressivo crescimento das cidades brasileiras, concebido por um desenvolvimento urbano que descartou qualquer análise das condições ambientais preexistentes.

Dados dos Censos Demográficos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE registram que em 1950, 36% da população brasileira residia em áreas urbanas, atingindo em 2010 a marca de 84%, concentrando 160 milhões de pessoas em menos de 1% do território nacional (0,63%). A primeira transição urbana no Brasil ocorreu durante o meio da década de 1960, quando a população vivendo em espaços urbanos já tinha uma participação maior do que a população rural.

Dessa forma, o processo de urbanização e expansão das atividades antrópicas, conforme Kurasz *et al.* (2008), intensificou as pressões sobre as áreas com vegetação natural que, normalmente, não resistem à rápida ampliação da área urbana.

Este processo de ampliação urbana sobre a vegetação provoca a perda e a fragmentação antrópica de habitats que, conforme Tabarelli & Gascon (2005), representa a maior ameaça para a biodiversidade do planeta, resultando em mudanças na formação e no desempenho das comunidades animais e vegetais, e alterando significativamente a paisagem.

Portanto, nas paisagens onde a cobertura vegetal nativa está comprometida pelo avanço do desflorestamento, conforme Silva *et al.* (2014), é estratégica a proposição de ações eficientes, em termos de compatibilização dos usos das terras e a conservação da biodiversidade, através do planejamento da paisagem.

A maioria das paisagens é influenciada por ações antrópicas, segundo Turner (1990) e Felizola (2004), resultando em um mosaico de paisagens que é uma mistura de elementos naturais e antrópicos, que variam em tamanho, forma, arranjo e grau de

isolamento, permitindo a aplicação dos índices descritores da paisagem ou métricas da paisagem na análise da estrutura da paisagem.

Segundo Metzger (2001) a Ecologia de Paisagem é o campo da ecologia que enfatiza a interação entre padrões espaciais e processos ecológicos, isto é, as causas e consequências do espaço heterogêneo ao longo de uma faixa de escalas espaciais e temporais.

Assim, a avaliação da estrutura da paisagem através das métricas de paisagem, é considerada por Metzger (2001), um método eficiente que permite analisar os padrões de fragmentação, alicerçando as análises que visam quantificar e qualificar a paisagem.

A Ecologia de Paisagem, conforme Porto & Menegat (2004), estuda as relações da paisagem em duas dimensões de entendimento e representação: uma no plano horizontal e, outra, no vertical. Na dimensão horizontal, se colocam as questões geográficas, isto é, o entendimento e a representação dos fenômenos naturais e das atividades e artefatos humanos distribuídos no espaço. Na dimensão vertical, estão as questões ecológicas, as quais estudam as relações funcionais de um determinado lugar, definido como ecótopo.

Para a análise da Bacia hidrográfica do Arroio Lami, diante das inúmeras possibilidades de métricas para a análise, foram selecionadas com base na paisagem alvo, as métricas de paisagem importantes para descrever a configuração dos fragmentos florestais, a informação singular e sua disponibilidade na literatura, comparando os resultados com estudos anteriores e recentes descritos na literatura, como de Pereira (2001), Grigio (2003), Fernandes *et al.* (2017) e Calegari *et al.* (2010).

O resultado da análise das métricas de paisagem no ambiente urbano e da evolução do uso e cobertura do solo contribuí para elaboração de propostas para qualificação dos corredores ecológicos e ajustes dos Planos Diretores, assim como, outras estratégias que priorizam estabelecer a conectividade florestal na perspectiva de conservar os fatores biofísicos e evitar a extinção de diversos fragmentos que se encontram ameaçados.

A análise da fragmentação e da viabilidade de corredores ecológicos na Bacia hidrográfica do Arroio Lami tem como propósito avaliar os efeitos da utilização agrícola na área da bacia hidrográfica, identificando áreas potenciais para conservação e recuperação, de forma a viabilizar o estabelecimento de corredores ecológicos, considerando a existência das Unidades de Conservação, Refúgio da Vida Natural do

Morro São Pedro (REVIS São Pedro) e a Reserva Biológica do Lami – José Lutzenberger (REBIO Lami), localizadas na região de estudo.

Conforme Schweigert (2007), o Plano Diretor também deve considerar o desenvolvimento de estratégias baseadas na sustentabilidade ambiental já que implica numa revisão do modo de pensar, planejar e produzir o espaço urbano, bem como num gerenciamento do uso de seus recursos naturais.

O Estatuto da Cidade (Lei Nacional n. 10.257/2001), no § 1º do artigo 40, também estabelece que o plano diretor é o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana, sendo parte integrante do processo de planejamento do Município.

Para a tomada de decisões, em auxílio aos ajustes ao Plano Diretor, segundo Araújo Filho *et al.* (2007), é necessária a obtenção de informações detalhadas e precisas sobre o espaço geográfico, condição necessária para as atividades de planejamento.

O Sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento permitem identificar a cobertura da terra e o estudo da evolução ambiental de uma região, ou bacia hidrográfica, desde o início da intensificação dos processos antrópicos (LIMA & ROCHA, 2001, GRIGIO, 2003).

Dessa forma, os mapas de cobertura da terra são instrumentos que auxiliam a análise estratégica, constituindo-se em mecanismos bastante adequados para promoverem o desenvolvimento sustentável do ponto de vista ambiental, e são imprescindíveis para o planejamento regional ou local do terreno.

A Política Nacional dos Recursos Hídricos (Lei 9.433/97) significou um marco para a gestão ambiental no Brasil, trazendo novos paradigmas. Visando fundamentar a implementação desta Política tem-se, como instrumento central, os Planos de Bacia hidrográfica.

Assim, Rodriguez *et al.* (2011) acentuam que o planejamento das bacias hidrográficas vem se alterando conceitualmente, primeiro com o enfoque no manejo de águas, depois com uma concepção da bacia como a conjunção de fatores ambientais e, mais recentemente, com uma visão de planejamento ambiental integrado.

É relevante ampliar as aplicações de sensoriamento remoto na análise da fragmentação florestal e da evolução do uso e cobertura do solo no ambiente urbano com o mapeamento em grandes escalas e atualizado, buscando-se o necessário detalhamento espacial e atualização de banco de dados visando o planejamento urbano.

## **1.2 OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral da dissertação de mestrado é investigar variações de uso e cobertura do solo e nos padrões espaciais de fragmentação florestal na Bacia do Arroio Lami, localizada em Porto Alegre, RS, no período entre 2003 a 2018.

### **1.2.1 Objetivos Específicos**

- a) Mapear as atuais classes de uso e cobertura da terra da Bacia hidrográfica;
- b) Comparar as mudanças de uso e cobertura da terra entre o Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre de 2003, Levantamento Aerofotogramétrico da Prefeitura Municipal de Porto Alegre de 2010 e o mapeamento gerado de 2018, apontando algumas das transformações e os impactos causados pela ocupação antrópica;
- c) Cálculo e análise das métricas de paisagem (número de fragmentos, a relação de tamanho entre eles, o formato e grau de conectividade) para 2003, 2010 e 2018.

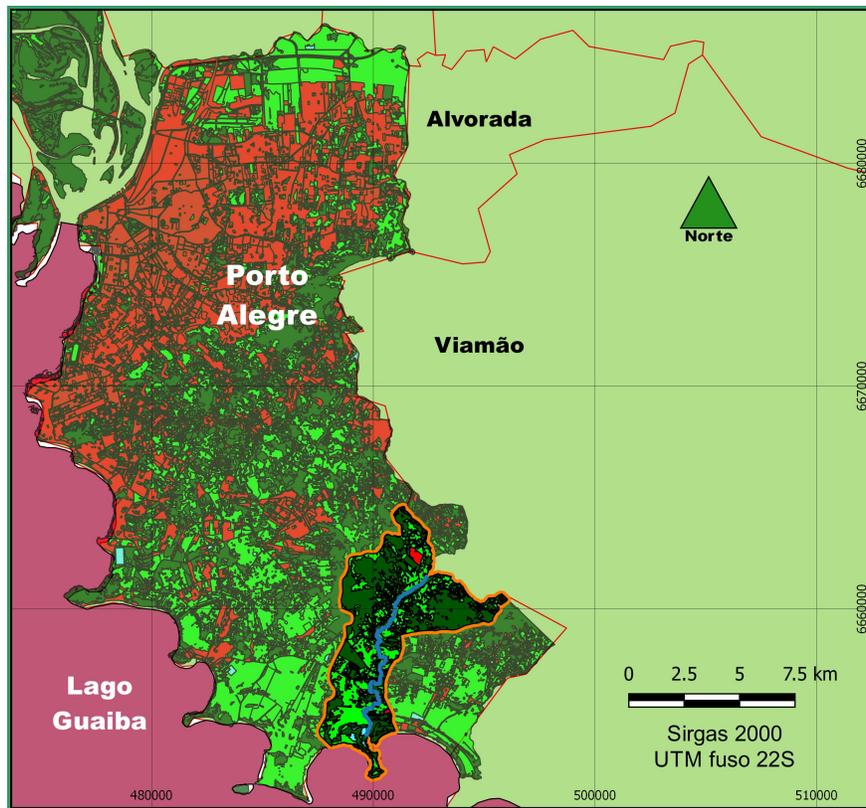
## **1.3 ÁREA DE ESTUDO**

A Bacia hidrográfica do Arroio Lami está situada nos municípios de Porto Alegre e Viamão (Fig. 1), leste do estado do Rio Grande do Sul, entre as latitudes 30° 15' S; 51° 05' W, com área de, aproximadamente, 51 km<sup>2</sup>, sendo considerada para este estudo a área de 34 km<sup>2</sup> localizada no município de Porto Alegre. O principal curso d'água é o arroio do Lami, afluente do Guaíba, e suas nascentes estão localizadas nos morros da Extrema e São Pedro.

A Bacia hidrográfica do Lago Guaíba corresponde a uma área de 2.323,66 km<sup>2</sup>, que abrange, total ou parcialmente, os municípios de Barão do Triunfo, Barra do Ribeiro, Canoas, Cerro Grande do Sul, Eldorado do Sul, Guaíba, Mariana Pimentel, Nova Santa Rita, Porto Alegre, Sentinela do Sul, Sertão de Santana, Tapes, Triunfo e Viamão.

O Lago Guaíba, com seus 496 km<sup>2</sup> de superfície é formado pelos rios Jacuí (84,6%), dos Sinos (7,5%), Caí (5,2%) e Gravataí (2,7%), recebendo também as águas dos arroios situados nas margens. Sua profundidade média é de 2 metros, atingindo 12 metros no canal de navegação. Suas águas banham 85 km de terra na margem esquerda e 100 km na margem direita. Na margem esquerda está localizada a região mais urbanizada representadas pelas cidades de Porto Alegre e Viamão.

Figura 1: Localização da Bacia hidrográfica do Arroio Lami.



Segundo Tucci (1993), Coelho Neto (2001), Braga *et al.* (2005), Cruz e Tavares (2009), Azevedo & Barbosa (2011), a bacia hidrográfica ou bacia de drenagem pode ser caracterizada como uma área da superfície terrestre definida topograficamente que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos confluindo através dos afluentes para uma saída comum, conhecido como exutório. Ainda, conforme Carmo e Silva (2010), cada bacia hidrográfica se interliga com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia.

Assim, os termos bacia e sub-bacias hidrográficas são relativos, uma vez que, a bacia do arroio Lami é uma área de drenagem do curso d'água principal que forma a bacia do Guaíba, uma sub-bacia em relação à bacia do Lago Guaíba, que por sua vez, também é uma sub-bacia de um sistema maior denominado Bacia do Guaíba. Para efeito deste estudo, a unidade de compartimentação será denominada Bacia hidrográfica do Arroio Lami.

Segundo dados do Comitê da Bacia hidrográfica do Lago Guaíba, o arroio do Lami é considerado como de classe 3, quanto a qualidade da água e os usos possíveis

(Resolução Conama n° 357/2005), sendo estabelecidas como meta progressiva para 10 anos, considerando a condição atual e o desejo futuro, atingir a classe 2 no ano de 2025.

Segundo Hasenack *et al.* (2008), na Bacia hidrográfica do Arroio Lami, a vegetação herbácea está presente nos banhados, campos nativos e campos manejados de solo arenoso, enquanto na encosta dos Morros ocorre mata subserófila e campo rupestre.

De características rurais e urbanas (Fig. 2), na Bacia hidrográfica do Arroio Lami são encontradas áreas de agricultura tradicional, ecológica, núcleos urbanos, bem como sítios destinados à moradia e ao lazer. A maior parte da vegetação natural da Bacia hidrográfica, encontra-se alterada sobre forte influência das ações antrópicas, seja pelo uso agrícola da terra, ou da silvicultura, como também, pelo crescimento habitacional, em especial pela ocupação irregular de áreas de relevância ambiental.

Figura 2: Vista aérea da Bacia hidrográfica do Arroio Lami. Vegetação arbórea entremeada com campos naturais e pequenas lavouras, pontuados por habitações espaçadas, tendo como fundo o Lago Guaíba.



A Bacia hidrográfica do Arroio Lami é marcada pelo parcelamento do solo, sob forma de loteamentos irregulares, que inicia geralmente desprovido de infraestrutura básica de saneamento, ou de qualquer outro tipo, desrespeitando o tamanho mínimo permitido para cada lote e para as vias.

Nas áreas com características rurais, a ocupação mais comum é de pequenos lotes (chácaras e sítios), sendo a maior parte deles ocupados de forma permanente e, frequentemente, com o desenvolvimento de atividades agropecuárias de subsistência. A bacia possui núcleos urbanos definidos, junto à orla do Guaíba, onde se localiza a praia do Lami e colônias de pescadores Z4, e junto à estrada São Caetano próximo à estrada das Quirinas e estrada João de Oliveira Remião nos limites com o município de Viamão.

A área alvo da pesquisa é definida pela bacia hidrográfica do arroio do Lami, tem como elementos importantes, o Refúgio da Vida Natural do Morro São Pedro (REVIS São Pedro), localizado ao norte da bacia, e a Reserva Biológica do Lami – José Lutzenberger (REBIO Lami) localizada ao sul.

A montante da bacia é formada pelos morros São Pedro, Quirinas e Extrema, com um gradiente de conservação de 90 a 100% da área total em mata nativa, e locais de onde é encontrado um leque de nascentes e tributários que formam o arroio do Lami, desembocando no lago Guaíba, junto a Ponta do Cego, formando um curso d'água bem conservado, praticamente contido no município de Porto Alegre.

O clima da área de estudo, segundo Matzenauer *et al.* (2011) é subtropical úmido com verão quente (Cfa), conforme a classificação Köppen, com temperatura média anual de 19,6° C, variando de 30,3° C em janeiro a 10,4° C em julho, com precipitação média anual de 1500 mm, tendo a precipitação mínima de 100 mm em março e a máxima de 180 mm em junho.

A unidade de delimitação deste trabalho é a bacia hidrográfica, bem como, é analisado o uso da terra qualitativamente e quantitativamente. Para a metodologia é necessário destacar a importância do reconhecimento da área para classificação de uma imagem.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

É oportuno o momento para avaliar, discutir e projetar as nossas cidades, compatibilizando o uso da terra e a sustentabilidade social, econômica e, principalmente, ambiental, com o planejamento da ocupação e da conservação da paisagem, utilizando-se de estudos voltados para a cidade, buscando avaliar a situação da cobertura vegetal, de forma a produzir base científica para subsidiar o entendimento dos processos de urbanização e a definição de políticas públicas e de diretrizes para o uso sustentável das bacias hidrográficas.

É relevante a análise da evolução urbana, bem como as alterações na cobertura vegetal e na situação da fragmentação florestal para o entendimento dos impactos da urbanização acelerada e subsidiar ajustes no planejamento urbano. No entanto, há a necessidade de atualização da base de dados geográficos e testar o uso de novos dados na análise de métricas de paisagem e do uso e cobertura da terra.

A utilização no planejamento ambiental da Ecologia de Paisagem é estratégico para a compatibilização entre o desenvolvimento econômico e a qualidade ambiental na bacia. Segundo Rogers *et al.* (1997), as cidades precisam passar a ser tratadas como “sistemas ecológicos” e, esta mudança de postura, necessita se refletir nos conceitos do seu planejamento municipal e na gestão de seus recursos naturais.

A análise das métricas de paisagem na bacia do Lami pode contribuir para elaboração de propostas para essa estratégia de compatibilização, com qualificação dos corredores ecológicos, ajustes no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PDDUA), assim como outras estratégias que priorizam estabelecer a conectividade florestal na perspectiva de conservar os fatores biofísicos e evitar a extinção de diversos fragmentos que se encontram ameaçados.

As bacias hidrográficas vêm sendo adotadas como áreas preferenciais para o planejamento e gestão dos recursos hídricos que, segundo Magalhães Jr (2007), a partir de 1980, a modernização dos modelos de gestão da água passou a incorporar o conceito de sustentabilidade, fazendo com que a gestão ambiental e da água tivessem sua importância reforçada nas políticas públicas de desenvolvimento de numerosos países.

Assim, Rodriguez *et al.* (2011) acentuam que o planejamento das bacias hidrográficas vem se alterando conceitualmente, primeiro com o enfoque no manejo de

águas, depois com uma concepção da bacia como a conjunção de fatores ambientais e, mais recentemente, com uma visão de planejamento ambiental integrado.

Na bacia do Lami as Unidades de Conservação (UCs), do REVIS São Pedro e o REBIO Lami, foram criadas para proteger e manter os remanescentes de ecossistemas naturais, a fim de reduzir a perda da biodiversidade e garantir sua manutenção em longo prazo, exigindo um manejo na forma de uma rede de fragmentos, visando reduzir as pressões das atividades do entorno.

A fragmentação de áreas naturais tem sido apontada como uma das maiores causas no declínio da biodiversidade. Essa fragmentação envolve uma redução da área original, o isolamento de manchas de habitat e a atuação danosa do efeito de borda nesses remanescentes, conseqüentemente, os padrões de migração e dispersão dos organismos são alterados, resultando na redução do tamanho populacional e sua variabilidade genética.

Considerando a tendência de estabilização do crescimento populacional e os incentivos fiscais para áreas de interesse ecológico, nota-se oportuno o momento para avaliar, discutir e projetar o ambiente urbano da bacia do Lami, compatibilizando o uso da terra e a sustentabilidade social, econômica e, principalmente, ambiental, com o planejamento da ocupação e da conservação da paisagem como um todo.

Dessa forma, são de suma importância estudos que buscam avaliar a situação da cobertura vegetal e sua evolução recente, de forma a produzir base científica para subsidiar o entendimento dos processos de urbanização e a definição de políticas públicas e de diretrizes para o uso sustentável nas bacias hidrográficas de Porto Alegre.

A fragmentação da paisagem devido a estradas, urbanização e outras atividades antrópicas têm impactos importantes sobre a vida selvagem, incluindo muitas espécies protegidas (FORMAN *et al.*, 2003, TROMBULAK e FRISSELL, 2000). Esses impactos incluem mortalidade direta (MAZEROLLE, 2004, RILEY *et al.*, 2003), mudanças comportamentais (MAZEROLLE *et al.*, 2005), capacidade de dispersão reduzida (FORMAN e ALEXANDER, 1998), impedimento ao fluxo gênico (EPPS *et al.*, 2005, RILEY *et al.*, 2006), efeitos de perturbação como o ruído de tráfego que afeta aves reprodutoras (REIJNEN e FOPPEN, 1995, REIJNEN *et al.*, 1995).

Conforme Araújo Filho *et al.* (2007), a obtenção de informações detalhadas e precisas sobre o espaço geográfico é uma condição necessária para as atividades de planejamento e tomada de decisões.

## **CAPÍTULO 2. ALTERAÇÕES NA COBERTURA FLORESTAL E NO ESPAÇO URBANO: DESAFIOS PARA O PLANEJAMENTO URBANO**

### **2.1 EVOLUÇÃO DO ESPAÇO URBANO**

#### **2.1.1 Fatores populacionais na transformação da área de estudo**

O progressivo crescimento das cidades brasileiras foi estruturado em um desenvolvimento urbano que descartou qualquer análise das condições ambientais preexistentes. Segundo Farias *et al.* (2017), o Brasil conheceu durante o século XX, uma intensa transformação em seu processo de ocupação territorial. Segundo dados dos Censos Demográficos (Tab. 1) realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 1950 o Brasil apresentava o total de 51,9 milhões de pessoas, sendo que 36,16% viviam em áreas urbanas e 63,84% em áreas rurais. Já no ano de 2010, o país registrou a soma de 190,7 milhões de pessoas, com 84,36% da população em áreas urbanas e 15,64% em áreas classificadas como rurais.

Tabela 1: Participação da População Urbana e Rural, Brasil, 1950 – 2010.

<b>Ano</b>	<b>População Urbana (%)</b>	<b>População Rural (%)</b>
<b>1950</b>	36,16	63,84
<b>1960</b>	45,08	54,92
<b>1970</b>	55,98	44,02
<b>1980</b>	67,70	32,30
<b>1991</b>	75,47	24,53
<b>2000</b>	81,23	18,77
<b>2010</b>	84,36	15,64

Fonte: IBGE.

Essa rápida transformação no processo de configuração territorial do Brasil exigiu uma reorientação nas políticas públicas, emergindo novas pautas prioritárias para o desenvolvimento do país.

Porém, conforme dados recentes apresentados pelo IBGE, a população do Brasil continuará em crescimento até atingir o patamar de 233,2 milhões de pessoas no ano de 2047, quando entrará em declínio gradual chegando a 228,3 milhões no ano de 2060.

Antes, doze estados, entre eles Rio Grande do Sul, deverão ter redução no número de habitantes. Conforme Zuanazzi *et al.* (2013), o Rio Grande do Sul atingirá o pico populacional no ano de 2025 com 11 milhões de habitantes, quando então a população do estado entrará em declínio até atingir por volta de 9,7 milhões habitantes no ano de 2050, ou seja, no período de 25 anos perderá em habitantes o equivalente à população atual de Porto Alegre.

A Cidade de Porto Alegre passa por um processo de desaceleração do crescimento populacional desde a década de 60 e, dentre todas as capitais do Brasil, foi a cidade que apresentou o menor Taxa de Crescimento Anual (Tab. 2), segundo o IBGE.

Tabela 2: População de Porto Alegre de 1950 a 2017.

Ano	População	Taxa de Crescimento Anual (%)
<b>1960</b>	641.173	5,00
<b>1970</b>	885.545	3,28
<b>1980</b>	1.125.477	2,43
<b>1991</b>	1.263.407	1,06
<b>2000</b>	1.360.590	0,80
<b>2010</b>	1.436.124	0,35
<b>2017 (estimado)</b>	1.484.941	0,26

Fonte: IBGE.

Porto Alegre está se encaminhando para um processo de estabilidade demográfica, pois além do baixo crescimento populacional ocorre o natural envelhecimento da população, conforme Cabette & Strohaecker (2015), onde a parcela da população com mais de 60 anos aumentou cerca de 32% em relação ao contingente demográfico no ano de 2000, enquanto a população jovem da cidade, com até 24 anos, decresceu cerca de 13,68% no período de dez anos entre os censos de 2000 e 2010.

## **2.1.2 Planos diretores e as transformações urbanas**

### **2.1.2.1 O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental de Porto Alegre**

Segundo Lima (2014), a questão da sustentabilidade assume, no cenário no qual os problemas se acumulam em velocidade sempre superior às possibilidades de solução, um papel central na reflexão sobre os centros urbanos contemporâneos e as dimensões de seu desenvolvimento.

O quadro socioambiental, que caracteriza as sociedades contemporâneas, revela que o impacto do homem sobre o meio ambiente está se tornando cada vez mais complexo, tanto sob o ponto de vista quantitativo quanto qualitativo. Procurar alcançar abordagens que contemplem esses aspectos torna-se cada vez mais importante.

Segundo Rogers *et al.* (1997), no processo de expansão das cidades não foi considerado a fragilidade do ecossistema, mas apenas o seu caráter predominantemente quantitativo, em detrimento do aspecto qualidade. Assim, definiu as cidades como o “habitat da humanidade” e o grande agente destruidor do ecossistema, ameaçando sua própria existência. Rogers defende o conceito de “cidade compacta”, que se caracteriza por evitar expansão sobre as áreas rurais e áreas de preservação ambiental, permitindo aumentar o desempenho da energia, reduzir o nível de poluição e o consumo de recursos, sem o risco à saúde, fato típico das cidades densas do século XIX.

Nesse sentido, o planejamento urbano deve introduzir a sustentabilidade urbana através das revisões do Plano Diretor, com a leitura da conjuntura atual e da sua aplicação no ambiente urbano, na identificação dos princípios do poder público ao determinar diretrizes para o desenvolvimento da cidade e do Zoneamento Urbano, ferramenta clássica e fundamental de qualquer planejamento urbanístico.

A interação e interdependência existentes entre meio urbano e meio rural é apresentado nas normas internacionais, como a Agenda 21 (1992) ou a Agenda Habitat (1996), e normas brasileiras, como o Estatuto da Cidade (Lei Federal 10.257/2001), que definem o ordenamento do território, urbano e rural, deve ser integrado de forma concomitante e complementar.

Não é sem razão que o Estatuto da Cidade dá ao plano diretor caráter de essencialidade; eleva essa ferramenta à condição de “instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana. Nesse sentido, não é demais ressaltar que os documentos internacionais que tratam da temática, como na Conferência das Nações

Unidas sobre Assentamentos Humanos de Vancouver (1976) a Istambul (1996), de Aalborg (1994) à Nova Carta de Atenas (2003), mencionam a importância do planejamento de longo prazo visando à sustentabilidade urbana e rural.

No Brasil, em 2001, a aprovação do Estatuto da Cidade, regulamentou os artigos 182 e 183 da Constituição Federal que estabeleceu as diretrizes gerais da política urbana, definindo algumas bases para a elaboração do Plano Diretor, entre elas, a obrigatoriedade da elaboração para os municípios brasileiros com mais de 20 mil habitantes, ou integrantes de regiões metropolitanas.

Segundo Braga (2001), o Plano Diretor como instrumento de gestão territorial urbana é também um instrumento de gestão ambiental urbana, talvez o principal deles, sobretudo pelo fato de não haver uma tradição de política ambiental em nível municipal no Brasil.

Segundo Villaça (1999), o conceito de plano diretor desenvolveu-se no Brasil mais ou menos a partir dos anos 50, embora a expressão “plano diretor” já aparecesse no Plano Agache, para o Rio de Janeiro, que é de 1930. No entanto, o zoneamento (embora sob formas rudimentares) já existia em São Paulo e Rio de Janeiro desde o final do século XIX.

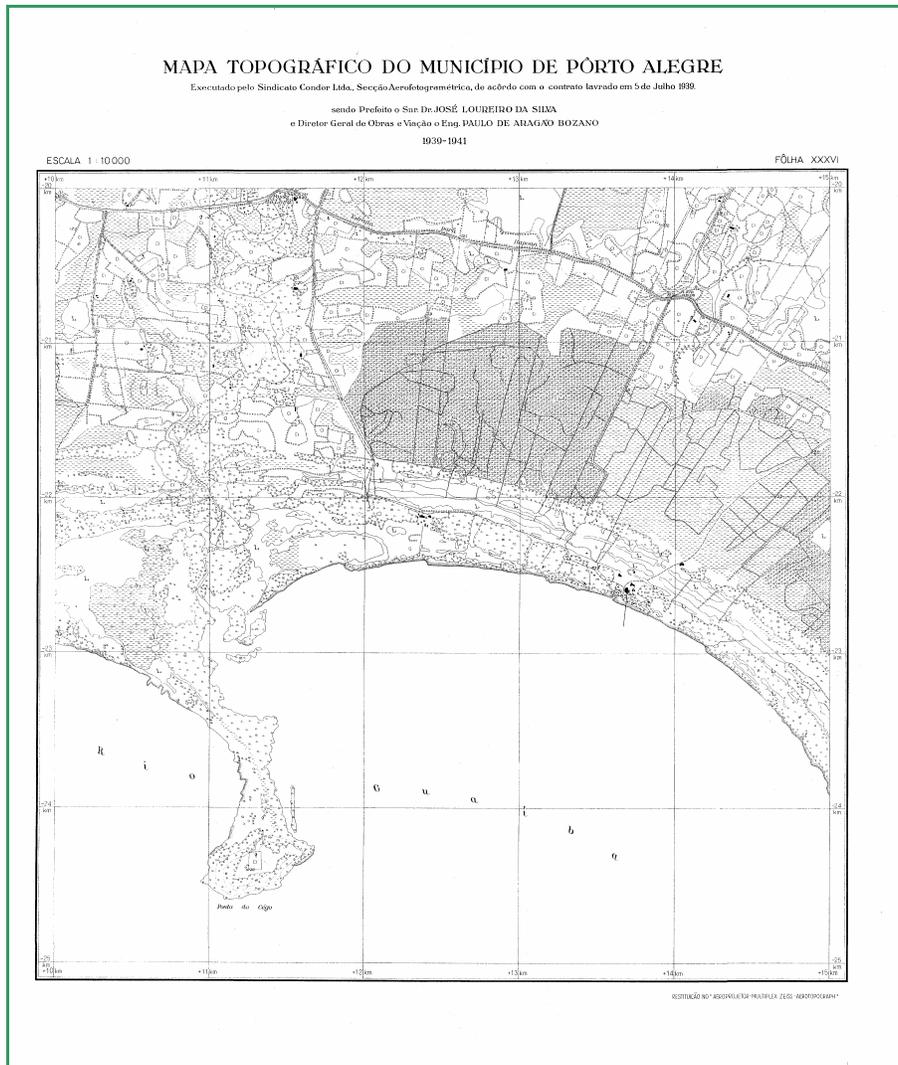
Conforme Almeida (2004), o município de Porto Alegre é pioneiro no planejamento urbano, como no início do século XX, quando ocorrem as primeiras tentativas de organizar a cidade, inicialmente com a proposta de um Plano Geral de Melhoramentos, em 1914, elaborado pelo arquiteto Moreira Maciel. Mas, o projeto traduzia a cidade que se queria e na qual se projetavam os desejos de uma elite que tinha na Europa o seu horizonte, pois dele estavam excluídos os pobres ou as vilas populares nos subúrbios.

Posteriormente, com estudos elaborados por Pereira Paiva e Ubatuba de Farias em 1937, e denominado "As Linhas Gerais do Plano Diretor", foram planejados os sistemas de radiais e perimetrais para a cidade. Coube ao urbanista Arnaldo Gladosch, contratado para elaborar um Plano Diretor em 1938, o chamado Plano Gladosch, que destacava a necessidade do "zoneamento" da cidade. Embora, todos planos tenham resultado em propostas essencialmente viárias, as marcas destes planos ficaram registradas no desenvolvimento urbano da cidade.

Em 1941, em paralelo com as primeiras propostas de planejamento urbano, foi executado na região um dos primeiros levantamentos aerofotogramétricos da América do Sul (Fig. 3), executado na gestão do Prefeito Loureiro da Silva.

Em 1942, Pereira Paiva deu início à elaboração do chamado "Expediente Urbano de Porto Alegre", que resultou numa completa radiografia da cidade.

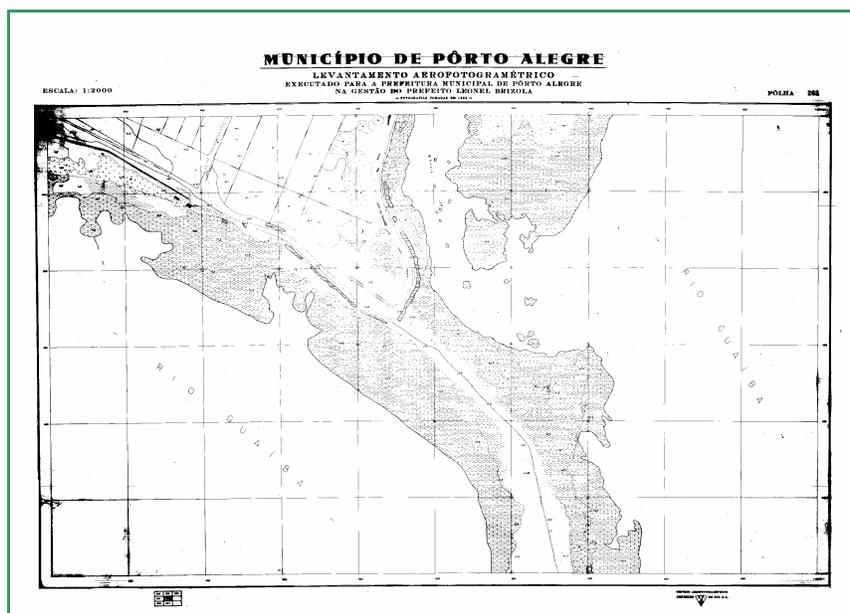
Figura 3: Mapa Topográfico de 1941, escala 1:10.000, registrando a região da foz do Arroio Lami no Lago Guaíba, próximo da futura Reserva do Lami.



Fonte: Geopmpa/PMPA.

Em 1956, foi executado o segundo levantamento aerofotogramétrico do município de Porto Alegre (Fig. 4), executado na gestão do Prefeito Leonel Brizola.

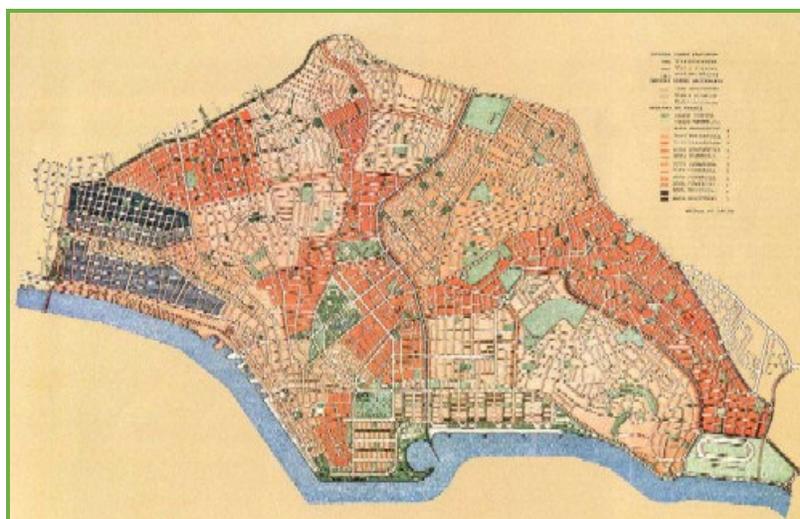
Figura 4: Mapa Topográfico de 1956, escala 1:2.000, registrando a região da foz do Arroio Lami no Lago Guaíba, próximo da futura Reserva do Lami.



Fonte: Geopmpa/PMPA.

Em 1959, com a promulgação da Lei 2046, foi criado o Plano Diretor, onde a área física do plano coincidia, na época, com a superfície mais habitada da cidade (Fig. 5), limitada pelo traçado da futura avenida 3ª Perimetral, portanto, o plano não atingia todo o município, excluindo a região sul da cidade.

Figura 5: Mapa do Plano Diretor de Porto Alegre em 1959, com área limitada à porção central da Cidade.



Fonte: PMPA.

Edvaldo Pereira Paiva e Demétrio Ribeiro foram os responsáveis por organizar a planificação da cidade, pensando as funções urbanas de habitação, trabalho, lazer e circulação a partir de um esquema de zoneamento de regiões. Além do zoneamento de bairros, outras medidas foram as três perimetrais da cidade, planejadas na época. Também o Parque Marinha do Brasil, uma das áreas verdes mais importantes da cidade, foi pensado no período.

Em 1979, com 1º Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU), entrou em vigor todo o conjunto de normas consolidado em um único texto legal e, pela primeira vez, o planejamento atingiu todo o município, definindo as zonas urbana e rural (Fig. 6), com a primeira sendo dividida em partes de uso intensivo e extensivo.

Pela proposta, a área urbana de uso extensivo foi estendida fisicamente sobre a parte onde a legislação anterior havia definido como urbana, destacando a preservação paisagística e ambiental de forma a evidenciar os elementos naturais. Também foram criadas as chamadas Unidades Territoriais Funcionais para áreas de natureza especial e que deveriam, por esta razão, contar com um regime urbanístico próprio.

Conforme Nygaard (2005), a zona urbana para uso intensivo da cidade foi dividida em unidades territoriais de planejamento, de acordo com seus usos predominantes historicamente (residencial, industrial etc.). A ideia era das “cidades” dentro da cidade. Nisso observa-se um viés de manutenção do status quo, o que ajudou a agravar injustiças e conflitos no espaço da cidade.

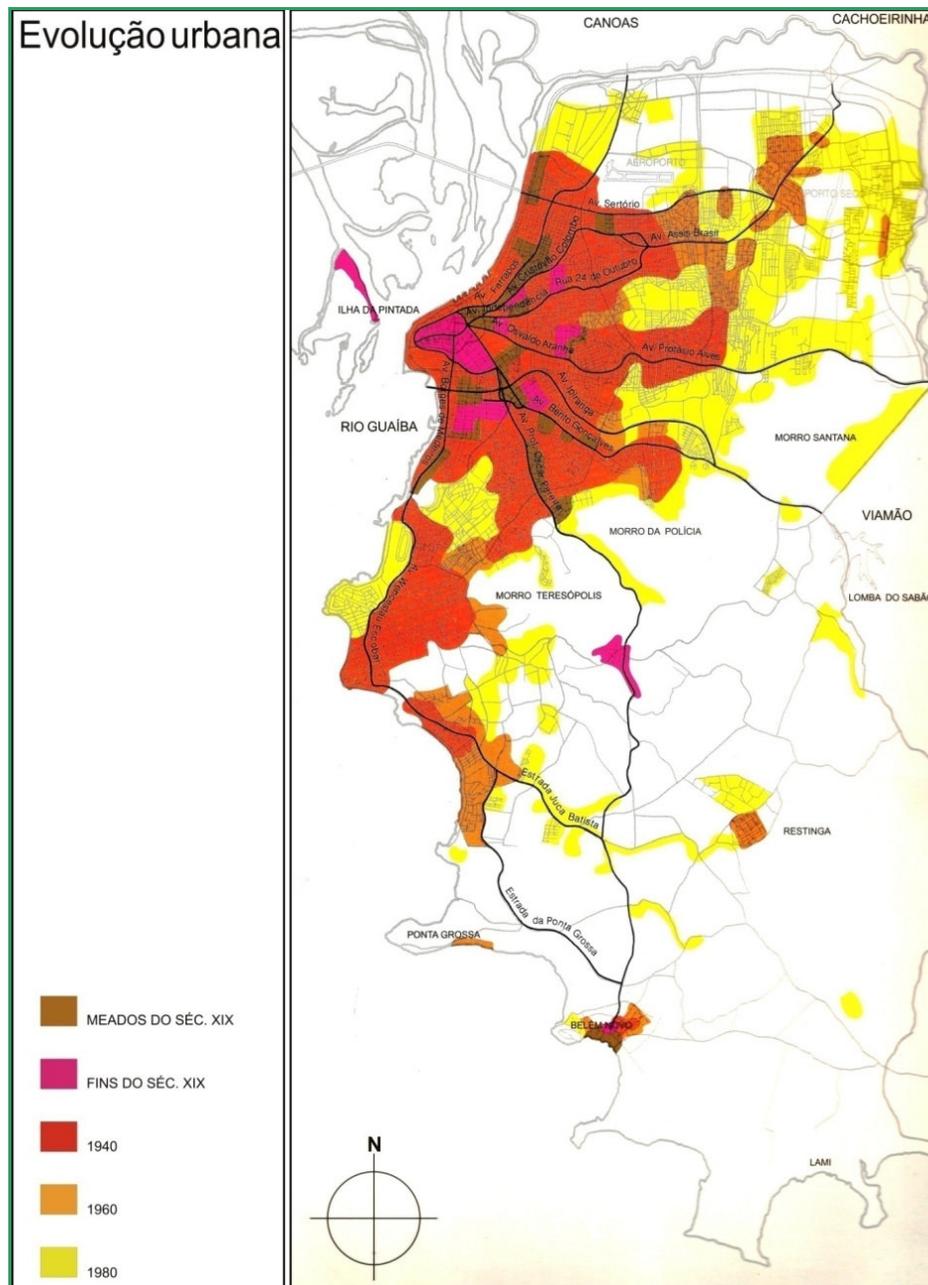
Dentre os fatores que levaram a percepção de necessidade da elaboração do novo plano diretor na década de 1970, estavam a desatualização de informações sobre o território da cidade, e o fato de haver muitos decretos, resoluções e extensões no plano de 1959, que dificultavam a sua consulta e aplicação, bem como avanços com a preocupação ambiental, e a elaboração e implementação dos planos de transporte de massa na cidade.

Segundo Rovati (1990), o Plano de 1979 visava uma política racionalizadora do uso do solo e dos equipamentos, propondo uma ocupação de vazios urbanos da cidade. A distribuição espacial de Porto Alegre também aparecia como preocupação central através da denominação das zonas de uso do solo: Residenciais, Industriais, de Comércio e Serviços, Rurais e Preservação Ambiental.



É possível perceber no Mapa de Evolução Urbana (Fig. 7) que a expansão ao sul da cidade foi contida pelos morros da cidade, mas, ainda é uma área de especulação de empreendedores pelas suas amenidades naturais, que incorporadas às praticidades construídas, nos loteamentos e condomínios, são, de grande interesse imobiliário nas últimas décadas.

Figura 7: Evolução Urbana de Porto Alegre, com forte expansão para o norte, enquanto no sul ocorre limitação pelos morros.



Fonte: PMPA (1979), p. 3. Editado por Kozenieski (2010).

Assim, esse processo de expansão urbana provocou alterações na dinâmica natural do meio físico, de maneira desordenada e não planejada, acarretando situações de perigo para seus ocupantes, especialmente relacionados aos eventos de inundação em função das características geológicas, geomorfológicas, entre outras.

No ano de 1999, é implantado novo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental – PDDUA (PORTO ALEGRE, 1999), propondo a priorização de aspectos como a qualidade ambiental, redução de desigualdades sociais e enriquecimento cultural, para tornar Porto Alegre viável economicamente e, sob certos aspectos, auto-sustentável.

Para tal, foi proposto uma densidade adequada onde, ao invés de estimular a cidade a dispersar e espalhar-se, propôs uma maior concentração em áreas mais bem equipadas em termos de infra-estrutura, mantendo uma ocupação rarefeita, em tese, na região mais ao sul do município, parte do território que ainda não está consolidada como cidade.

Também se propõe a tornar Porto Alegre viável economicamente e, sob certos aspectos, auto-sustentável. Para tal estabelece uma densidade adequada onde, ao invés de estimular a cidade a dispersar e espalhar-se, propõe maior concentração em áreas mais bem equipadas em termos de infra-estrutura, mantendo uma ocupação rarefeita, mas ordenada, da parte do território que ainda não está consolidada como cidade. Além disto, as parcerias público/privado e os projetos especiais deverão ser impulsionadores de um trabalho conjunto de construção da cidade.

Foi estabelecido no PDDUA, no Modelo Espacial, a subdivisão do território em Área de Ocupação Intensiva e Área de Ocupação Rarefeita.

A Área de Ocupação Intensiva (AOI) é a área que, conciliada com a proteção do Patrimônio Ambiental, se caracteriza como prioritária para fins de urbanização e abrange as áreas dos Núcleos Intensivos isolados da malha urbana contínua, como o Belém Velho, Belém Novo, Lami, entre outros.

A Área de Ocupação Rarefeita (AOR) é a área com características de baixa densificação, onde será dada predominância à proteção da flora, da fauna e demais elementos naturais, admitindo-se, para a sua perpetuação e sustentabilidade, usos científicos, habitacionais, turísticos, de lazer e atividades compatíveis com o desenvolvimento da produção primária.

A Estratégia de Produção da Cidade (Fig. 8) tem Como objetivo a capacitação do Município para a promoção do seu desenvolvimento através de um conjunto de ações políticas e instrumentos de gerenciamento do solo urbano que envolve a diversidade dos agentes produtores da cidade e incorporam as oportunidades empresariais.

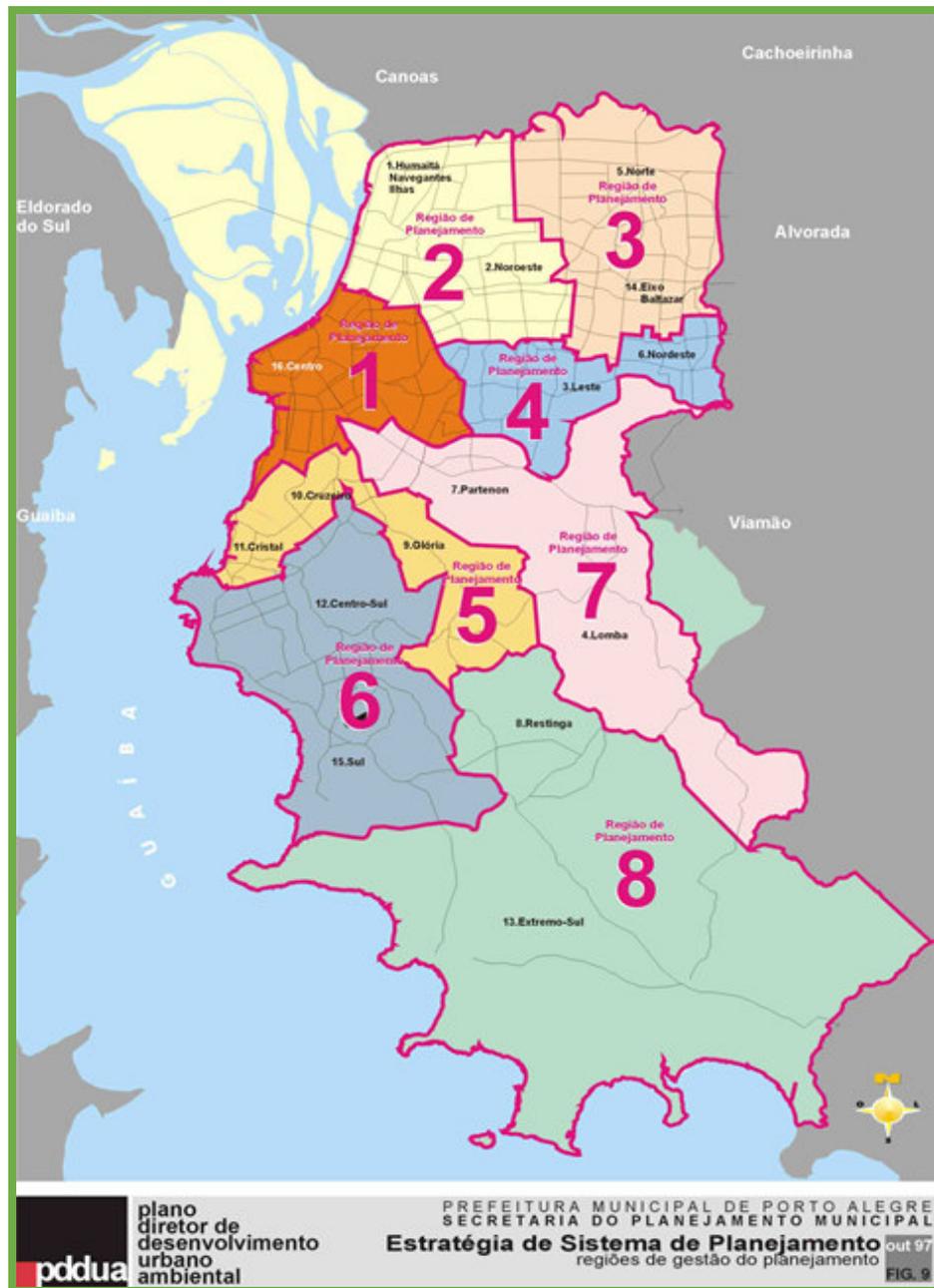
Figura 8: Estratégia de Produção da Cidade. A área denominada Área de Interesse Ambiental é a região de morros do Município que divide a cidade em Área Intensiva e Rarefeita .



Fonte: PDDUA – Porto Alegre.

A Estratégia do Sistema de Planejamento (Fig. 9) objetiva um processo de planejamento dinâmico contínuo, que articule as políticas da administração municipal com os diversos interesses da sociedade, promovendo instrumentos para o monitoramento do desenvolvimento urbano.

Figura 9: Estratégia de Sistema de Planejamento, destacando a Região de Planejamento 8 onde está localizada a Bacia do Lami.



Fonte: PDDUA – Porto Alegre.

Desta forma, os fatores populacionais que afetam o desenvolvimento e a sustentabilidade urbana, mas as alterações nos planos diretores também influenciam o espaço urbano.

Conforme Ojima (2007), o crescimento dos espaços físicos urbanos, contudo, apresenta como novo desafio neste contexto mundial e brasileiro no século XXI, e enfatizado por Monte-Mór (2006), o fenômeno da urbanização extensiva ou espraiamento urbano. Estudos de Inostroza *et al.* (2013) mostram que a conversão de terras rurais para usos urbanos é superior ao crescimento populacional, apontando para uma expansão urbana cada vez mais espraiada do que compacta.

Porto Alegre não ficou atrás no processo de espraiamento urbano, uma vez que na elaboração do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDUA, 1999) foi extinta a zona rural de Porto Alegre, passando a classificar a zona de ocupação extensiva e a zona rural como Cidade Rururbana. Nesta nova classificação ocorre a convergência de usos e ocupação de diferentes naturezas, sendo adotado a concepção de que “tudo é cidade”, com motivações de ordem tributária, uma vez que o município é responsável pelo recolhimento do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) e o Imposto sobre Propriedade Territorial Rural (ITR) é de atribuição da União, e de ordem sócio-espacial.

De acordo com Strohaecker (1997), a inclusão de setores rurais do município de Porto Alegre no perímetro urbano estaria, de certa forma, incentivando o processo de urbanização difusa.

Mais tarde, em 2016, a área rural foi restaurada pela Lei Complementar nº 775/2015, representando um espaço territorial que representa cerca de 8,3% do total da área do Município, sob forma de zoneamento denominado Área de Produção Primária, com fins de garantir a sustentabilidade.

Por sua vez existem outras formas de incentivo para os imóveis rurais que dispõem de áreas de preservação permanente ou reserva que é a isenção de tributação do pagamento do Imposto Territorial Rural (ITR) (art. 104 da Lei Federal 8.171/1991). Novo Hamburgo, cidade da Região Metropolitana de Porto Alegre, aderiu à ideia de isenção do Imposto Territorial Urbano - IPTU (art. 30 da Lei Municipal 1.031/2003) para áreas nessa situação, e Porto Alegre possui na legislação tributária a figura do IPTU ecológico (art. 115 do Decreto Municipal 16.500/2009), que isenta de pagamento as áreas de interesse ambiental.

### **2.1.2.2 Bacia Hidrográfica do Arroio Lami e as Zonas de Uso**

A incorporação do conceito de bacia hidrográfica como unidade de planejamento territorial que, segundo Rodrigues & Adadi (2005), é uma das referências espaciais mais comuns nos estudos físico-territoriais ou de projetos, não só em função de suas características naturais, mas pelo fato dela estar presente em grande parte da legislação vigente no que diz respeito ao meio ambiente.

As bacias hidrográficas tornaram-se as unidades territoriais preferidas para o planejamento e, principalmente, gestão dos recursos hídricos, segundo Pires e Santos (1995), as abordagens de planejamento e gerenciamento que utilizam a bacia hidrográfica como unidade de trabalho evoluíram muito, pois as características biogeográficas dessas bacias apresentam sistemas ecológicos e hidrológicos relativamente coesos, permitindo que o recorte territorial feito por meio da bacia hidrográfica facilite a gestão de recursos hídricos, ou uma unidade territorial.

As bacias hidrográficas, segundo Magalhães Jr. (2007), são unidades espaciais de dimensões variadas, onde se organizam os recursos hídricos superficiais em função das relações entre a estrutura geológica-geomorfológica e as condições climáticas. Vêm sendo adotadas como áreas preferenciais para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, sendo que, a partir de 1980, a modernização dos modelos de gestão da água passou a incorporar o conceito de sustentabilidade, fazendo com que a gestão ambiental e da água tivessem sua importância reforçada nas políticas públicas de desenvolvimento de numerosos países.

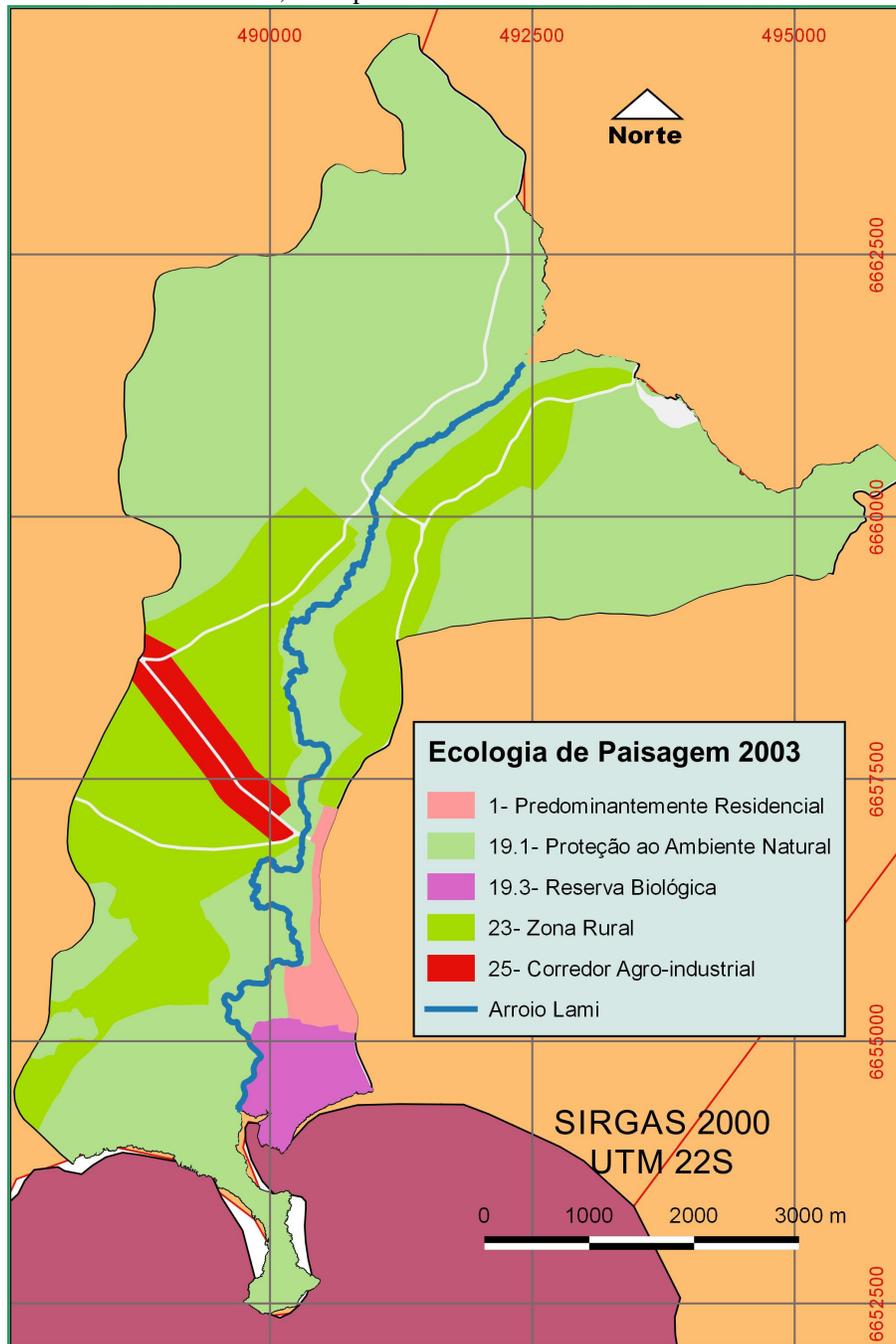
Dessa forma, conforme Rodriguez *et al.* (2004), o planejamento ambiental do território (ou de uma bacia hidrográfica) converte-se em um elemento tanto básico como complementar para a elaboração dos programas de desenvolvimento econômico e social e para a otimização do plano de uso, manejo e gestão de qualquer unidade territorial.

Para Santos (2004), o planejamento ambiental fundamenta-se na interação e integração dos sistemas que compõem o ambiente. Tem o papel de estabelecer as relações entre os sistemas ecológicos e os processos da sociedade, das necessidades socioculturais a atividades e interesses econômicos, a fim de manter a máxima integridade possível dos seus elementos componentes.

O Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (Lei Estadual nº 11.520/2000), estabelece que o planejamento ambiental terá como unidades de referência as bacias hidrográficas.

A Bacia hidrográfica do Arroio Lami está localizada na macrozona 8 (PDDUA), definida como área com predominância de patrimônio natural, com atividades voltadas para lazer e turismo, uso residencial e setor primário. Conforme o PDDUA, a Bacia hidrográfica do Arroio Lami está dividida em 5 unidades de planejamento (Fig. 10).

Figura 10: Zonas de Usos da Bacia hidrográfica do Lami / PDDUA em 5 zonas de uso, onde podemos destacar as APAN e a Zona Rural.



As Zonas de Uso para a Bacia hidrográfica do Arroio Lami possuem área de 34.077.385,53 m<sup>2</sup> (Tab. 3), que representam parcelas do território municipal, propostas com as mesmas características, em função de peculiaridades a serem estimuladas nas seguintes categorias:

Tabela 3: Áreas das Zonas de Uso da Bacia hidrográfica do Lami.

	<b>Zona de Uso</b>		<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
<b>1</b>	Predominantemente residencial	Vila do Lami	506.349,37	1,49
<b>19.1</b>	Proteção Ambiente Natural	APAN	23.278.334,03	68,31
<b>19.3</b>	Reserva Biológica	Reserva do Lami	964.179,16	2,83
<b>23</b>	Zona Rural	Zona Rural	8.523.527,95	25,01
<b>25</b>	Corredor Agro-industrial	Corredor	804.950,02	2,36
<b>Área Total</b>			34.077.385,53	

a) Áreas Predominantemente Residenciais – zonas da cidade onde se estimula a vida de bairro, com atividades complementares à habitação e demais atividades não-residenciais controladas quanto a incômodo e impacto.

b) Áreas de Proteção do Ambiente Natural – zonas previstas para atividades que, conciliando a proteção da flora, da fauna e dos demais elementos naturais, objetivem a perpetuação e a sustentabilidade do patrimônio natural.

c) Reserva Biológica – área que tem por finalidade proteger integralmente a flora, a fauna e seu substrato em conjunto, assegurando a proteção da paisagem e a normal evolução do ecossistema, bem como cumprindo objetivos científicos e educacionais.

d) Áreas de Produção Primária – zonas propostas para o desenvolvimento compatibilizado de atividades primárias, extrativas, comércio e serviços de apoio, bem como para a localização de pequenas indústrias vinculadas à produção por propriedade rural.

e) Corredor Agroindustrial – zona de apoio à produção agroindustrial com vistas a fortalecer o desenvolvimento primário no extremo sul do Município, respeitadas as ocorrências ambientais intrínsecas ao meio.

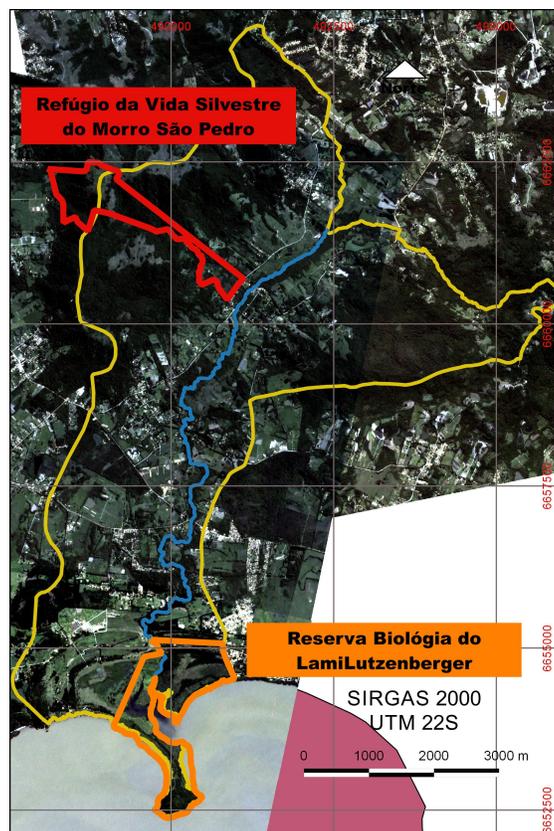
A Macrozona 8, também denominada Rururbana, é definida como a região onde se encontra patrimônio natural, empresas de produção de alimentos e criação de animais, sítios de subsistência ou lazer, misturados a esparsas áreas de habitação popular.

A diversidade de ecossistemas e riquezas naturais, bem como a baixa densidade de ocupação populacional, é a principal característica da região. Seus usos são destinados à proteção do ambiente natural, ao desenvolvimento diversificado, à produção primária e agroindustrial e à ocupação intensiva.

Conforme o PDDUA, a Vila do Lami é constituído pela Unidade de Estruturação Urbana nº 8084, Área de Ocupação Intensiva (AOI) que, conciliada com a proteção do Patrimônio Ambiental, se caracteriza como prioritária para fins de urbanização.

Ainda, destaca-se na Bacia hidrográfica do Arroio Lami, as Unidades de Conservação – UCs da Reserva Biológica do Lami – José Lutzenberger, e do Refúgio da Vida Silvestre do Morro São Pedro (Fig. 11).

Figura 11: Localização das Unidades de Conservação, a Reserva Biológica do Lami José Lutzenberger e o Refúgio de Vida Silvestre São Pedro.



A Reserva Biológica do Lami José Lutzenberger tem área de 204,04 ha, e foi criada pelo Decreto-Lei Municipal nº 4097/1975. A paisagem da REBIO Lami é formada por banhados, matas de restinga e campos, além de grande variedade de ambientes, como matas ciliares, juncais, maricazais e campos arenícolas, contribuindo para a diversidade de espécies da flora e fauna silvestre.

A ocorrência da *Ephedra tweediana*, vegetal considerado raro e endêmico, característico das matas de restinga, e é um dos ecossistemas mais ameaçados no Rio Grande do Sul motivou ação inicial para a criação da Reserva.

A REBIO do Lami-José Lutzenberger faz parte do grupo de Unidades de Conservação de Proteção Integral, e tem como objetivo a preservação integral da biota e demais atributos naturais existentes em seus limites, sem interferência humana direta ou modificações ambientais, excetuando-se as medidas de recuperação de seus ecossistemas alterados e as ações de manejo necessárias para recuperar e preservar o equilíbrio natural, a diversidade biológica e os processos ecológicos naturais.

O Refúgio de Vida Silvestre São Pedro (REVIS São Pedro) tem área de 136,14ha, e foi criado por meio do Decreto Municipal nº 18.818/2014. O local é habitat de espécies animais raras e ameaçados de extinção, como o mão-pelada, o graxaim e o bugio-ruivo, e está inserido no maior fragmento de Mata Atlântica de Porto Alegre, com vegetação florestal e campestre.

O REVIS São Pedro é uma Unidade de Conservação (UC) da natureza de Proteção Integral, e tem como objetivo proteger ambientes naturais onde se asseguram condições para a existência ou reprodução de espécies ou comunidades da flora local e da fauna residente ou migratória. Pode ser constituído por áreas particulares, desde que seja possível compatibilizar os objetivos da unidade com a utilização da terra e dos recursos naturais do local pelos proprietários.

Além das unidades, outras áreas protegidas como Áreas de Preservação Permanente (APP) e corredores ecológicos compõem a paisagem natural da bacia.

Conforme definido na Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, uma Unidade de Conservação – UC é o espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção.

As Unidades de Conservação asseguram às populações tradicionais o uso sustentável dos recursos naturais de forma racional e ainda propiciam às comunidades do entorno o desenvolvimento de atividades econômicas sustentáveis. Estas áreas estão sujeitas a normas e regras especiais. São legalmente criadas pelos governos federal, estaduais e municipais, após a realização de estudos técnicos dos espaços propostos e, quando necessário, consulta à população.

As Unidades de Conservação - UCs, segundo Lopes *et al.* (2001), foram criadas para proteger e manter os remanescentes de ecossistemas naturais, a fim de reduzir a perda da biodiversidade e garantir sua manutenção em longo prazo.

Atualmente, muitas UCs se encontram na forma de pequenos fragmentos isolados, exigindo um manejo na forma de uma rede de fragmentos, visando reduzir as pressões das atividades do entorno. Uma das técnicas utilizadas nas redes de fragmentos são os chamados Corredores Ecológicos, que têm obtido sucesso como instrumento de planejamento e gestão dos recursos naturais, conciliando conservação da biodiversidade com as demandas socioeconômicas.

Conforme Sestren-Bastos (2017), entre os anos de 1998 e 2000, o Ministério do Meio Ambiente realizou a primeira Avaliação e Identificação de Áreas e Ações Prioritárias para a Conservação dos Biomas Brasileiros, sendo definidas 900 áreas instituídas pela Portaria MMA n° 126, de 27 de abril de 2004 (BRASIL, 2004), classificando quatro classes de áreas prioritárias: extremamente alta, muito alta, alta e insuficientemente conhecida.

Para a área abrangida pela Bacia hidrográfica do Arroio Lami, foi delimitada e classificada a poligonal de código PpZc040 para os biomas do Pampa e Zona Costeira, área de importância “alta” e prioridade de conservação “extremamente alta”, e denominada Área Prioritária Corredor Ecológico entre Morro Santana e Parque Estadual de Itapuã.

Entre as recomendações feitas para a área, destaca-se a necessidade de criação de uma Unidade de Conservação no Morro São Pedro, convergindo para a criação do REVIS São Pedro, bem como ações de ordenamento territorial e fortalecimento da REBIO do Lami.

## **2.2 COBERTURA FLORESTAL NO ESPAÇO URBANO**

### **2.2.1 Relevância das Unidades de Conservação**

O crescimento urbano tem influenciado no aumento da fragmentação florestal e a diminuição das áreas de cobertura florestal. Ao mesmo tempo, verifica-se que a pressão antrópica sobre os habitats em ambientes peri-urbanos intensifica a necessidade de manutenção da conectividade entre habitats, garantindo assim os fluxos gênicos.

Neste sentido, o planejamento das unidades de conservação é essencial e está contido no documento denominado Plano de Manejo, conforme estabelecido na Lei do SNUC (2000). Os gestores das Unidades de Conservação devem seguir o planejamento estabelecido no Plano de Manejo (ações, políticas, normas, planos, zoneamento) monitorando e analisando os resultados obtidos em relação aos objetivos traçados.

O plano de manejo é um documento consistente, elaborado a partir de diversos estudos, incluindo diagnósticos do meio físico, biológico e social, estabelecendo as normas, restrições para o uso, ações a serem desenvolvidas e manejo dos recursos naturais da UC, seu entorno e, quando for o caso, os corredores ecológicos a ela associados, garantindo a manutenção dos processos ecológicos.

Uma das ferramentas mais importantes do plano de manejo é o zoneamento da Unidade de Conservação, que a organiza espacialmente em zonas sob diferentes graus de proteção e regras de uso. O plano de manejo também inclui medidas para promover a integração da Unidade de Conservação à vida econômica e social das comunidades vizinhas, o que é essencial para que implementação da UC seja mais eficiente.

Com a criação da Lei do SNUC, foram disponibilizados três instrumentos de gestão territorial: Corredores Ecológicos, Mosaicos e Reserva da Biosfera.

Os Corredores Ecológicos visam mitigar os efeitos da fragmentação dos ecossistemas promovendo a ligação entre diferentes áreas, com o objetivo de proporcionar o deslocamento de animais, a dispersão de sementes, aumento da cobertura vegetal. Trata-se de uma estratégia para amenizar os impactos das atividades humanas sob o meio ambiente e uma busca ao ordenamento da ocupação humana para a manutenção das funções ecológicas no mesmo território.

Os Mosaicos de Unidades de Conservação (UC) são um modelo de gestão que busca a participação, integração e envolvimento dos gestores de Unidades de Conservação (UC) e da população local na gestão das mesmas, de forma a

compatibilizar a presença da biodiversidade, a valorização da sociodiversidade e o desenvolvimento sustentável no contexto regional. O reconhecimento de um mosaico se dá quando existir um conjunto de UC próximas, justapostas ou sobrepostas, pertencentes a diferentes esferas de governo ou não.

As Reservas da Biosfera – RB (Fig. 12) são um modelo, adotado internacionalmente, de gestão integrada, participativa e sustentável dos recursos naturais. São reconhecidas pelo Programa "O Homem e a Biosfera (MAB)" da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO). Essas áreas devem ser locais de excelência para trabalhos de pesquisa científica, experimentação e demonstração de enfoques para conservação e desenvolvimento sustentável na escala regional.

Cada Reserva da Biosfera deve ser constituída por 3 zonas: uma ou mais áreas-núcleo, destinadas à proteção integral da natureza (podem ser integradas por UC já criadas); uma ou mais zonas de amortecimento, onde só são admitidas atividades que não resultem em dano para as áreas-núcleo; uma ou mais zonas de transição, sem limites rígidos, onde o processo de ocupação e o manejo dos recursos naturais são planejados e conduzidos de modo participativo e em bases sustentáveis.

Figura 12: Reservas da Biosfera Brasileira



Fonte: Ministério do Meio Ambiente.

O Bioma Mata Atlântica é um dos cinco principais *hotspots* de biodiversidade do mundo, devido à grande riqueza de espécies e ao alto grau de ameaça a que está submetido. Assim como em muitas outras florestas tropicais, a Mata Atlântica tem sido alvo de um desflorestamento massivo, sendo que atualmente apresenta apenas entre 11,4 e 16% da sua extensão de mata original (RIBEIRO *et al.*, 2009). A Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA) abrange, além da Mata Atlântica, os ecossistemas terrestres associados como parte do Bioma Pampa, no caso de Porto Alegre, que conforme o Edital de Notificação do Tombamento da Mata Atlântica (BRASIL, 1992) as matas da região sul de Porto Alegre configuram o limite sul da Floresta Atlântica.

Além disso, segundo Viana e Pinheiro (1998), a definição de estratégias para a conservação da biodiversidade deve ultrapassar os limites das Unidades de Conservação e considerar as características e o potencial de conservação dos fragmentos vizinhos. O planejamento e a gestão urbana exigem instrumentos eficazes e com a capacidade de observar a evolução espaço-temporal nos padrões de ocupação nas cidades brasileiras. Essencialmente é sobre a definição destes instrumentos de análise e discussões que se constitui a investigação científica deste projeto e a unidade de delimitação, que é a bacia hidrográfica, definida por um limite natural, que confere a posterior existência da rede de drenagem em decorrência de fontes hídricas externas e internas, dadas principalmente pelo escoamento superficial e pela infiltração.

Na tentativa de diminuir os impactos sobre a biodiversidade e manter os remanescentes de áreas naturais da forma menos alterada possível, foram criadas as Unidades de Conservação (UC) (BRASIL, 2000). Entretanto, segundo Perello *et al.* (2012) quando seu tamanho é reduzido e há falta de conectividade com outros fragmentos do entorno, a capacidade da UC em atingir seus objetivos fica limitada.

Conforme Lindenmayer *et al.* (2008), o uso e ocupação devem seguir um planejamento com base em princípios de Ecologia de Paisagens que, completado por Pardini *et al.* (2009), promovem a perspectiva de corredores e trampolins ecológicos e uma matriz permeável, de forma a garantir o deslocamento e dispersão das espécies da fauna e da flora.

### 2.2.2 Ecologia da Paisagem

Conforme Metzger (2001), a Ecologia de Paisagem é a área de conhecimento dentro da ecologia, marcada por uma abordagem geográfica, que privilegia o estudo da influência do homem sobre a paisagem e a gestão do território, e outra ecológica, que enfatiza a importância do contexto espacial sobre os processos ecológicos, e a importância destas relações em termos de conservação biológica.

Ainda, Metzger (2001) propõe uma definição integradora de paisagem como sendo “um mosaico heterogêneo formado por unidades interativas, sendo esta heterogeneidade existente para pelo menos um fator, segundo um observador e numa determinada escala de observação”. Esse “mosaico heterogêneo” é essencialmente visto pelos olhos do homem, na abordagem geográfica, e pelo olhar das espécies ou comunidades estudadas na abordagem ecológica.

Atualmente, com a intensificação das pressões antrópicas sobre o ambiente, observa-se um intenso processo de substituição das paisagens naturais por outros usos da terra. Conforme Valente (2001), essas interferências na paisagem convertem extensas e contínuas áreas com cobertura florestal em fragmentos florestais, causando problemas ao meio ambiente e, em muitos casos, afetando a disponibilidade e a qualidade de recursos naturais importantes à população de todas as regiões do mundo.

Conforme Metzger (2003), o processo de fragmentação leva à formação de uma paisagem em mosaico com a estrutura constituída por manchas ou fragmentos, corredores e a matriz.

Segundo Viana (1998), a fragmentação introduz uma série de novos fatores na história evolutiva de populações naturais de plantas e animais. Essas mudanças afetam de forma diferenciada os parâmetros demográficos de mortalidade e natalidade de diferentes espécies e, portanto, a estrutura e dinâmica de ecossistemas.

Conforme Calegari *et al.* (2010) o processo de fragmentação florestal que se intensifica nos tempos recentes tem resultado na formação de paisagens com pouca diversidade de hábitat, com fragmentos isolados e de dimensões reduzidas.

### **2.2.3 Sensoriamento Remoto aplicado**

Nos últimos anos, o planejamento urbano e ambiental foi favorecido pelo desenvolvimento do Sensoriamento Remoto nos estudos do uso da terra no ambiente urbano e rural, permitindo novas proposições de leis de zoneamento, uso e ocupação do solo.

Estudos científicos que delineiam a análise e a preservação do meio ambiente, urbano ou rural, têm empregando o geoprocessamento e os Sistemas de Informação Geográficas (SIG) com objetivo da análise temporal e espacial da paisagem, comparação das áreas de cobertura florestal, decisões de planejamento e a análise das dinâmicas agrária, ambiental e social de uma região.

O estudo da análise temporal e espacial da paisagem realizado por Altmann (2009) no município de Teutônia, no Rio Grande do Sul, utiliza as imagens do satélite LANDSAT dos anos de 1976, 1987, 1997 e 2008, e exemplifica o uso da tecnologia de Sensoriamento Remoto, apontando que as áreas florestais no Município estão aumentando, enquanto as áreas de uso agropecuário estão diminuindo.

Em outro estudo, Eckhardt (2013) evidenciou a análise temporal e espacial da paisagem do município de Bom Retiro do Sul, RS. A análise temporal foi realizada a partir de imagens do satélite LANDSAT dos anos de 1989, 1995, 1999, 2005 e 2011. Os resultados, da mesma forma que o estudo anterior, apontam para o aumento das florestas e a diminuição das áreas de uso agropecuário.

Em análise realizada por Périco (2011), foram utilizadas imagens obtidas do satélite Landsat 5 TM e Landsat 7 ETM, para analisar a variação em décadas das áreas florestadas da bacia hidrográfica do Rio Forqueta, as quais foram classificadas pelo método supervisionado da Máxima Verossimilhança Gaussiana. As imagens temáticas resultantes das áreas florestais, para cada ano analisado, foram validadas de forma heurística. Em virtude de o estudo ter foco na análise dos fragmentos florestais, os demais usos da terra foram agrupados em uma única classe temática, representada pelas áreas de uso antrópico.

Assim, foram gerados os mapas temáticos do uso e cobertura da terra para o ano de 1989 e 2008. No período estudado, de 19 anos, a Bacia hidrográfica do Rio Forqueta apresentou uma regeneração de floresta de 79%, principalmente nas áreas mais altas, onde a agricultura é mais difícil. Ocorreu uma diminuição de 31% no número de fragmentos florestais e um aumento de 120% nas áreas centrais dos fragmentos. Os

resultados indicaram uma melhora, sob o aspecto ambiental, na bacia, provavelmente devido ao abandono e regeneração de áreas de agricultura e pastagens.

Segundo Eckhardt (2013), com a utilização de imagens de satélite de uma mesma região da Terra, espaçadas no tempo, e de ferramentas computacionais presentes nos sistemas de informação geográficos, são elaboradas comparações, utilizando a dimensão temporal como uma qualidade dos dados adquiridos nos distintos instantes. Esta função do sensoriamento remoto, destinada à análise dos fenômenos temporais, é conhecida por Detecção de Mudanças no Uso e Cobertura da Terra ou ainda Avaliação Temporal.

A utilização de freewares permite acesso livre para a tecnologia, conforme estudo elaborado por Toebe (2011) com o software de geoprocessamento denominado Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas ou SPRING do INPE, que permitiu a comparação das áreas de cobertura florestal existentes do município de Foz do Iguaçu, no estado do Paraná, utilizando imagens de satélite LANDSAT, obtidas nos anos de 1985 e 2011. A metodologia baseada no processamento digital das imagens verificou a diminuição das áreas existentes de vegetação arbórea no período considerado.

Segundo Freitas *et al.* (2013), a eficiência nas decisões de planejamento é função de uma base de informações que retrate com relativa precisão o ambiente construído. Tendo em vista que a maior parte das decisões tomadas pelo planejamento e gestão urbana possui um componente espacial importante, o mapeamento das informações torna-se fundamental, pois permite uma maior cognição por parte do gestor urbano.

Conforme Pereira *et al.* (2018), o uso e cobertura da terra de forma detalhada através de uma metodologia simplificada, por meio da integração dos softwares Google Earth Pro e o QGIS, apresenta potencialidades e limitações na utilização dessas geotecnologias gratuitas para fins de avaliação do uso e cobertura da terra, concluindo que o QGIS é ideal para avaliar os dados previamente adquiridos, mapeamento e composição dos mapas temáticos.

Segundo Guimarães *et al.* (2012), nos mapeamentos visando classificação de uso e cobertura da terra, frequentemente são demandadas grandes somas de recursos e métodos complexos, o que tem elevado a procura por geotecnologias simples e gratuitas, destacado o QGIS e o *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP).

Segundo Pereira *et al.* (2018), os mapas de uso da terra são essenciais na análise das dinâmicas agrária, ambiental e social de uma região, mas sua obtenção tem sido limitada por recursos dispendiosos. O QGIS, utilizado em estudos do uso e cobertura do solo e ecologia da paisagem, é um software gratuito, e de código aberto com interface simples e de fácil manuseio, oferecendo ferramentas que possibilitam visualizar, gerenciar, editar, analisar os dados e compor mapas impressos, obter impressão com determinadas *screenshots* e uma lista de recursos mais detalhada.

Segundo Almeida (2011), o software permite consultas espaciais, exploração interativa de dados, identificação e seleção de geometrias, pesquisa, visualização e seleção de atributos e criação de simbologia vetorial e *raster*.

Por isso, o uso de ferramentas simples e gratuitas, como o *Semi-automatic Classification Plugin* (SCP), para QGIS, tem aumentado. O SCP desenvolvido por Luca Congedo, em 2013, é um complemento importante do QGIS, que possibilita a classificação supervisionada de imagens, demonstrando, segundo Congedo (2016), bons resultados. Os resultados demonstraram que o SCP é adequado para mapear usos da terra com qualquer um dos classificadores, mas o algoritmo *Maximum Likelihood* apresentou o melhor desempenho, com acurácia quase perfeita.

## CAPÍTULO 3. MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Dados

Foram utilizados como fonte de dados (Quadro 1) as reclassificações do Mapeamento de Vegetação e Uso do Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre (2003), o Levantamento Aerofotogramétrico realizado pela Prefeitura Municipal de Porto Alegre (2010), e elaborado mapeamento de Uso da Terra para 2018 com imagens do nanossatélite do tipo *PlanetScope*.

Quadro 1: Fonte de dados utilizados

Ano	Dado/Fonte	Período	Base	Resolução
2003	Mapa Vegetação e Ocupação Diagnóstico Ambiental	Março/2002	Quickbird	60cm
		Março/2003	R/G/B/PAN	
2010	Levantamento Aerofotogramétrico	Agosto de 2010	Voo R/G/B/IR/PAN	12,5cm
2018	Mapeamento de Uso da Terra	11e17 Abril/2018	PlanetScope R/G/B/IR	3m

O mapeamento do Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre, consiste em um conjunto de arquivos digitais em formato *shape file* contendo os diferentes temas mapeados (Quadro 2). Todos os arquivos estão no sistema UTM (*Datum* SAD 69), obtidos no sítio eletrônico do Instituto de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, constituindo os planos de informação abaixo especificados:

Quadro 2: Nível de informações do Diagnóstico Ambiental:

Tema	Elemento Geográfico	Arquivo(.shp)	tipo
<b>Vegetação e ocupação</b>	Manchas dos diferentes tipos de vegetação e ocupação	vegetação_e_ocupacao	Polígono
<b>Sub-bacias</b>	Limites das sub-bacias hidrográficas	sub_bacias	Polígono
<b>Drenagem</b>	Cursos e corpos d'água da rede de drenagem superficial	drenagem_superficial	Linha
<b>Eixos de ruas</b>	Eixos de ruas	eixo_ruas	Linha

Fonte: Diagnostico Ambiental de Porto Alegre

O Levantamento Aerofotogramétrico de 2010 (Quadro 3) considerou as especificações do IBGE tanto quanto ao sistema de referência geodésico adotando o SIRGAS-2000, como com relação a utilização da projeção UTM. O mapeamento foi feito com pixel na dimensão de 12,5 cm, e cobertura com o perfilamento LASER, com uma malha de pontos com densidade mínima de 2 pontos/m<sup>2</sup>.

Quadro 3: Nível de informações do Levantamento Aerofotogramétrico de 2010:

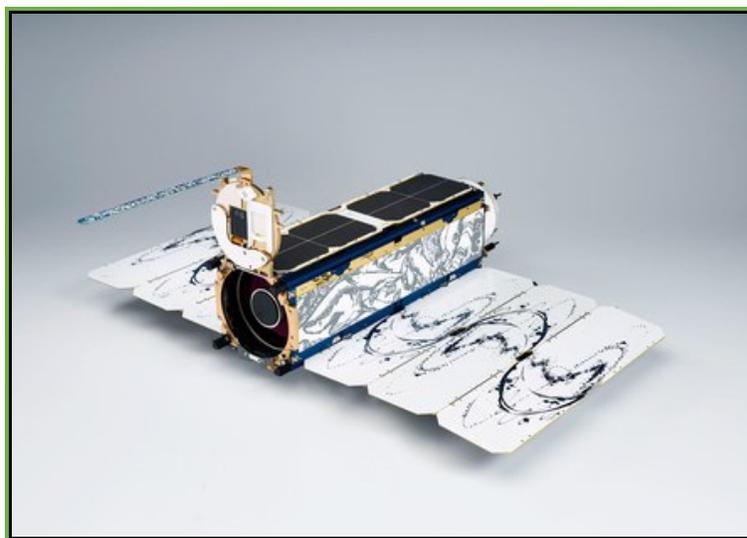
<b>Tema</b>	<b>Elemento Geográfico</b>	<b>Arquivo(.shp)</b>	<b>tipo</b>
<b>Vegetação</b>	Manchas e indivíduos isolados dos diferentes tipos de vegetação	arvores_isoladas	Ponto
		vegetacao	Polígono
		culturas	Polígono
<b>Estrutura Urbana</b>	Manchas dos diferentes tipos de ocupação urbana	ocupacao	Polígono
<b>Eixos de ruas</b>	Eixos de ruas	eixo_ruas	Linha
<b>Hidrografia</b>	Cursos e corpos d'água da rede de drenagem superficial	Rios	Linha
		Lagos	Polígono
		banhados	Polígono

Fonte: Secretaria Municipal da Fazenda/PMPA.

Para o mapeamento de uso da terra foram selecionadas as imagens dos dias 11 e 17 de abril do ano de 2018 do nanossatélite do tipo PlanetScope *Analytic Ortho Scene*, adquiridas através da GRAPHICAL USER INTERFACE (GUI) disponível no sítio eletrônico da companhia *Planet Labs*, que utiliza uma constelação de *CubeSats* formada por nanossatélites denominados *Dove* (Fig. 13).

Foi utilizado uma licença do Programa Institucional de Acesso a Dados, que fornece imagens cobrindo áreas de até 10.000 km<sup>2</sup> por mês a projetos de pesquisa aprovados. Para a escolha das imagens, foi considerado o percentual de cobertura de nuvens e a quantidade de imagens adquiridas da mesma área de interesse, assim filtrando e diminuindo a quantidade de dados. As cenas foram definidas buscando uma menor cobertura de nuvem, principalmente nas áreas consideradas para a verificação dos dados classificados.

Figura 13 – CubeSat Dove da empresa Planet



Fonte: Planet.

O produto que será utilizado nesta pesquisa é o *PlanetScope Ortho Scene* (Quadro 4) corrigido para reflectância de superfície que é disponibilizado no formato GeoTIFF, reamostrado para resolução espacial de 3 m, na projeção UTM (*Datum WGS84*), com resolução radiométrica de 16 bits (65.536 níveis de cinza) e valores de reflectância escalonados por 10.000.

Quadro 4: Características do produto *PlanetScope Ortho Scene*.

Produto	PlanetScope Ortho Scene
<b>Imagens PlanetScope</b>	142726_of_3B_AnalyticMS_SR - Data: 17/04/2018 Hora: 12:55:42
	125542_1029_3B_AnalyticMS_SR - Data: 17/04/2018 Hora: 12:55:42
	125543_1029_3B_AnalyticMS_SR - Data: 17/04/2018 Hora: 12:55:43
<b>Nível</b>	3B
<b>Descrição</b>	Ortorectificado, dimensionado para TOA (sensor) adequado para uso analítico e visual, baseado em cena e com projeção cartográfica
<b>Resolução Espacial (m)</b>	3,125
<b>Resolução Radiométrica (bits)</b>	8
	DN = 12
	Radiância = 16
<b>Resolução Espectral</b>	Visual: RGB
	Analítico: RGB + NIR
<b>Bandas</b>	Azul 455-515
	Verde 500-590
	Vermelho 590-670
	Infravermelho Próximo 780-860

Fonte: Adaptado de PLANET (2018a)

O produto *PlanetScope Ortho Scene* é ortoretificado, com correções das distorções da imagem causadas pelo terreno, utilizando coeficientes polinomiais racionais e modelos de terreno de diferentes fontes. A precisão posicional para estes produtos em 80% dos casos é melhor do que 7 metros, podendo chegar a 10 m de erro planimétrico. Nessa correção geométrica das imagens são utilizados pontos de controle terrestre, modelos digitais de elevação e imagens de satélite e aéreas de alta resolução, como o mapa base ALOS com 2,5 m de resolução espacial (PLANET, 2018a).

A detecção da cobertura de nuvens nas imagens também é processada baseada na radiância esperada para cada pixel em determinados períodos do ano, sendo classificado como nuvem o pixel que apresentar valor de radiância abaixo do esperado para o período do ano. A base de dados de radiância utilizou os dados históricos do satélite Landsat 8 (PLANET, 2018a).

O co-registro das bandas é realizado através do Planet Pipeline, onde as imagens são retificadas ao nível do terreno e posteriormente são utilizadas para realizar o alinhamento do solo e co-registro das cenas posteriores da mesma faixa (PLANET, 2018a).

A precisão radiométrica de calibração foi de 5% medida em laboratório. As imagens têm resolução radiométrica de 12 bits e após os processamentos e correção radiométrica são escalonadas para 16 bits. Os Números Digitais (DN) são escalonados para  $0,01 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$  para minimizar os erros de quantização, representando os valores absolutos de radiância calibrada (PLANET, 2018a).

A partir da utilização da imagem com reflectância corrigida para TOA é realizada a correção para reflectância BOA. Para o cálculo da reflectância BOA, pixel a pixel, é empregado o modelo de transferência radiativa 6S (*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*) separadamente para cada sensor da constelação PlanetScope. Ainda é utilizado no cálculo dados de vapor de água e ozônio do produto MODIS NRT. Os resultados desta correção são altamente correlacionados com os dados Landsat 8, quando utilizados em análise temporal com uso de índice de vegetação (PLANET, 2018c).

Dados com reflectância BOA são requeridos para o uso em análises quantitativas, modelagem de parâmetros geofísicos e biofísicos e na análise de mudanças no uso e cobertura da terra.

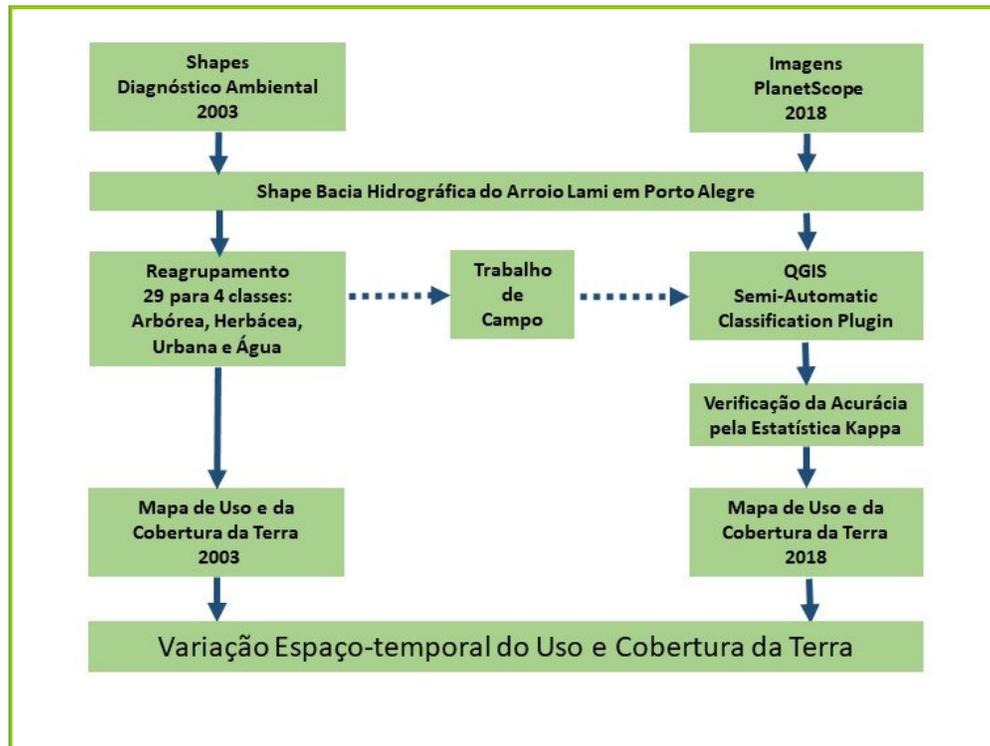
### 3.2 Procedimentos Metodológicos

Para recorte da área de estudo foi definida a Bacia hidrográfica do Arroio Lami, destacando a importância do uso da bacia como unidade de planejamento ambiental, constituindo uma unidade espacial de fácil reconhecimento e caracterização, conforme Nascimento *et al.* (2008) e Vaeza *et al.* (2010).

Os Fluxograma (Fig. 14 e 15) apresentam a metodologia utilizada para atingir os objetivos propostos nesse estudo:

A primeira parte objetivou a análise da variação espaço-temporal do uso e cobertura da terra da Bacia hidrográfica do Arroio Lami, no período de 2003 a 2018, com dados reclassificados do mapeamento do uso e cobertura da terra do Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre, e da antropização urbana da bacia hidrográfica com o uso da extensão *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) aplicada à imagem do *PlanetScope* de 2018.

Figura. 14: Fluxograma da Metodologia para análise da variação espaço-temporal do uso e cobertura da terra da Bacia hidrográfica do Arroio Lami.



Foram realizados quatro trabalhos de campo (Quadro 5), sendo o primeiro em 27 de abril de 2018, para análise do contexto entre a vegetação e as intervenções de origem antrópica, onde foram visitados locais definidos para a observação, documentação fotográfica das manchas representativas e sua localização, e registro por receptor GPS (*Global Positioning System*).

Quadro 5: Registro das vistorias realizadas.

Data	Evento	Elementos avaliados
10/fevereiro/2018	Análise preliminar da Bacia hidrográfica do Lami.	vegetação_e_ocupacao
27/abril/2018	Morro São Pedro	Análise situação da UC
1/maio/2018	Manchas dos diferentes tipos de vegetação e ocupação	Vegetação e drenagem_superficial
8/setembro/2018	Revisão	Vários elementos.

A segunda parte objetivou a análise dos padrões espaciais de fragmentação florestal da bacia, a luz das métricas da paisagem, utilizando o Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre, o levantamento aerofotogramétrico contratado pela Prefeitura Municipal de Porto Alegre em 2010, e o Mapeamento do Uso da Terra obtido com as imagens do satélite *PlanetScope* de 2018 (Fig. 16).

Figura. 15: Fluxograma da Metodologia para análise dos padrões espaciais de fragmentação.

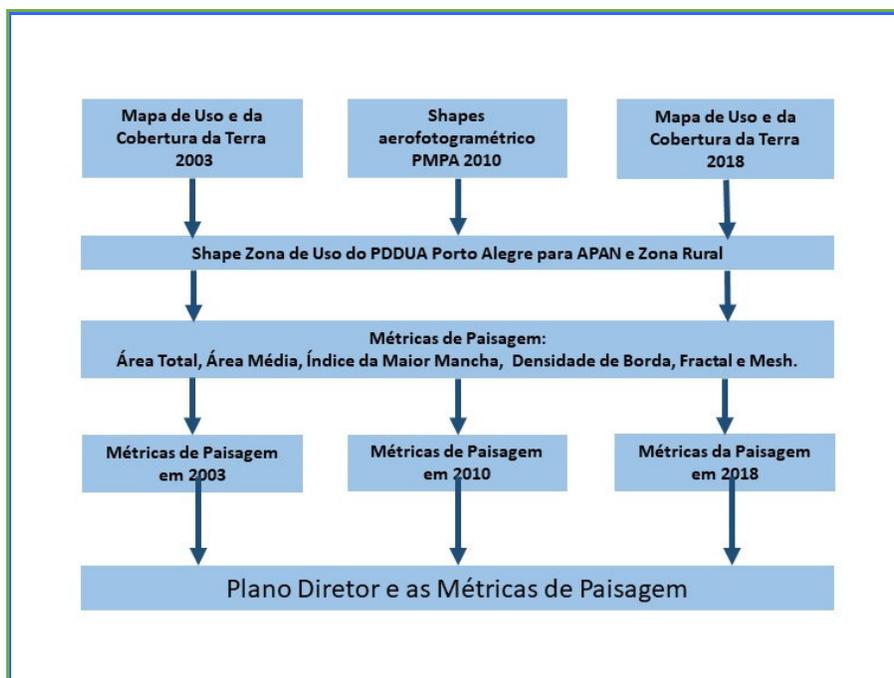
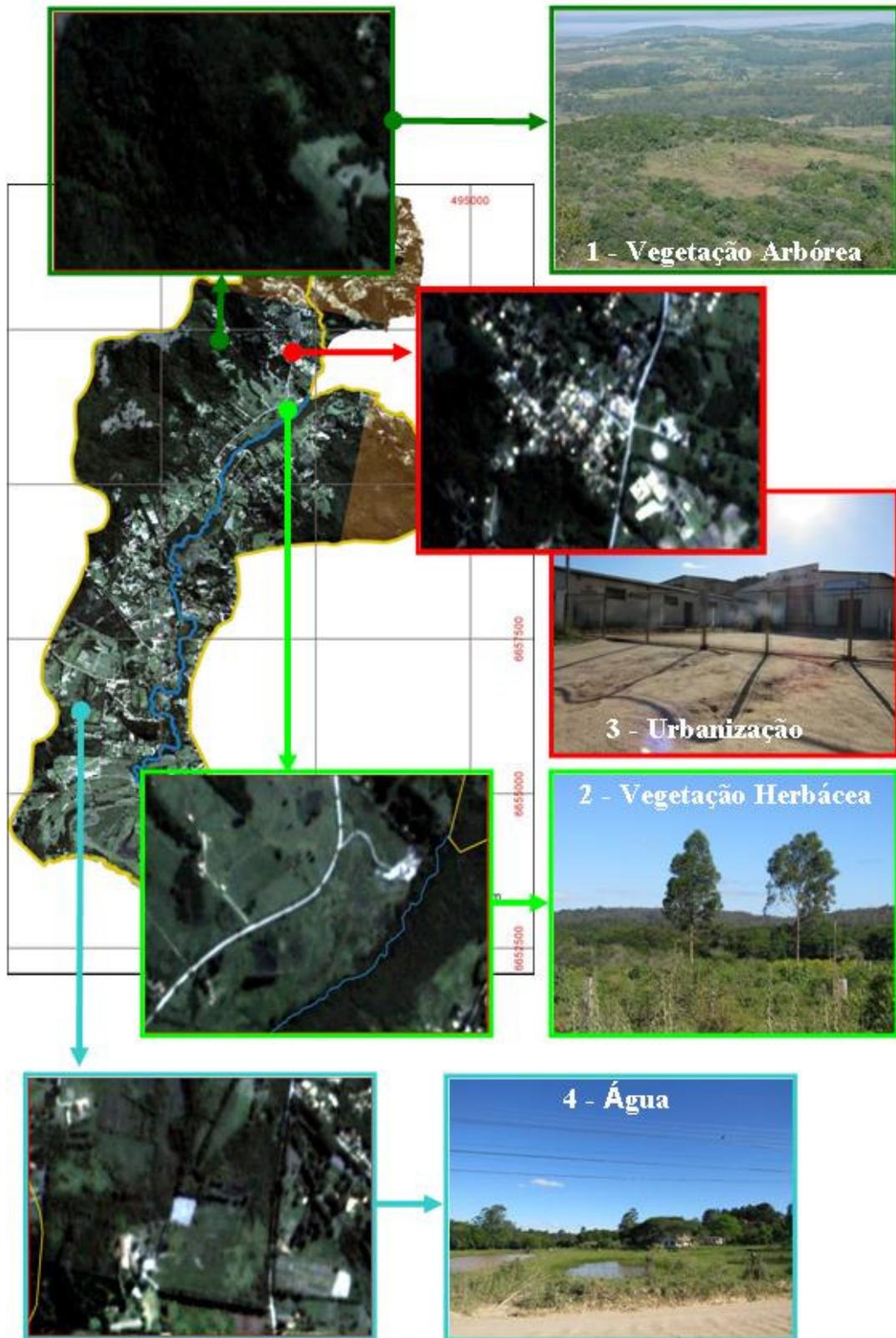


Figura 16: Imagem da Bacia hidrográfica do Arroio Lami



### 3.2.1 Mapeamento do Uso da Terra

Para o presente trabalho, foram utilizados o software de distribuição livre QGIS 2.18 *Las Palmas* (GRASSGIS 7.2), e também do *plug-in Semi-Automatic Classification* (SCP), Para a realização dos recortes de informações geográficas georreferenciados, análise de saída das informações e validação do framework; e imagem do uso e cobertura da terra do município de Porto Alegre elaborado por Hasenack *et al.* (2008) no Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre.

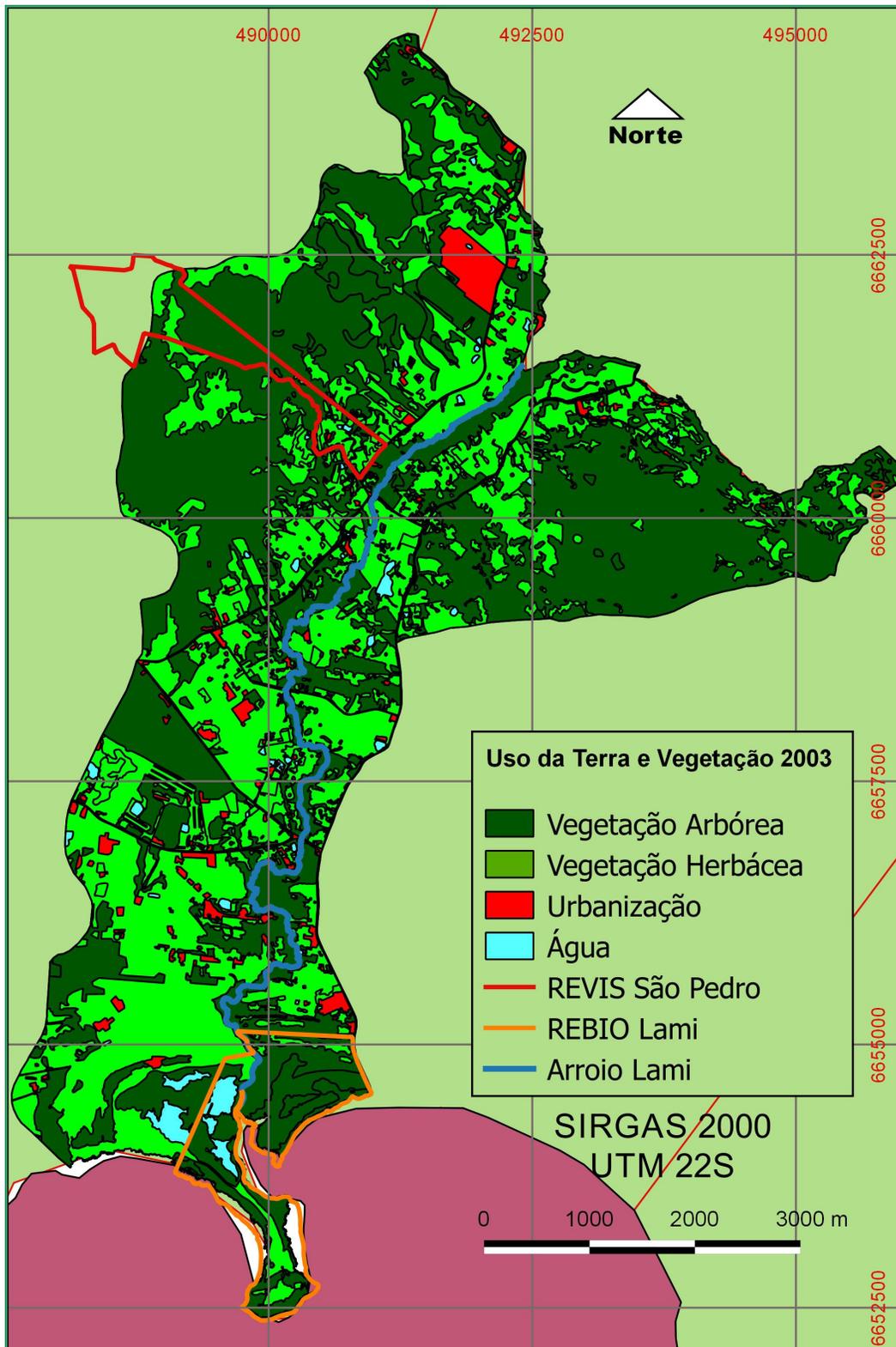
Também foram utilizados o software Microsoft Excel e um receptor do *Global Positioning System* (GPS) da marca Garmin (frequência simples C/A) para o apoio às observações e registros fotográficos em campo.

O mapeamento de uso e cobertura da terra da Bacia hidrográfica do Arroio Lami para 2003 (Fig. 17) foi obtido com base dos dados do Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre, realizado por Hasenack *et al.* (2008). O mapeamento realizado para a dissertação é resultado da interpretação das 29 classes elaboradas pelo Diagnóstico Ambiental que foram agrupadas em quatro classes (Quadro 6).

Quadro 6: Classes de Uso da Terra – Diagnóstico Ambiental Porto Alegre 2008

Classes Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre			
Agrupado		Original	
1	Vegetação Arbórea	Mata Nativa	Mata Nativa com Exótica
		Bosque	Mata Degradada
		Arbustiva transição Mata	Silvicultura - Antrópico
2	Vegetação Herbácea	Banhado	Campo Nativo
		Campo Rupestre	Campo Manejado
		Campo Degradado	Campo Nativo
		Lavoura Sazonal - Antrópico	Lavoura Perene - Antrópico
		Arbustiva transição Campo	
3	Urbano	Com/Indus/Serv. Urbanos	Com/Indus/Serv. Rural
		Res/Casa Orgânico Continuo	Res/Casa Orgânico Esparso
		Res/Casa Tradicional Esparso	Res/Casa Terrenos Grandes
		Res/Casa Orgânico Contínuo	Res/Casa Tradicional Contínuo
		Residencial Casas Rural	Residencial Casas Rural
		Vias	Solo Exposto
4	Água	Água	

Figura 17: Mapa de Uso e da Cobertura da Terra 2003.



Fonte: Diagnóstico Ambiental Porto Alegre – 2008.

O mapeamento de uso e cobertura da terra da Bacia hidrográfica do Arroio Lami no ano de 2018 (Fig. 18) foi elaborado com a base na classificação digital de cenas do *PlanetScope* e bandas do infravermelho próximo, vermelho e verde, e a análise estrutural dos vegetais e da antropização urbana da bacia hidrográfica com *plug-in Semi-Automatic Classification* (SCP), desenvolvido por Congedo (2016), aplicada à imagem do *PlanetScope* obtida nos dias 11 e 17 de abril de 2018.

Em trabalho de campo, realizado em 1 de maio de 2018, foi verificado que as áreas antrópicas agrícolas, compreendidas pela silvicultura e lavouras temporárias, ocupam menor área na bacia hidrográfica, e não foram identificadas pelo SCP.

Para o classificador SCP, a classe silvicultura foi classificada no grande grupo da vegetação arbórea e as lavouras no grupo vegetação herbácea. Dessa forma, considerando que as áreas vegetação antropizadas são pequenas comparadas com a vegetação natural, foi definido que, para efeito da análise do SCP, as lavouras são absorvidas pela classe Campo e a silvicultura absorvida pela classe Arbórea.

As assinaturas espectrais foram calculadas automaticamente e representadas graficamente no histograma do SCP, utilizando o algoritmo *Maximum Likelihood* (Classificação por Máxima Verossimilhança – MAXVER), para um valor do limiar de 100, para as classes: vegetação arbórea, vegetação herbácea, urbanização e água.

A acurácia das classes foi avaliada através método Rosenfield e Fitzpatrick-Lins (1986), onde a matriz de erros, que em sua diagonal principal aponta a proporção dos pixels classificados corretamente e, na soma dos valores marginais das linhas e colunas, respectivamente, os erros de inclusão e omissão para cada classe temática. Para definição da acurácia do mapeamento será utilizado o coeficiente Kappa (Quadro 7), conforme método desenvolvido por Landis & Koch (1977), que associa a um determinado intervalo de valores Kappa um grau de concordância do mapa temático.

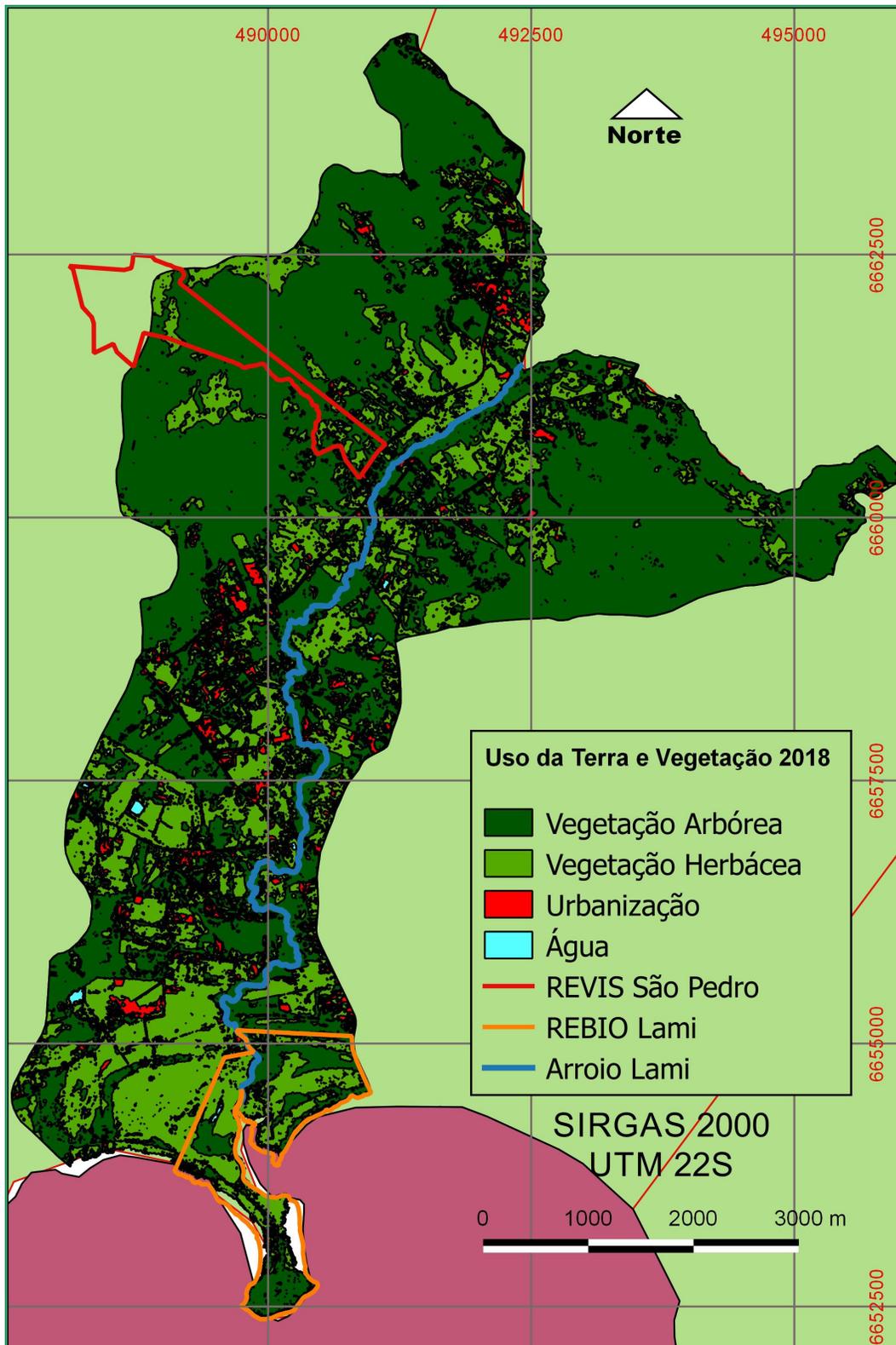
Quadro 7: Qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa.

<b>Coefficiente Kappa</b>	<b>Força da concordância</b>
<b>0,00</b>	Não concordante
<b>0,01 a 0,20</b>	Ruim
<b>0,20 a 0,40</b>	Razoável
<b>0,40 a 0,60</b>	Boa
<b>0,60 a 0,80</b>	Muito Boa
<b>0,80 a 1,00</b>	Excelente

Fonte: Adaptado de Landis & Koch (1977).

De acordo com Guptill & Morrison (1995), o valor mínimo necessário para uma classificação ser aceitável é de 85%, em relação à exatidão global.

Figura 18: Mapa de Uso e da Cobertura da Terra 2018.



Fonte: Classificação com o uso do *Plugin SCP* – imagem *PlanetScope* 2018.

A classificação das imagens do *PlanetScope*, utilizando a ferramenta *plug-in Semi-Automatic Classification (SCP)*, permitiu identificar áreas antrópicas, áreas florestadas, áreas de campos e águas. As áreas antrópicas na Bacia do Arroio do Lami compreendem as áreas urbanizadas que incluem vilas e ocupações irregulares, solo exposto e estradas.

As áreas de vegetação natural destacam-se no processo de classificação, apresentando uma grande porção de área florestada junto aos morros São Pedro e Extrema, e ao longo do arroio Lami. Existem áreas de campos onde predominam exemplares de campo rupestre no topo do morro São Pedro, e campos manejados com presença de espécies exóticas nas áreas mais planas da bacia.

### **3.2.2 Métricas de Paisagem**

Foram utilizadas reclassificações do Mapeamento de Vegetação e Ocupação do Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre, o Levantamento Aerofotogramétrico realizado pela Prefeitura Municipal de Porto Alegre (2010) e o mapeamento de Uso da Terra para 2018 com imagens do nanossatélite do tipo *PlanetScope*, adquiridas através da *Graphical User Interface (GUI)* disponível no sítio eletrônico da companhia Planet, com o uso do aplicativo computacional Qgis 2.18.0 e a extensão *Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)*. Este mapeamento permite verificar a evolução florestal da bacia hidrográfica do Arroio Lami (Fig. 19).

Conforme o PDDUA, a Bacia hidrográfica do Arroio Lami está dividida em cinco unidades de planejamento e estas foram consideradas como unidades de recortes para a extração das métricas para 2003, 2010 e 2018. Após uma análise inicial de todas as unidades de planejamento, optou-se em analisar somente a unidade Zona Rural e a APAN, visto que estas duas unidades correspondem a 93,32% da área da bacia hidrográfica.

A partir dos mapas de uso e cobertura da terra, isolou-se a classe referente a floresta, convertendo em uma única classe correspondente aos fragmentos florestais para os anos de 2003 (Fig. 20), 2010 (Fig. 21) e 2018 (Fig. 22) para Zona Rural e a APAN como unidades de recortes para a extração das métricas. Aplicaram-se métricas de ecologia da paisagem para se obter o número de fragmentos existentes, a relação de tamanho entre eles, o formato e grau de conectividade. As métricas ou índices foram produzidos a partir de scripts em Linguagem R.

Figura 19: Evolução Florestal (verde) na Bacia hidrográfica do Lami.

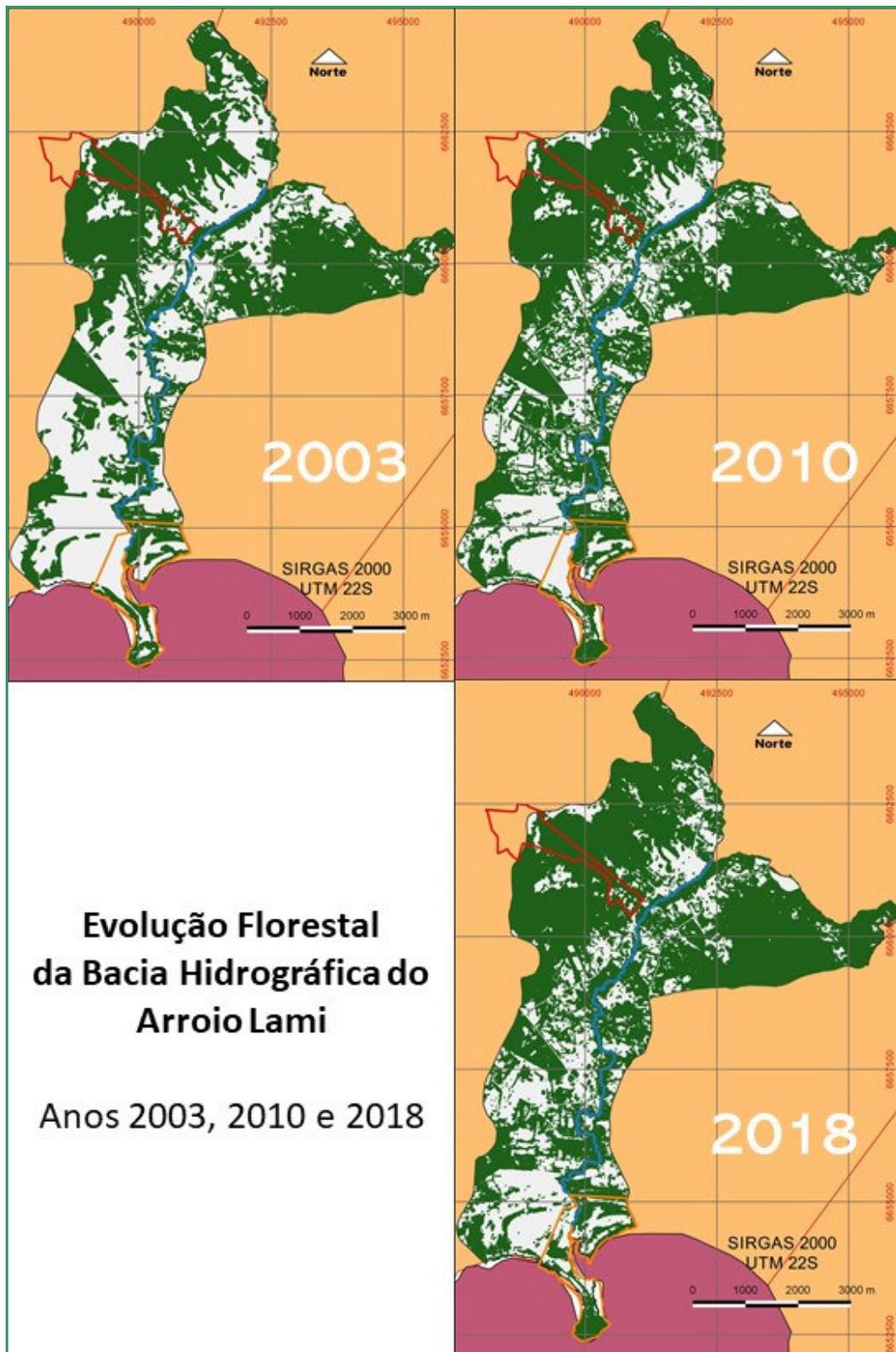


Figura 20: Fragmentos Florestais no ano de 2003 por Zona de Uso.

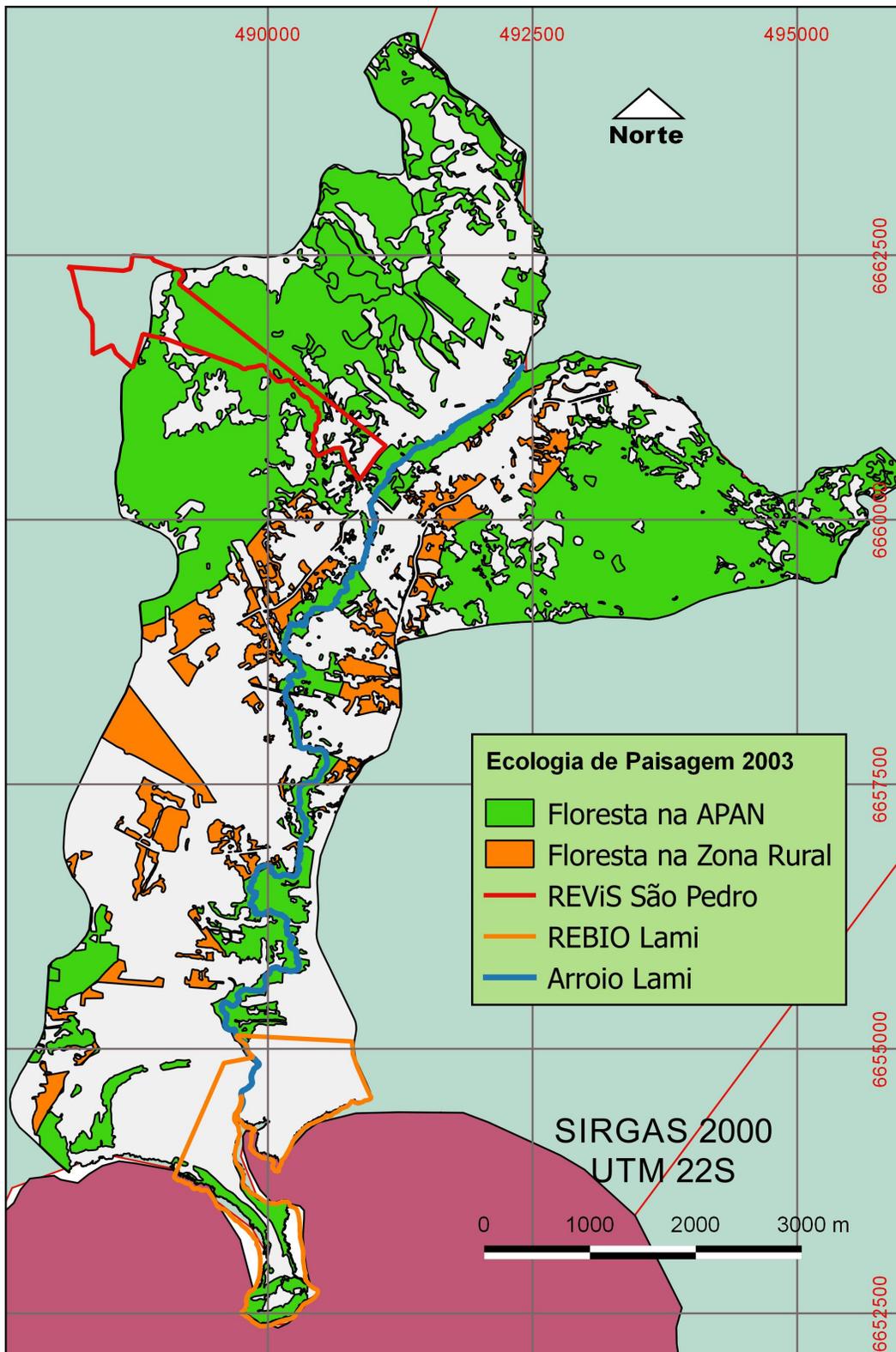


Figura 21: Fragmentos Florestais no ano de 2010 por Zona de Uso.

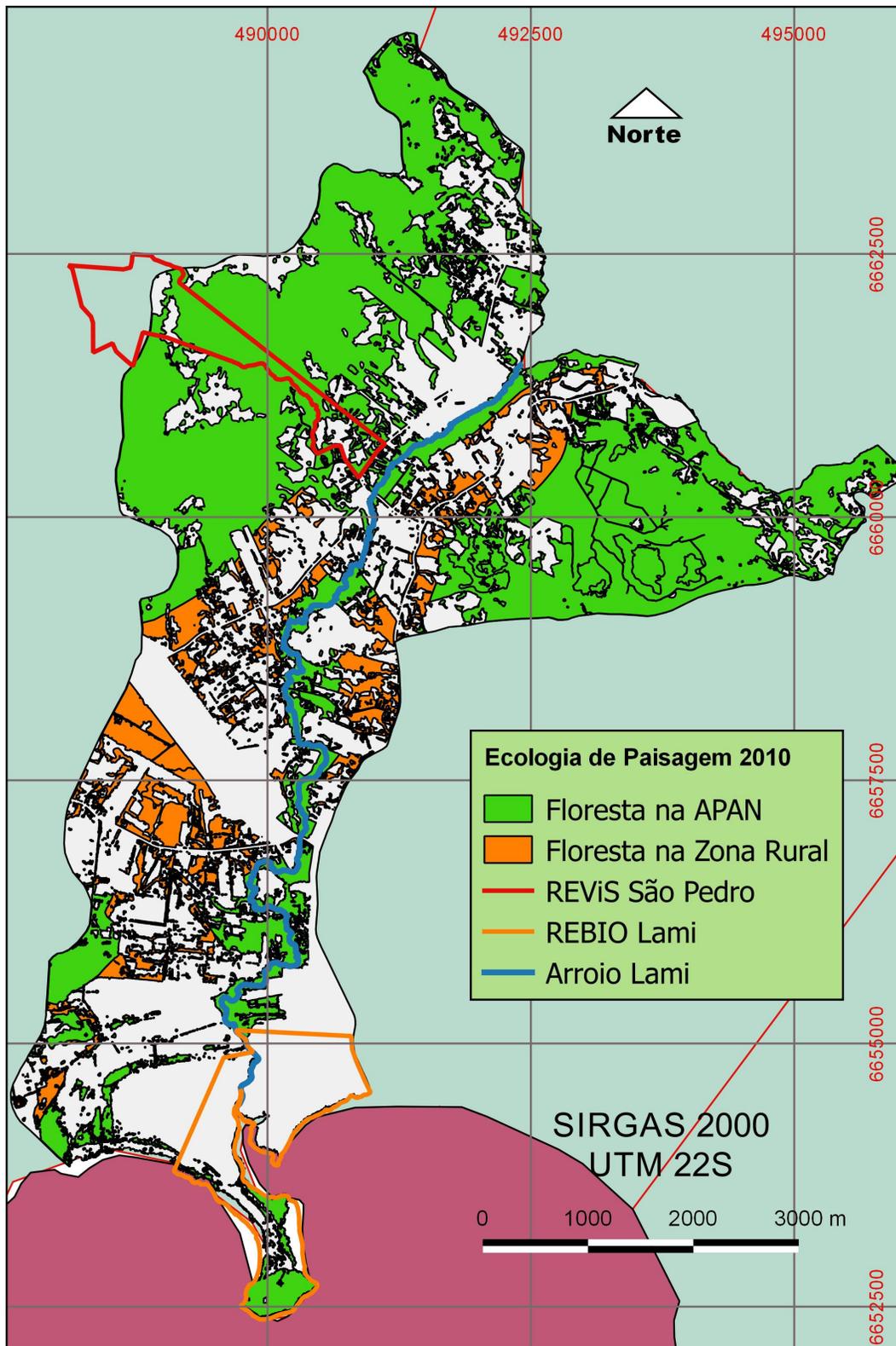
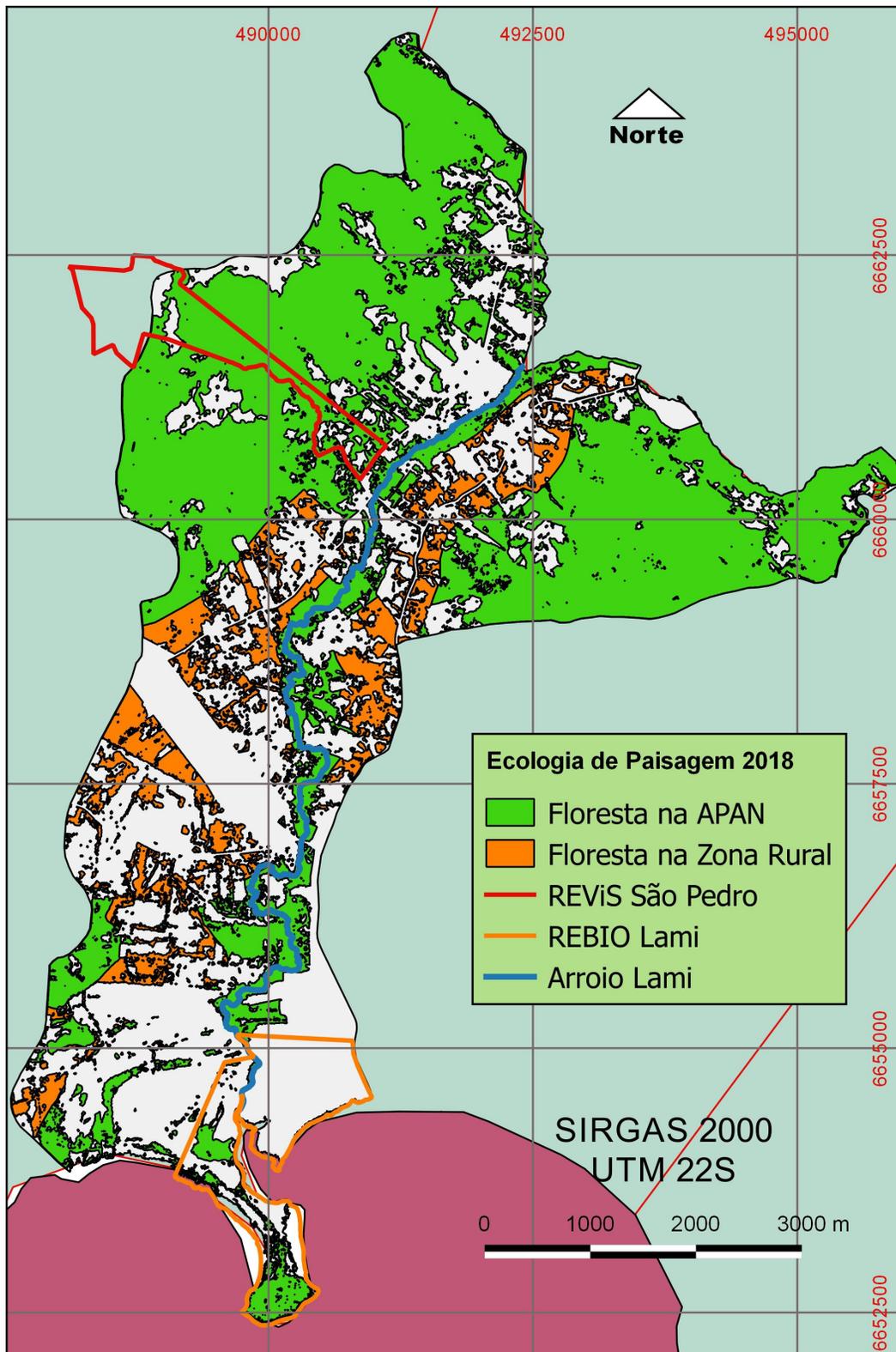


Figura 22: Fragmentos Florestais no ano de 2018 por Zona de Uso.



Foram realizados cálculos, por funções em linguagem R de métricas de ecologia da paisagem para fragmentos florestais contidos na bacia hidrográfica do arroio Laminos nos anos de 2003, 2010 e 2018; mapeamento e quantificação das áreas de floresta; e análise das características dos fragmentos florestais presentes na área de estudo, em termos de área, forma, borda e contágio (Quadro 8).

Quadro 8: Métricas da paisagem utilizadas na paisagem da Bacia do Lami.

<b>Grupo</b>	<b>Sigla</b>	<b>Métrica</b>	<b>Unid.</b>	<b>Observação</b>
<b>Área</b>	AT	Área Total	ha	Somatório das áreas de todos os fragmentos da classe florestal
<b>Área</b>	AM	Área Média		Somatório das áreas de todos os fragmentos dividido pelo número de fragmentos.
<b>Área</b>	LPI	Índice da maior mancha	-	área da maior mancha da classe pela área total da paisagem.
<b>Borda</b>	ED	Densidade de Borda	m/ha	Total de bordas da classe ponderada pela área total.
<b>Forma</b>	MFractal	Fractal	-	Soma do perímetro de cada fragmento dividido pela raiz quadrada da área de cada fragmento, ajustado pela constante para um padrão quadrado, ponderado pela área.
<b>Contágio</b>	Mesh	Mesh	ha	Média do tamanho dos fragmentos com relação a paisagem como um todo.

O gráfico das áreas dos fragmentos florestais foi feito no Microsoft Excel 365, utilizando os dados obtidos na Tabela de Atributos, gerada por sua vez através de operações geométricas e dados calculados pelo programa SIG livre QGIS® 2.18 LAS PALMAS, bem como, a atualização e elaboração da base de dados e o mapeamento dos fragmentos florestais nos anos de 2003, 2010 e 2018.

### 3.2.3 Fotos da área de estudo

A seguir apresentam-se fotos mostrando a formação florestal da Bacia hidrográfica do Arroio Lami em diferentes pontos da área de estudo. A APAN obteve o melhor índice entre as outras zonas de uso, ou seja, é mais homogênea, possuindo poucas manchas isoladas, o que indica fragmentos, em média, maiores e com formas mais adequadas para conservação, enquanto a Zona Rural é composta por fragmentos pequenos e com formatos menos apropriados para conservação. Na Bacia hidrográfica do Arroio Lami, a vegetação herbácea está presente nos banhados, nos campos nativos e nos campos manejados de solo arenoso. De características rurais e urbanas, na Bacia hidrográfica do Arroio Lami (Fig. 23) são encontradas áreas de agricultura tradicional, ecológica, núcleos urbanos, bem como sítios destinados à moradia e ao lazer.

Figura 23: Imagem da Bacia



A classe de cobertura florestal ocupa 2.103 ha, ou 61% da Bacia hidrográfica do Arroio Lami com área de 3.411 ha, entretanto, deve-se notar que existe a forte influência por parte do fragmento florestal localizado junto aos morros São Pedro e Extrema (Fig. 24), localizados em área de APAN, correspondente a 79% de toda vegetação localizada na bacia hidrográfica.

Figura 24: Imagem da Bacia



## CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 PRIMEIRO ARTIGO: Mudanças Espaço-Temporais de Uso e Cobertura da Terra da Bacia Hidrográfica do Arroio do Lami, Porto Alegre, RS.

#### RESUMO

O artigo objetiva a análise da variação espaço-temporal do uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Arroio Lami, Porto Alegre, RS, no período 2003-2018. O aplicativo computacional QGIS e a extensão *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) foram aplicados à imagem do *PlanetScope* obtida nos dias 11 e 17 de abril de 2018. Os resultados foram comparados com os dados reclassificados do mapeamento do uso e cobertura da terra do Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre de 2003. O mapa de classe de uso e cobertura da terra para 2018 mostra que a bacia tem 62% de vegetação arbórea, 34% de vegetação herbácea e 4% de área urbana. A classe cobertura florestal localiza-se principalmente nas áreas mais íngremes dos morros. A planície aluvial, junto ao Arroio Lami, é a unidade com maior crescimento urbano e ocupação por áreas de cultivo. A área total da cobertura florestal da Bacia Hidrográfica do Arroio Lami aumentou 23,88% e reflete o processo histórico de ocupação, degradação das terras e posterior recuperação florestal na bacia hidrográfica. Os resultados evidenciaram um bom potencial de uso de imagens do nanossatélite *PlanetScope* para discriminar classes de cobertura da terra na bacia hidrográfica.

Palavras-chave: Planejamento Urbano. *PlanetScope*. APAN Morro São Pedro e Lami.

#### 1. Introdução

As informações sobre as transformações urbanas são importantes para os legisladores, administradores públicos e planejadores urbanos, sendo base principal do sistema de gestão, conforme definido por Albuquerque (2012). No entanto, o progressivo crescimento das cidades brasileiras foi estruturado em um desenvolvimento urbano que descartou qualquer análise das condições ambientais preexistentes.

Porto Alegre está em processo de espraiamento urbano, conforme definido por Ojima (2007) e enfatizado por Monte-Mór (2006), exemplificado pela extinção da Zona Rural de Porto Alegre pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PORTO ALEGRE, 1999), passando a classificar a zona de ocupação extensiva e a zona rural como Cidade Rururbana. De acordo com Cabette & Strohaecker (2015), a inclusão de setores rurais do município de Porto Alegre no perímetro urbano estaria, de certa forma, incentivando o processo de urbanização difusa.

Para Lima & Rocha (2011), dados de Sensoriamento Remoto e técnicas de Geoprocessamento constituem um instrumental indispensável na avaliação e

monitoramento ambiental e para a geração de informações que possam orientar o gerenciamento dos recursos naturais visando o desenvolvimento sustentável. A observação da distribuição da cobertura vegetal, da qualidade e morfologia dessa vegetação e as mensurações de forma, dimensões e distância entre ocorrências de cobertura vegetal são favorecidos pelo uso do Sensoriamento Remoto.

Além disso, o entendimento que a dinâmica da urbanização acelerada das metrópoles exige rapidez dos mapeamentos para atualização da base de dados geográficos, constitui o sensoriamento remoto como uma importante fonte de dados, permitindo a obtenção de grandes quantidades de informações sobre determinada região. De acordo com Wachholz & Waterloo (2004), o sensoriamento remoto avalia a dinâmica do espaço, dispondo de técnicas de aquisição e processamento de imagens, com facilidades para obtenção de dados sobre qualquer lugar do globo terrestre.

Nesse sentido, Grigio (2003) registra que o Sensoriamento Remoto permite o estudo da evolução ambiental de uma região, desde o início da intensificação dos processos antrópicos. A base na análise de imagens de satélites é um dos meios que se dispõe hoje para acelerar e reduzir custos dos mapeamentos e da detecção de mudanças geoambientais. As aplicações de sensoriamento remoto em ambientes urbanos podem ser com o uso de novos dados, como das imagens de nanosatélites, favorecendo o mapeamento com detalhamento, qualidade e agilidade na discriminação dos objetos geográficos visando o apoio aos gestores no planejamento urbano.

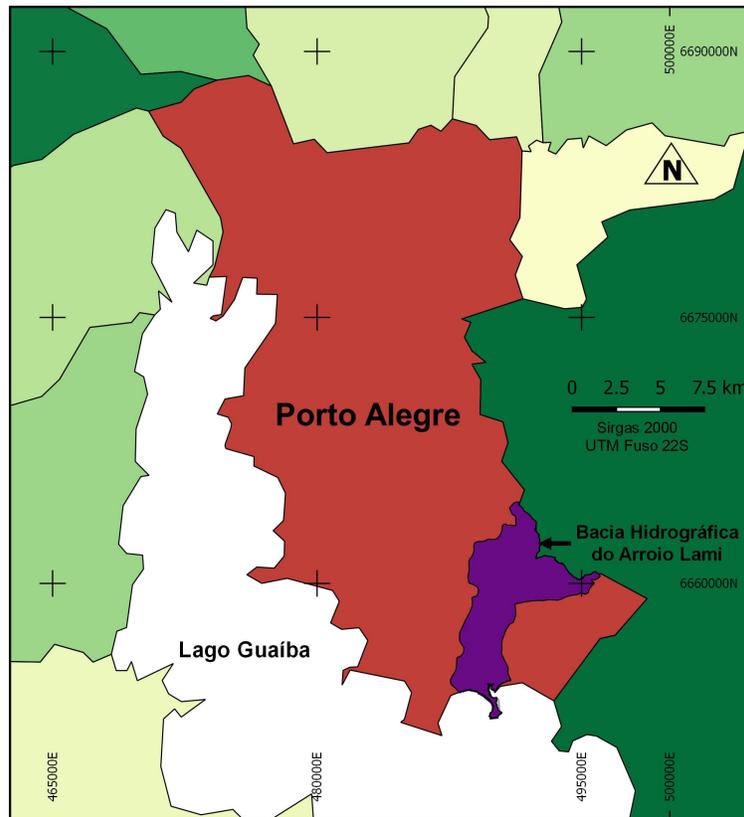
O artigo tem como objetivo a análise das mudanças de uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Arroio Lami, Porto Alegre, no período entre 2003 a 2018.

## **2. Materiais e Métodos**

### **2.1 *Localização da Área***

A Bacia Hidrográfica do Arroio Lami (Fig. 1) está situada no extremo sul do município de Porto Alegre, leste do estado do Rio Grande do Sul, entre as latitudes 30° 15' S; 51° 05' W, com área de, aproximadamente, 51 km<sup>2</sup>, sendo que 34 km<sup>2</sup> estão localizadas no município de Porto Alegre, área que foi considerada para este estudo. O principal curso d'água é o arroio do Lami, afluente do Guaíba, e suas nascentes estão localizadas nos morros da Extrema e São Pedro.

Figura 1: Localização da Bacia Hidrográfica do Arroio Lami. Base PMPA.



De características rurais e urbanas, na Bacia Hidrográfica do Arroio Lami são encontradas áreas de agricultura tradicional, ecológica, núcleos urbanos, bem como sítios destinados à moradia e ao lazer. A maior parte da vegetação natural da bacia hidrográfica encontra-se alterada sobre forte influência das ações antrópicas, seja pelo uso agrícola da terra, ou da silvicultura, como também, pelo crescimento habitacional, em especial pela ocupação irregular de áreas de relevância ambiental.

A bacia hidrográfica do Arroio Lami é marcada pelo parcelamento do solo, sob forma de loteamentos irregulares, que inicia geralmente desprovido de infraestrutura básica de saneamento, ou de qualquer outro tipo, desrespeitando o tamanho mínimo permitido para cada lote e para as vias. Tais loteamentos estão se proliferando na área da bacia, causando danos ao meio ambiente e prejudicando, inclusive, a manutenção da zona rural, principalmente nos becos existentes ao longo da Estrada da Taquara, da Estrada das Quirinas e do Beco Passo da Taquara. Nas áreas com características rurais, a ocupação mais comum é de pequenos lotes (chácaras e sítios), sendo a maior parte deles ocupados de forma permanente e, frequentemente, com o desenvolvimento de atividades agropecuárias de subsistência. A bacia possui núcleos urbanos definidos,

junto à orla do Guaíba, onde se localiza a praia do Lami e colônias de pescadores Z4, e junto à estrada São Caetano próximo à estrada das Quirinas e estrada João de Oliveira Remião na região fronteira com o município de Viamão.

As Unidades de Conservação – UCs do Refúgio de Vida Silvestre do Morro São Pedro e a Reserva Biológica do Lami – José Lutzenberger, localizadas na bacia, foram criadas para proteger e manter os remanescentes de ecossistemas naturais, a fim de reduzir a perda da biodiversidade e garantir sua manutenção em longo prazo, exigindo um manejo na forma de uma rede de fragmentos, visando reduzir as pressões das atividades do entorno.

## 2.2 Dados

Para o presente trabalho, foram utilizados o software de distribuição livre QGIS 2.18 Las Palmas e também do *plug-in Semi-Automatic Classification (SCP)*, com a finalidade de cortes de informações geográficas georreferenciados, análise de saída das informações e validação do framework; e *shapefiles* do uso e cobertura da terra do município de Porto Alegre (Quadro 1) elaborado pelo Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre (HASENACK, 2008). Também foram utilizados o *software* Microsoft Excel e um receptor do *Global Positioning System (GPS)* da marca Garmin (frequência simples C/A).

Quadro 1: Nível de informações do Diagnóstico Ambiental:

<b>Tema</b>	<b>Elemento Geográfico</b>	<b>Arquivo(.shp)</b>	<b>tipo</b>
<b>Vegetação e ocupação</b>	Manchas dos diferentes tipos de vegetação e ocupação	vegetação_e_ocupacao	Polígono
<b>Sub-bacias</b>	Limites das sub-bacias hidrográficas	sub_bacias	Polígono
<b>Drenagem</b>	Cursos e corpos d'água da rede de drenagem superficial	drenagem_superficial	Linha
<b>Eixos de ruas</b>	Eixos de ruas	eixo_ruas	Linha

Fonte: Diagnostico Ambiental de Porto Alegre.

Foram utilizadas ainda, informações vetoriais de áreas públicas disponibilizados pelo poder público municipal, composto por um conjunto de arquivos digitais em formato *shape file* contendo os diferentes temas mapeados (Quadro 2), obtidos na Prefeitura de Porto Alegre:

Quadro 2: Nível de informações do Levantamento Aerofotogramétrico de 2010.

Tema	Elemento Geográfico	Arquivo(.shp)	tipo
<b>Estrutura Urbana</b>	Manchas dos diferentes tipos de ocupação urbana	ocupacao	Polígono
<b>Eixos de ruas</b>	Eixos de ruas	eixo_ruas	Linha
<b>Hidrografia</b>	Cursos e corpos d'água da rede de drenagem superficial	Rios	Linha
		Lagos	Polígono
		banhados	Polígono

Fonte: Intranet/Secretaria Municipal da Fazenda/PMPA.

Para o mapeamento de uso da terra foram selecionadas as imagens dos dias 11 e 17 de abril do ano de 2018 do nanossatélite do tipo *PlanetScope*, adquiridas através da GRAPHICAL USER INTERFACE (GUI) disponível no sítio eletrônico da companhia Planet, utilizando uma licença do Programa Institucional de Acesso a Dados, que fornece imagens cobrindo áreas de até 10.000 km<sup>2</sup> por mês a projetos de pesquisa aprovados. O produto que será utilizado nesta pesquisa é o *PlanetScope Ortho Scene* (Quadro 3) corrigido para reflectância de superfície que é disponibilizado no formato GeoTIFF, reamostrado para resolução espacial de 3 m, na projeção UTM (*Datum* WGS84), com resolução radiométrica de 16 bits.

Quadro 3 Características do produto *PlanetScope Ortho Scene*

Produto	PlanetScope Ortho Scene
<b>Nível</b>	3B
<b>Descrição</b>	Ortoretificado, dimensionado para TOA (sensor) adequado para uso analítico e visual, baseado em cena e com projeção cartográfica
<b>Resolução Espacial (m)</b>	3,125
<b>Resolução Radiométrica (bits)</b>	8
	DN = 12
	Radiância = 16
<b>Resolução Espectral</b>	Visual: RGB
	Analítico: RGB + NIR
<b>Bandas</b>	Azul 455-515
	Verde 500-590
	Vermelho 590-670
	Infravermelho Próximo 780-860

Fonte: Adaptado de PLANET (Planet team)

O produto *PlanetScope Ortho Scene* é ortoretificado, com correções das distorções da imagem causadas pelo terreno. A precisão posicional para estes produtos

em 80% dos casos é melhor do que 7 metros podendo chegar a 10 metros de erro planimétrico. Nessa correção geométrica das imagens são utilizados pontos de controle terrestre, modelos digitais de elevação e imagens de satélite e aéreas de alta resolução, como a imagem base ALOS com 2,5 m de resolução espacial (Planet team).

A detecção da cobertura de nuvens nas imagens também é processada baseada na radiância esperada para cada pixel em determinados períodos do ano, sendo classificado como nuvem o pixel que apresentar valor de radiância abaixo do esperado para o período do ano. A base de dados de radiância utilizou os dados históricos do satélite Landsat 8 (Planet team).

O co-registro das bandas é realizado através do Planet Pipeline, onde as imagens são retificadas ao nível do terreno e posteriormente são utilizadas para realizar o alinhamento do solo e co-registro das cenas posteriores da mesma faixa (Planet team).

A precisão radiométrica de calibração foi de 5% medida em laboratório. As imagens têm resolução radiométrica de 12 bits e após os processamentos e correção radiométrica são escalonadas para 16 bits. Os Números Digitais (DN) são escalonados para 0,01 W/(m<sup>2</sup>\*sr\*µm) para minimizar os erros de quantização, representando os valores absolutos de radiância calibrada (Planet team).

A partir da utilização da imagem com reflectância corrigida para TOA é realizada a correção para reflectância BOA. Para o cálculo da reflectância BOA, pixel a pixel, é empregado o modelo de transferência radiativa 6S (*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*) separadamente para cada sensor da constelação PlanetScope. Ainda é utilizado no cálculo dados de vapor de água e ozônio do produto MODIS NRT. Os resultados desta correção são altamente correlacionados com os dados Landsat 8, quando utilizados em análise temporal com uso de índice de vegetação (Planet team).

### **2.3 Metodologia**

Para o recorte da área de estudo foi definida a Bacia Hidrográfica do Arroio Lami, destacando a importância do uso da bacia como unidade de planejamento ambiental, constituindo uma unidade espacial de fácil reconhecimento e caracterização, conforme Nascimento & Vilaça (2008) e Vaeza *et al.* (2010).

O mapeamento de uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Arroio Lami para 2003 foi obtido com base dos dados do Diagnóstico Ambiental de Porto

Alegre, realizado por Hasenack *et al.* (2008). O mapeamento do diagnóstico é resultado da interpretação do mosaico de imagens do satélite *Quickbird* obtidas durante o período de março de 2002 e março de 2003, identificando e caracterizando os remanescentes de vegetação natural e os diferentes usos do uso da terra.

O mapeamento de uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Arroio Lami no ano de 2018 foi elaborado com a base na classificação digital de cenas do *PlanetScope* e as suas bandas do infravermelho próximo, vermelho e verde.

As atividades de campo na bacia hidrográfica do Arroio Lami foram realizadas para a análise do contexto entre a vegetação e as intervenções de origem antrópica. As 29 classes elaboradas pelo Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre foram reagrupadas em 4 classes (Quadro 4).

Quadro 4: Classes de Uso da Terra – Diagnóstico Ambiental Porto Alegre 2008.

<b>Classes Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre</b>			
<b>Agrupado</b>		<b>Original</b>	
<b>1</b>	<b>Vegetação Arbórea</b>	Mata Nativa	Mata Nativa com Exótica
		Bosque	Mata Degradada
		Arbustiva transição Mata	Silvicultura - Antrópico
<b>2</b>	<b>Vegetação Herbácea</b>	Banhado	Campo Nativo
		Campo Rupestre	Campo Manejado
		Campo Degradado	Campo Nativo
		Lavoura Sazonal - Antrópico	Lavoura Perene - Antrópico
		Arbustiva transição Campo	
<b>3</b>	<b>Urbano</b>	Com/Indus/Serv. Urbanos	Com/Indus/Serv. Rural
		Res/Casa Orgânico Continuo	Res/Casa Orgânico Esparso
		Res/Casa Tradicional Esparso	Res/Casa Terrenos Grandes
		Res/Casa Orgânico Contínuo	Res/Casa Tradicional Contínuo
		Residencial Casas Rural	Residencial Casas Rural
		Vias	Solo Exposto
<b>4</b>	<b>Água</b>	<b>Água</b>	

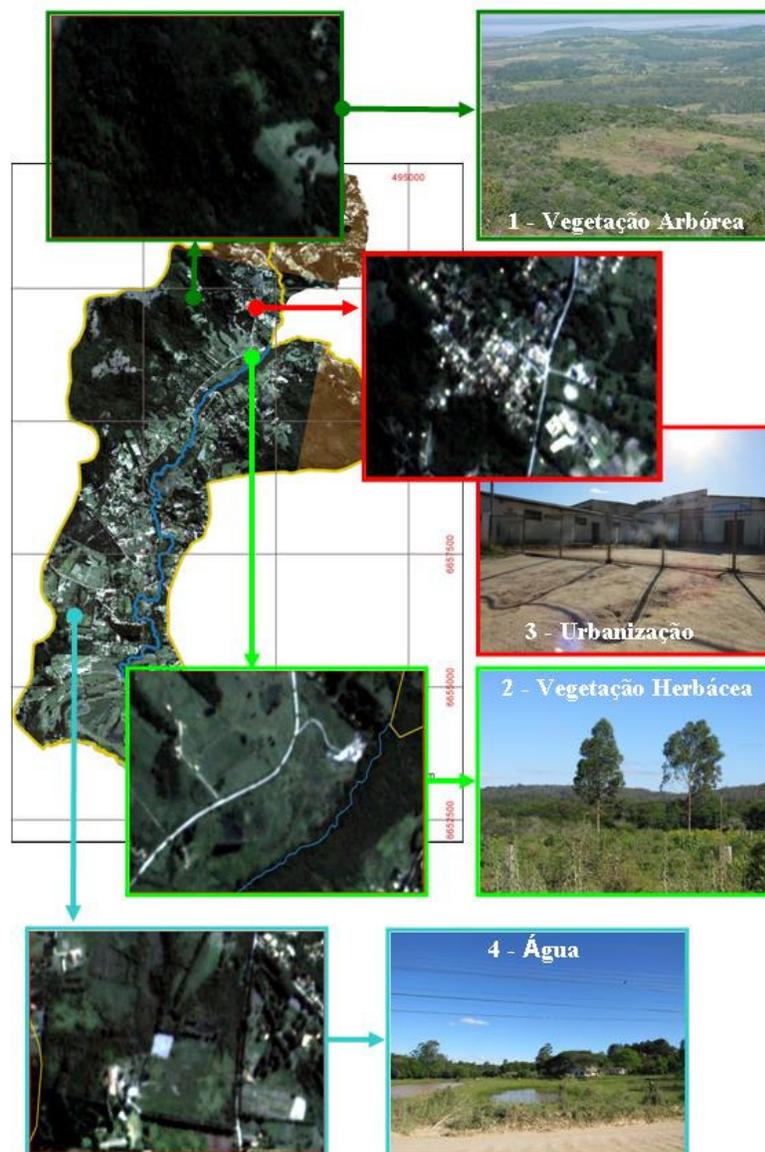
Fonte: Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre, elaborado por Steiw (2019).

A atualização e elaboração da base de dados, mosaicagem e o mapeamento da classe dos fragmentos florestais para o ano de 2018, foram processados no *software* de distribuição livre QGIS 2.18 Las Palmas, e a análise estrutural dos vegetais e da antropização urbana da bacia hidrográfica no *plug-in Semi-Automatic Classification* (SCP), desenvolvido por Congedo (CONGEDO, 2016), aplicada à imagem do *PlanetScope* obtida nos dias 11 e 17 de abril de 2018. Os resultados foram comparados

com os dados reclassificados do Mapeamento do uso e cobertura da Terra do Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre.

O trabalho de campo foi realizado em 27 de abril de 2018, onde foram visitados locais definidos para a observação, documentação fotográfica das manchas representativas e sua localização, e registro por receptor GPS (*Global Positioning System*). A figura 2 mostra imagens com exemplos da paisagem em alguns locais visitados no trabalho de campo, identificando-se formações de campo e floresta com manchas urbanas e água.

Figura 2: Tipologia da Bacia Hidrográfica do Arroio Lami. Imagem Planet Scope, 2018, RBG 123. Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre foram reagrupadas em 4 classes:



No trabalho de campo preliminar foi verificado que as áreas antrópicas rurais, compreendidas pela silvicultura e agricultura de lavouras temporárias, ocupam uma área menor na bacia hidrográfica, estas não foram identificadas pelo algoritmo semi-automático do SCP. Para o classificador SCP, a classe silvicultura é classificada no grande grupo da vegetação arbórea e as lavouras no grupo vegetação herbácea. Dessa forma, considerando que as áreas de vegetação antropizada tem tamanho pequeno comparado com a vegetação natural foi adotado que, para efeito da análise pelo classificador SCP, as lavouras são inseridas na classe Campo e a silvicultura inserida na classe Arbórea.

As amostras espectrais foram calculadas automaticamente e representadas graficamente no histograma do SCP, utilizando o algoritmo *Maximum Likelihood* (Classificação por Máxima Verossimilhança – MAXVER), para um valor do limiar de 100, para as classes, vegetação arbórea, vegetação herbácea, área antrópica urbana e água.

A acurácia das classes foi avaliada através do método de Rosenfield & Fitzpatrick-Lins (1986), com um conjunto de amostras independentes (não usadas para classificar a imagem). A diagonal principal da matriz de erros aponta a proporção dos pixels classificados corretamente e, na soma dos valores marginais das linhas e colunas, respectivamente, os erros de inclusão e omissão para cada classe temática. Para definição da acurácia do mapeamento foi utilizado o coeficiente Kappa (Quadro 5), conforme método desenvolvido por Landis & Koch (1977), que associa a um determinado intervalo de valores *Kappa* um grau de concordância do mapa temático.

Quadro 5: Qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa.

<b>Coeficiente Kappa</b>	<b>Força da concordância</b>
<b>0,00</b>	Não concordante
<b>0,01 a 0,20</b>	Ruim
<b>0,20 a 0,40</b>	Razoável
<b>0,40 a 0,60</b>	Boa
<b>0,60 a 0,80</b>	Muito Boa
<b>0,80 a 1,00</b>	Excelente

Fonte: Adaptado de Landis e Koch (1977).

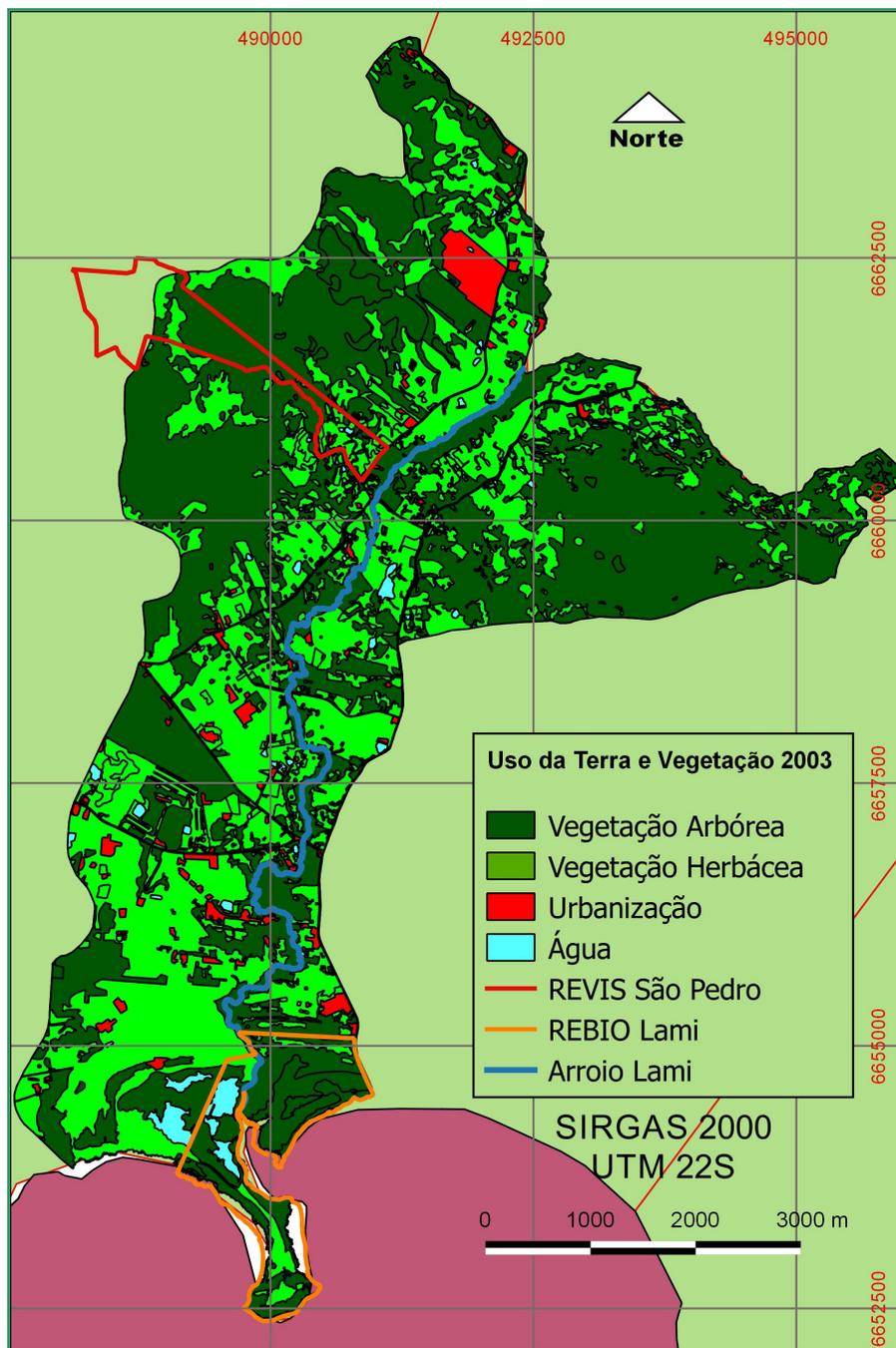
De acordo com Guptill & Morrison (1995), o valor mínimo necessário para uma classificação ser aceitável é de 85%, em relação à exatidão global, do ponto de vista do usuário da classificação.

### 3. Resultados

#### 3.1 Mapeamento de Uso e da Cobertura da Terra do ano de 2003

Ao final dos trabalhos de campo, interpretação e reclassificação, foi possível obter o Mapa de Uso da Terra do ano de 2003 (Fig. 3), suas áreas e respectivos percentuais (Tab. 2).

Figura 3: Mapa de Uso e da Cobertura da Terra - 2003.

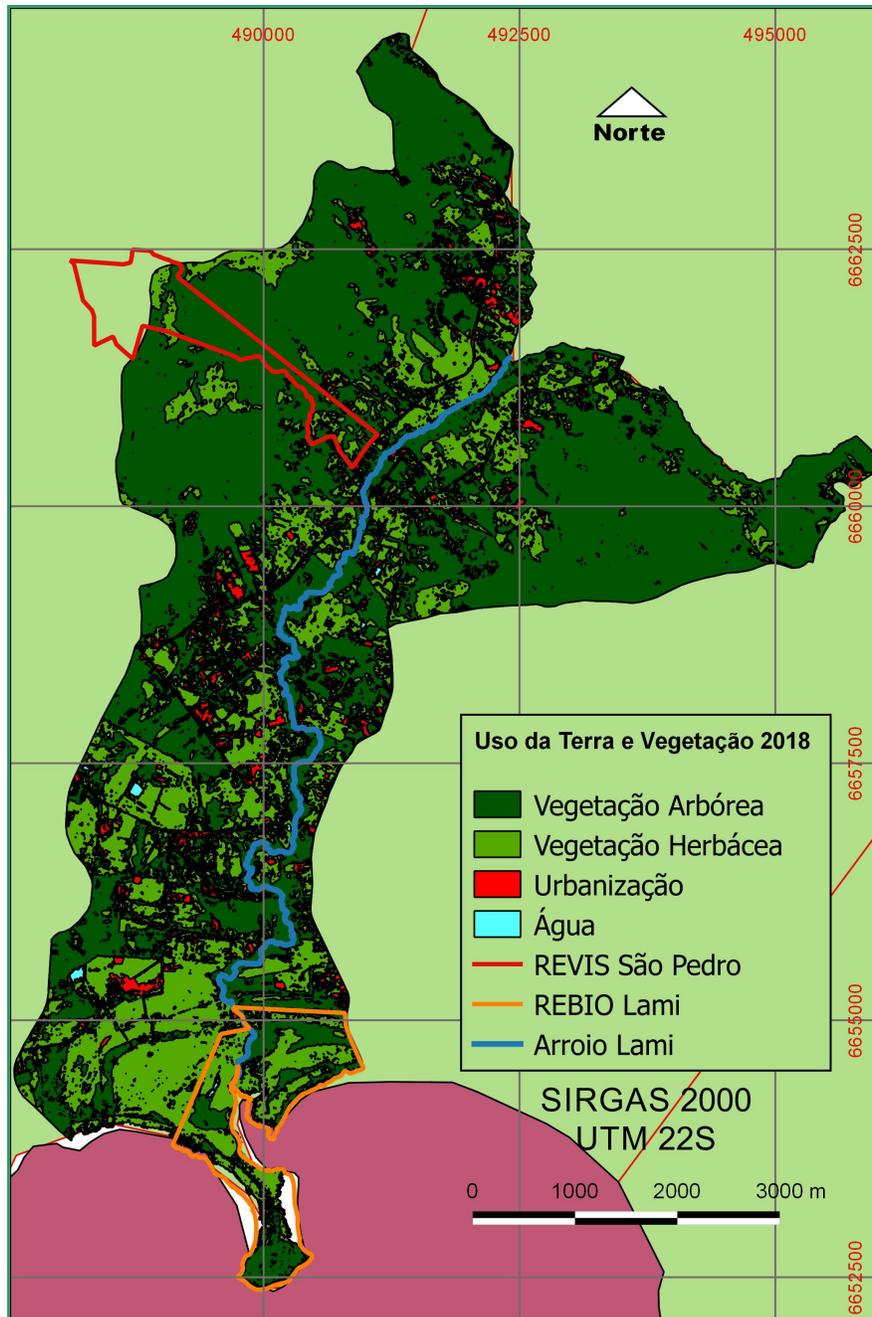


Fonte: Diagnóstico Ambiental Porto Alegre - 2008

### 3.2 Mapeamento de Uso e da Cobertura da Terra do ano de 2018

A classificação das imagens do *PlanetScope* utilizando a ferramenta plug-in Semi-Automatic Classification (SCP) permitiu identificar áreas antrópicas não agrícolas, áreas de vegetação e água. (Fig. 4), suas áreas e respectivos percentuais (Tab. 2).

Figura 4: Mapa de Uso e da Cobertura da Terra - 2018.  
Obtido com Classificação com o uso do *Plugin SCP* – imagem *PlanetScope* 2018.



Fonte: Classificação com o uso do *Plugin SCP* – imagem *PlanetScope* 2018.

A classificação das imagens do *PlanetScope* permitiu identificar áreas antrópicas, áreas florestadas, áreas de campos e águas. As áreas antrópicas na Bacia do Arroio do Lami compreendem as áreas urbanizadas que incluem vilas e ocupações irregulares, solo exposto e estradas. As áreas de vegetação natural destacam-se no processo de classificação, apresentando uma grande porção de área florestada junto aos morros São Pedro e Extrema, e ao longo arroio Lami. Existem áreas de campos onde predominam exemplares de campo rupestre no topo do morro São Pedro, e campos manejados com presença de espécies exóticas nas áreas mais planas da bacia.

Obteve-se a análise da matriz de confusão gerada pela classificação para estimativa da acurácia (Tab. 1), os valores encontrados foram de 95% para exatidão global e de 91,38% para o índice Kappa, sendo assim, o valor exatidão global está acima do que Guptill & Morrison (1995) considera necessário para uma classificação ser aceitável e o índice Kappa encontra-se no intervalo de qualidade excelente (Landis & Koch, 1977).

Tabela 1: Matriz de erro do SCP.

Classes	Arbórea	Herbácea	Antrópico	Água	Total
Arbórea	30154	208	0	1403	31765
Herbácea	407	13154	2	3	13566
Urbano	0	12	1294	0	1306
Água	0	0	0	1186	1186
Total	30561	13374	1296	2592	47823
				<b>Diagonal</b>	<b>45788</b>

### 3.3 Comparação entre os mapas de uso e ocupação da terra entre 2003 e 2018

A comparação entre os mapas de uso e ocupação da terra do ano de 2003 e 2018 (Tabela 2) permite verificar um aumento das áreas de vegetação da classe Arbórea de 17.275,97 ha em 2003 (49,91% da área total) para 21.402,27 ha (61,52% da área total) em 2018. A vegetação da classe Herbácea reduziu a sua área, passando de 15.530,63 ha em 2003 (44,87% da área total) para 11.737,28 ha em 2018 (33,73% da área total). Dessa forma, podemos afirmar que a vegetação de maior porte aumentou sobre a vegetação de menor porte.

Os resultados indicam o aumento e continuidade da predominância da classe arbórea (21.402,27 ha que corresponde a 61,52% da área total) sobre a classe herbácea (11.737,28 que corresponde a 33,73% da área total) (Tab. 2).

Tabela 2: Distribuição de classes de Uso e Cobertura da Terra entre 2003 e 2018.

	Diagnóstico Ambiental QuickBird 2003		Classificação SCP PlanetScope 2018	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
<b>Vegetação Arbórea</b>	17.275,97	49,91	21.402,27	61,52
<b>Vegetação Herbácea</b>	15.530,63	44,87	11.737,28	33,73
<b>Urbano</b>	1.299,53	3,75	1.451,99	4,17
<b>Água</b>	508,94	1,47	202,66	0,58
<b>Total</b>	34.615,07	100,00	34.794,20	100,00

Em relação à classe Vegetação Arbórea, não foi possível estabelecer a diferenciação do comportamento espectral entre a vegetação natural e a arborização de formação antrópica, predominando basicamente o porte do estrato arbustivo. Entretanto, apesar da silvicultura ser identificada como uma tipologia florestal, ela possui uma área bem menor na bacia hidrográfica e pode ser reconhecida com a adoção de etapa de trabalhos no campo.

Em relação à classe Vegetação Herbácea, da mesma forma com o ocorrido com a classe da vegetação arbórea, há correspondência entre a classe campo nativo, composto principalmente por gramíneas e baixa pressão antrópica, e os campos manejados com formação herbácea submetida a pastejo ou a cortes periódicos ou pastejo. Estes são típicos de áreas de criação de gado, lavouras de arroz em pousio.

Em relação à classe Urbano, a área de 1.299,53 ha em 2003 (3,75% da bacia) passou para 1.451,99 ha (4,17% da bacia). As alterações evidenciam concluir que as áreas com ocupação predominante residencial de pequeno porte, ocupação espontânea, pavilhões e vias, além do solo exposto, mantiveram-se estáveis no período de 15 anos.

Em relação à classe Água, a área de 508,94 ha (1,47% da bacia) reduziu para 202,66 ha (0,58% da bacia), provavelmente devido a diferença de resolução espacial entre *Planet* e *Quickbird*, ou a variações sazonais entre as datas de aquisição dos dados de origem.

#### 4. Discussão dos Resultados

A bacia hidrográfica do Arroio Lami apresenta percentuais de remanescentes florestais superiores a 50% da área da bacia, onde o relevo bastante acentuado dificulta a ocupação e a instalação de algumas atividades econômicas, permitindo maior preservação da vegetação.

Constatou-se uma forte correlação entre os remanescentes florestais e as áreas de relevo acidentado, mostrando que a geomorfologia da bacia hidrográfica é preponderante para a manutenção e ampliação da cobertura vegetal nativa.

Por outro lado, não houve um aumento considerável da área urbanizada, mantendo-se pequena a variação entre as datas observadas.

A comparação entre o mapa do uso da terra do Diagnóstico Ambiental (2003), e o mapa da imagem *PlanetScope* (2018) permite verificar o aumento significativo da área da Classe Arbórea, passando de 17.275,97 ha em 2003, para 21.402,27 ha em 2018. Este aumento está relacionado, em parte, pelo aumento de área da classe florestal, em especial nas áreas de campo junto às bordas da floresta e pelo abandono de alguns cultivos.

Porto Alegre está em meio a um processo de estabilidade demográfica, com baixo crescimento populacional e natural envelhecimento da população, considerando que, segundo Cabette e Strohaecker (2015), a população com mais de 60 anos aumentou 32% em relação ao contingente demográfico no ano de 2000, enquanto que a população jovem da cidade decresceu 14% entre os censos de 2000 e 2010.

Mas não são apenas os fatores populacionais que afetam o planejamento urbano, segundo Ojima (2007), é natural que o crescimento populacional leve ao crescimento dos espaços físicos urbanos, contudo, o que se apresenta como novo desafio neste contexto mundial e brasileiro no século XXI, e enfatizado por Monte-Mór (2006), é o fenômeno da urbanização extensiva ou espraiamento urbano.

Conforme Lima *et al.* (2017), estudos de Seto *et al.* (2011) e Inostroza *et al.* (2013) mostram que a conversão de terras rurais para usos urbanos é superior ao crescimento populacional, apontando para uma expansão urbana cada vez mais espraiada do que compacta.

A classificação supervisionada para análise das mudanças espaço-temporais do uso e cobertura da terra pelo *plug-in Semi-Automatic Classification (SCP)* do QGIS permitiu quantificar as áreas e a percentual de cada classe de uso da terra de forma

satisfatória e rápida. Segundo Oliani *et al.* (2012) é relevante a utilização de softwares livres como alternativas de menor custo e independência de tecnologia proprietária, eficientes e de boa qualidade.

Com um número grande de nanossatélites em órbita hoje, a *Planet* disponibiliza coberturas diárias da Terra, com a vantagem que as imagens *PlanetScope*, não necessitam de pedidos de programação para a aquisição de imagens novas, uma vez que os satélites estão sempre adquirindo imagens de forma automática e contínua, bastando um contrato continuado de aquisição para disponibilização em plataformas web.

Porto Alegre, no ano de 2015, restaurou a área rural através da Lei Complementar n° 775/2015, que definiu um espaço territorial que representa cerca de 8,3% do total da área do Município, sob forma de zoneamento denominado Área de Produção Primária, com fins de garantir a sustentabilidade.

Além disso, Porto Alegre possui na Legislação Tributária a figura do IPTU ecológico (art. 115 do Decreto Municipal 16.500/2009), que isenta de pagamento as áreas de interesse ambiental.

Com base neste histórico, considerando a tendência de estabilização do crescimento populacional e os incentivos fiscais para áreas de interesse ecológico, nota-se oportuno o momento para avaliar, discutir e projetar a cidade, compatibilizando o uso da terra e a sustentabilidade social, econômica e, principalmente, ambiental, com o planejamento da ocupação e da conservação da paisagem como um todo.

Ainda, segundo Nascimento & Vilaça (2008), a gestão de recursos hídricos demonstra a necessidade da incorporação da temática ambiental na agenda governamental, obrigando os vários entes, públicos ou privados a renovar suas políticas e estratégias.

## **5. Conclusões**

A conservação do bioma Mata Atlântica apresenta forte pressão exercida pelas fronteiras agrícolas e pela urbanização, em especial a urbanização irregular. Neste sentido, o processamento digital de imagens de sensoriamento remoto permite monitorar algumas alterações no meio ambiente.

Os resultados confirmam uma significativa presença de cobertura florestal na bacia hidrográfica do Arroio Lami, que ocupa aproximadamente 61% da bacia, principalmente nas áreas mais íngremes dos morros. Os resultados ainda

indicaram que as planícies aluviais junto ao Arroio Lami são as unidades em pior estado de conservação, fato relacionado principalmente com o crescimento urbano e a ocupação por áreas de cultivo agrícola.

O aumento da área total da cobertura florestal (Tab. 3) da bacia hidrográfica do Arroio Lami de 23% (17.275,97 ha em 2003 para 21.402,27 ha em 2018), no intervalo de tempo de 15 anos, reflete o processo histórico de ocupação, degradação das terras e a posterior recuperação florestal na bacia hidrográfica. Os resultados encontrados para esta bacia hidrográfica se diferem das tendências encontradas para diversas regiões metropolitanas do país. O presente trabalho evidencia a mudança espacial e temporal do uso e cobertura da terra na bacia e pode ser base para a continuidade do monitoramento e entendimento dos processos de urbanização e a definição de políticas públicas e de diretrizes para o uso sustentável.

Tabela 3: Variação da Classe Arbórea entre 2003 e 2018.

	Diagnóstico Ambiental	Classificação SCP	Variação
	2003	2018	
	Área (ha)	Área (ha)	%
<b>Vegetação Arbórea</b>	17.275,97	21.402,27	+23,88
<b>Vegetação Herbácea</b>	15.530,63	11.737,28	-24,42
<b>Urbano</b>	1.299,53	1.451,99	+11,73
<b>Água</b>	508,94	202,66	-60,17

Podemos afirmar que ocorreu o aumento da área da Classe Arbórea de 17.275,97 ha em 2003 para 21.402,27 ha. Por outro lado, ocorreu redução da área da Classe Herbácea de 15.530,63 ha em 2003 para 11.737,28 ha em 2018. Dessa forma, podemos afirmar que a vegetação de maior porte aumentou sobre a vegetação de menor porte.

Os resultados indicam o aumento e continuidade da predominância da classe arbórea (21.402,27 ha que corresponde a 61,52% da área total) sobre a classe herbácea (11.737,28 que corresponde a 33,73% da área total).

A avaliação das problemáticas relacionadas com as temáticas da conservação da natureza em áreas urbanas auxilia na definição de uma política para a proteção dos corredores ecológicos, baseado em critérios científicos, e em especial o uso das métricas da ecologia da paisagem e sua aplicabilidade.

Dessa forma, é de suma importância estudos voltados para a cidade buscando avaliar a situação da cobertura vegetal, de forma a produzir base científica para subsidiar o entendimento dos processos de urbanização e a definição de políticas públicas e de diretrizes para o uso sustentável das bacias hidrográficas.

O potencial dos dados obtidos podem ser aplicados no estudo da paisagem, na medida em que ocorre uma sequência de estudos temporais sobre uma mesma base, com a utilização das imagens *PlanetScope* ou de outras plataformas e, principalmente, com a disponibilização dos dados em sites oficiais, para disponibilização do conhecimento do planejamento das bacias hidrográficas. A precisão do mapeamento do uso da terra na região de estudo, utilizando a classificação supervisionada semiautomática das imagens *PlanetScope* pelo método MAXVER foi considerada excelente, com índice Kappa de 91%. Com a classificação supervisionada de imagens *PlanetScope* foi possível categorizar a cobertura do uso e ocupação da terra obtendo como resposta quatro tipos de classes: Vegetação Arbórea, Vegetação Herbácea, Antrópico Urbano e Água. Ainda assim, a técnica de classificação semiautomática apresentou problemas na determinação de algumas classes, destacando a delimitação entre florestas e silvicultura, e entre campos naturais e campos manejados ou agricultura, onde se conclui que, para melhorar o grau de acerto dos resultados do mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal, se faz necessário a realização de trabalho de campo e posterior edição vetorial do mapa visando corrigir as distorções ocorridas na classificação ou utilizar métodos de classificação mais avançados.

### **Referências Bibliográficas**

ALBUQUERQUE, A. R. da C. Bacia hidrográfica: unidade de planejamento ambiental.

**Revista Geonorte**, Edição Especial, v.4, n.4, p.201 – 209, 2012.

CABETTE, A; STROHAECKER, T. A dinâmica demográfica e a produção do espaço urbano em Porto Alegre, Brasil. São Paulo: **Caderno Metropolitano**, v. 17, n. 34, pp.481-501. Novembro, 2015. Disponível em:

[<http://www.scielo.br/pdf/cm/v17n34/2236-9996-cm-17-34-0481.pdf> ].

CONGEDO, L. 2016. **Semi-Automatic Classification Plugin Documentation**. DOI:

[https://www.researchgate.net/profile/Luca\\_Congedo/publication/265031337\\_Semi-Automatic\\_Classification\\_Plugin\\_User\\_Manual/links/57cafe2d08ae59825183576d/Semi-Automatic-Classification-Plugin-User-Manual.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Luca_Congedo/publication/265031337_Semi-Automatic_Classification_Plugin_User_Manual/links/57cafe2d08ae59825183576d/Semi-Automatic-Classification-Plugin-User-Manual.pdf) Acesso em 15/07/2018.

GRIGIO, A.M. **Aplicação de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do Município de Guamaré (RN): simulação de risco às atividades da indústria RIBOLDI, L.C. de O. et al 184 petrolífera.** 2003.

GUPTILL, S.C.; MORRISON, J.L. (eds.), 1995. Elements of spatial data quality. **International Cartographic Association**, Tokyo: Elsevier Science, 202 p.

HASENACK, H.; WEBER, E.; MARCUZZO, S. (org.). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: Geologia, Solos, Drenagem, Vegetação e Ocupação.** Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2008. 84 p.

INOSTROZA, L.; BAUR, R.; CSAPLOVICS, E. Urban sprawl and fragmentation in Latin America: a dynamic quantification and characterization of spatial patterns. **Journal of Environmental Management**, v. 115, p.87-97, 2013.

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

LIMA, R. N. S.; ROCHA, C. H. B. Técnicas de sensoriamento remoto e métricas de ecologia da paisagem aplicadas na análise da fragmentação florestal no município de Juiz de Fora – MG em 1987 e 2008. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 2011.

LIMA, S.M.S.A.; LOPES W.G.R.; FAÇANHA, A.C. Urbanização e crescimento populacional: reflexões sobre a cidade de Teresina, Piauí. **Gaia Scientia**, 2017; 11(1): 31-51.

MONTE-MÓR, R.L. O que é urbano no mundo contemporâneo. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, n.111, p.9-18, 2006.

NASCIMENTO, W.M. do., VILAÇA, M.G. **Bacia Hidrográfica: Planejamento e Gerenciamento.** 20p. Três Lagoas. 2008.

OJIMA, R. 2007. Dimensões da urbanização dispersa e proposta metodológica para estudos comparativos: uma abordagem socioespacial em aglomerações urbanas brasileiras. **Revista Brasileira de Estudos Populacionais**, v. 24, n. 2, p. 277-300, 2007.

OLIANI, L.O.; PAIVA, C.; ANTUNES, A.F.B. **Utilização de softwares livres de geoprocessamento para gestão urbana em municípios de pequeno e médio porte.** In: IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação., 2012, Recife - PE. **Anais IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, 2012.

Planet Team. Planet Application Program Interface: In Space for Life on Earth. San Francisco, CA, USA, 2018. Available online: <https://api.planet.com> (accessed on 17.04.2018).

PORTO ALEGRE. **Lei Complementar n. 434, de 01 de dezembro de 1999, alterada pela Lei Complementar 646/10. Institui o 1º PDDUA – Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre.** Porto Alegre: CORAG, 1999.

ROSENFELD, G.H.; FITZPATRICK-LINS, K. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.52, p.223–227. 1986.

SETO, K. C.; FRAGKIAS, M.; GÜNERALP, B.; REILLY, M. K. A meta-analysis of global urban land expansion. **PLoS ONE**, v. 6, n. 8, p. e23777, 2011.

VAEZA, R. F.; FILHO, P. C. O.; MAIA, A. G.; DISPERATI, A. A. Uso e Ocupação do Solo em Bacia Hidrográfica Urbana a Partir de Imagens Orbitais de Alta Resolução. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 17, n. 1, p. 23-29, 2010. Disponível em: < <http://host-article-assets.s3.amazonaws.com/floram/588e2220e710ab87018b466b/fulltext.pdf> >. Acesso em: 24/08/2018.

WACHHOLZ, F.; W. PEREIRA FILHO, W. Mapeamento do uso da terra na bacia hidrográfica do arroio Barriga - RS, utilizando o sensoriamento remoto. In: Jornada de Educação em Sensoriamento Remoto no Âmbito do Mercosul, 4. 2004. São Leopoldo. **Anais...** São Leopoldo, 2004.

#### **4.2 SEGUNDO ARTIGO: Plano Diretor e as Métricas de Paisagem nos anos de 2003, 2010 e 2018 na Bacia hidrográfica do Arroio Lami, Porto Alegre – RS.**

##### **RESUMO**

Este estudo teve como objetivo analisar os padrões espaciais de fragmentação florestal da Bacia hidrográfica do Arroio Lami em Porto Alegre, RS, entre os anos 2003, 2010 e 2018, através do uso de métricas de paisagem. Foram utilizados dados pré-existentes do Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre, do levantamento aerofotogramétrico contratado pela Prefeitura Municipal de Porto Alegre em 2010 e as imagens do satélite *PlanetScope* de abril de 2018 para o mapeamento do uso e cobertura da terra elaborados pelo software QGIS, e o cálculo das métricas foram produzidos a partir de scripts em Linguagem R, obtendo-se o número de fragmentos existentes, a relação de tamanho entre eles, o formato e grau de conectividade, utilizando para realização do estudo a Área Total, Área Média dos Fragmentos, Índice de Maior Mancha, Densidade de Borda, Dimensão Fractal da Mancha Média e Tamanho Efetivo de Malha. Verificou-se um significativo aumento no total de áreas dos fragmentos florestais passando de 1.788 ha em 2003, para 1.929 ha em 2010 e para 2.103 ha em 2018, um aumento de 17% em 15 anos. A análise desses índices indica o favorecimento da formação de corredores ecológicos entre os fragmentos, bem como o aumento de áreas centrais essenciais a manutenção de processos ecológicos eficientes. Após uma análise inicial de todas as unidades de planejamento, optou-se em analisar somente a unidade Zona Rural e a APAN, visto que estas duas unidades correspondem a 93,32% da área da bacia hidrográfica. Os resultados revelaram, um aumento no tamanho médio dos fragmentos de 1,35 ha, em 2010, para 2,92 ha em 2018 nas Áreas de Proteção do Ambiente Natural (APAN). Estes dados auxiliarão projetos futuros que visam o monitoramento ambiental e o manejo sustentável desta região.

Palavras-chave: fragmentação florestal, métricas de paisagem, plano diretor.

## 1. INTRODUÇÃO

A avaliação da estrutura da paisagem através das métricas da paisagem é considerada por Metzger (2001), um método eficiente que permite analisar os padrões de fragmentação, com base para análises que visam quantificar e qualificar a mesma por meio da Ecologia de Paisagem, considerando o tamanho dos fragmentos, a forma e o grau de isolamento.

A perda e a fragmentação antrópica de habitats são descritas por Tabarelli & Gascon (2005) como as maiores ameaças para a biodiversidade do planeta, a qual resulta em mudanças na formação e no desempenho das comunidades animais e vegetais.

Conforme Silva *et al.* (2014), em paisagens onde a cobertura vegetal nativa está comprometida pelo avanço do desflorestamento, é estratégica a proposição de ações eficientes, em termos de compatibilização dos usos das terras e a conservação da biodiversidade, através do planejamento da paisagem, adotando-se para isso, os preceitos da Ecologia de Paisagens.

Segundo Turner (1990) e Felizola (2004) a maioria das paisagens é influenciada por ações antrópicas, sendo que o mosaico de paisagens resultante é uma mistura de elementos naturais e antrópicos, que variam em tamanho, forma e arranjo, o que possibilita a aplicação dos índices descritores da paisagem ou métricas da paisagem na análise da estrutura da paisagem.

Nesse sentido, Grigio (2003) registra que o Sensoriamento Remoto permite o estudo da evolução ambiental de uma região, desde o início da intensificação dos processos antrópicos. A base na análise de imagens de satélites é um dos meios que se dispõe hoje para acelerar e reduzir custos dos mapeamentos e da detecção de mudanças geoambientais.

Segundo Bertrand (1968), a paisagem é definida como uma determinada porção do espaço que resulta da combinação dinâmica dos elementos físicos, biológicos e antrópicos, os quais interagindo dialeticamente uns sobre os outros formam um conjunto único e indissociável em perpétua evolução. Para Metzger (2001) paisagem é um conjunto de unidades naturais, alteradas ou substituídas por ação humana, que compõe um intrincado, heterogêneo e interativo mosaico.

A Ecologia de Paisagem, conforme Porto & Menegat (2004), é um ramo da ecologia, cujos resultados provêm da inter-relação entre o homem e a paisagem,

estudando as relações da paisagem em duas dimensões de entendimento e representação: uma no plano horizontal e, outra, no vertical. Na dimensão horizontal, se colocam as questões geográficas, isto é, o entendimento e a representação dos fenômenos naturais e das atividades e artefatos humanos distribuídos no espaço. Na dimensão vertical, estão as questões ecológicas, as quais estudam as relações funcionais de um determinado lugar, definido como ecótopo.

Segundo Rosa (2007), a evolução tecnológica do sensoriamento remoto, notadamente dos sensores orbitais, possibilitou a obtenção de imagens de satélites com alta resolução espacial e espectral. Com isto, as aplicações de sensoriamento remoto em ambientes urbanos foram ampliadas, favorecendo o mapeamento em grandes escalas, com detalhamento, qualidade e agilidade na discriminação dos objetos geográficos, tão necessários no planejamento urbano.

Conforme Lopes *et al.* (2017), no Brasil, nos últimos 30 anos, com a mudança na distribuição de sua população, cada vez mais urbana e menos rural, cresceu a preocupação com a gestão urbana e com políticas públicas voltadas para a gestão urbana. A gestão do ambiente urbano configura-se como grande desafio, cabendo à administração pública propostas de ações efetivas relacionadas ao planejamento municipal.

Segundo Santos (2004), a teoria de Ecologia de Paisagem vem sendo utilizada no planejamento ambiental como caminho integrador.

O artigo tem objetivo analisar os padrões espaciais de fragmentação florestal na Bacia hidrográfica do Arroio Lami, localizada em Porto Alegre-RS. Situada na região de transição entre os Biomas Mata Atlântica e Pampa, a capital do estado do Rio Grande do Sul apresenta formações florestais e campestres, restando aproximadamente 14% dos remanescentes florestais e 10% de campo ainda que sob algum grau de impacto da urbanização ao seu redor.

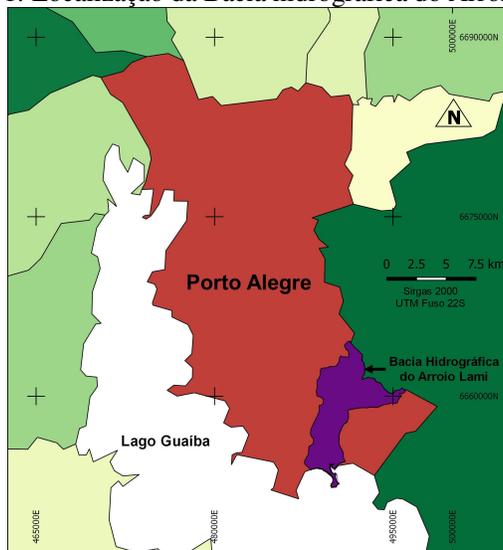
## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Caracterização da área de estudo**

A Bacia hidrográfica do Arroio Lami está situada no extremo sul do município de Porto Alegre (Fig. 1), leste do estado do Rio Grande do Sul, entre as latitudes 30° 15' S; 51° 05' W, com área de, aproximadamente, 51 km<sup>2</sup>, sendo que 34 km<sup>2</sup> estão localizadas no município de Porto Alegre, área que foi considerada para este estudo. O

principal curso d'água é o arroio do Lami, afluente do Guaíba, e suas nascentes estão localizadas nos morros da Extrema e São Pedro.

Figura 1: Localização da Bacia hidrográfica do Arroio Lami.



Segundo Hasenack *et al.* (2008), na Bacia hidrográfica do Arroio Lami, a vegetação herbácea está presente nos banhados, nos campos nativos e nos campos manejados de solo arenoso, bem drenados no Lami, enquanto na encosta do Morro São Pedro com mata subserófila e campo rupestre.

De características rurais e urbanas, na Bacia hidrográfica do Arroio Lami são encontradas áreas de agricultura tradicional, ecológica, núcleos urbanos, bem como sítios destinados à moradia e ao lazer. A maior parte da vegetação natural da Bacia hidrográfica, encontra-se alterada sobre forte influência das ações antrópicas, seja pelo uso agrícola da terra, ou da silvicultura, como também, pelo crescimento habitacional, em especial pela ocupação irregular de áreas de relevância ambiental, refletindo diretamente sobre as Unidades de Conservação – UCs do Refúgio da Vida Silvestre do Morro São Pedro e a Reserva Biológica do Lami – José Lutzenberger, localizadas na bacia.

A Bacia hidrográfica do Arroio Lami embora localizada integralmente no bioma Pampa, por estar no limite setentrional nordeste deste, segundo o Plano de Manejo do Refúgio de Vida Silvestre São Pedro (PMPA,2017), encontra-se em ecótono e é protegido pela Reserva da Biosfera da Mata Atlântica – RMBA, sendo a sua composição florística e faunística fortemente influenciada pela Mata Atlântica.

## 2.2 Dados

Para a elaboração das métricas da paisagem dos fragmentos florestais da Bacia do Lami, foram utilizados como base os arquivos digitais (Quadro 1) e documentação obtidas para o ano de 2003, com base nos *shapefiles* do Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre, resultado da interpretação em tela sobre um mosaico de imagens do satélite *Quickbird*; para o ano de 2010 foi utilizado os *shapefiles* do Levantamento Aerofotogramétrico realizado pela Prefeitura Municipal de Porto Alegre em 2010. Para o ano de 2018 foram utilizadas imagens do nanossatélite *PlanetScope*.

Quadro 1: Fonte de dados utilizados.

Ano	Fonte	Período	Resolução
2003	Mapa Vegetação e Ocupação	Março/2012	Quickbird
	Diagnóstico Ambiental	Março/2013	R/G/B/PAN
2010	Levantamento Aerofotogramétrico	Agosto de 2010	Voo R/G/B/IR/PAN
2018	Mapeamento de Uso da Terra	11e17/4/2018	PlanetScope R/G/B/IR

O mapeamento do Diagnóstico Ambiental (HASENACK, 2008) consiste em um conjunto de arquivos digitais em formato *shapefile* contendo os diferentes temas mapeados (Quadro 2). Todos os arquivos estão no sistema UTM (*Datum* SAD 69), obtidos no sítio eletrônico do Instituto de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, constituindo os planos de informação abaixo especificados:

Quadro 2: Nível de informações do Diagnóstico Ambiental.

Tema	Elemento Geográfico	Arquivo(.shp)	tipo
<b>Vegetação e ocupação</b>	Manchas dos diferentes tipos de vegetação e ocupação	vegetação_e_ocupacao	Polígono
<b>Sub-bacias</b>	Limites das sub-bacias hidrográficas	sub_bacias	Polígono
<b>Drenagem</b>	Cursos e corpos d'água da rede de drenagem superficial	drenagem_superficial	Linha
<b>Eixos de ruas</b>	Eixos de ruas	eixo_ruas	Linha

Fonte: Diagnostico Ambiental de Porto Alegre (Hasenack *et al*, 2008)

O Levantamento Aerofotogramétrico de 2010 considerou as especificações do IBGE tanto quanto ao sistema de referência geodésico adotando SIRGAS-2000, projeção UTM. O mapeamento foi feito com pixel na dimensão de 12,5 cm. É composto

por um conjunto de arquivos digitais em formato *shape file* contendo os diferentes temas mapeados (Quadro 3), obtidos na Prefeitura de Porto Alegre:

Quadro 3: Nível de informações do Levantamento Aerofotogramétrico de 2010.

<b>Tema</b>	<b>Elemento Geográfico</b>	<b>Arquivo(.shp)</b>	<b>tipo</b>
<b>Vegetação</b>	Manchas e indivíduos isolados dos diferentes tipos de vegetação	arvores_isoladas	Ponto
		vegetacao	Polígono
		culturas	Polígono
<b>Estrutura Urbana</b>	Manchas dos diferentes tipos de ocupação urbana	ocupacao	Polígono
<b>Eixos de ruas</b>	Eixos de ruas	eixo_ruas	Linha
<b>Hidrografia</b>	Cursos e corpos d'água da rede de drenagem superficial	Rios	Linha
		Lagos	Polígono
		banhados	Polígono

Fonte: Intranet/Secretaria Municipal da Fazenda/PMPA.

Para o mapeamento de uso da terra foram selecionadas as imagens dos dias 11 e 17 de abril do ano de 2018 do nanossatélite do tipo PlanetScope Analytic Ortho Scene (Quadro 4), adquiridas através da GRAPHICAL USER INTERFACE (GUI) disponível no sítio eletrônico da companhia Planet, utilizando uma licença do Programa Institucional de Acesso a Dados, que fornece imagens cobrindo áreas de até 10.000 km<sup>2</sup> por mês a projetos de pesquisa aprovados. Para a escolha das imagens, foi considerado o percentual de cobertura de nuvens e a quantidade de imagens adquiridas da mesma área de interesse, assim filtrando e diminuindo a quantidade de dados.

Quadro 4: Características do produto *PlanetScope Ortho Scene*.

<b>Produto</b>	<b>PlanetScope Ortho Scene</b>
<b>Nível</b>	3B
<b>Descrição</b>	Ortoretilado, dimensionado para TOA (sensor) adequado para uso analítico e visual, baseado em cena e com projeção cartográfica
<b>Resolução Espacial (m)</b>	3,125
<b>Resolução Radiométrica (bits)</b>	8
	DN = 12
	Radiância = 16
<b>Resolução Espectral</b>	Visual: RGB
	Analítico: RGB + NIR
<b>Bandas</b>	Azul 455-515
	Verde 500-590
	Vermelho 590-670
	Infravermelho Próximo 780-860

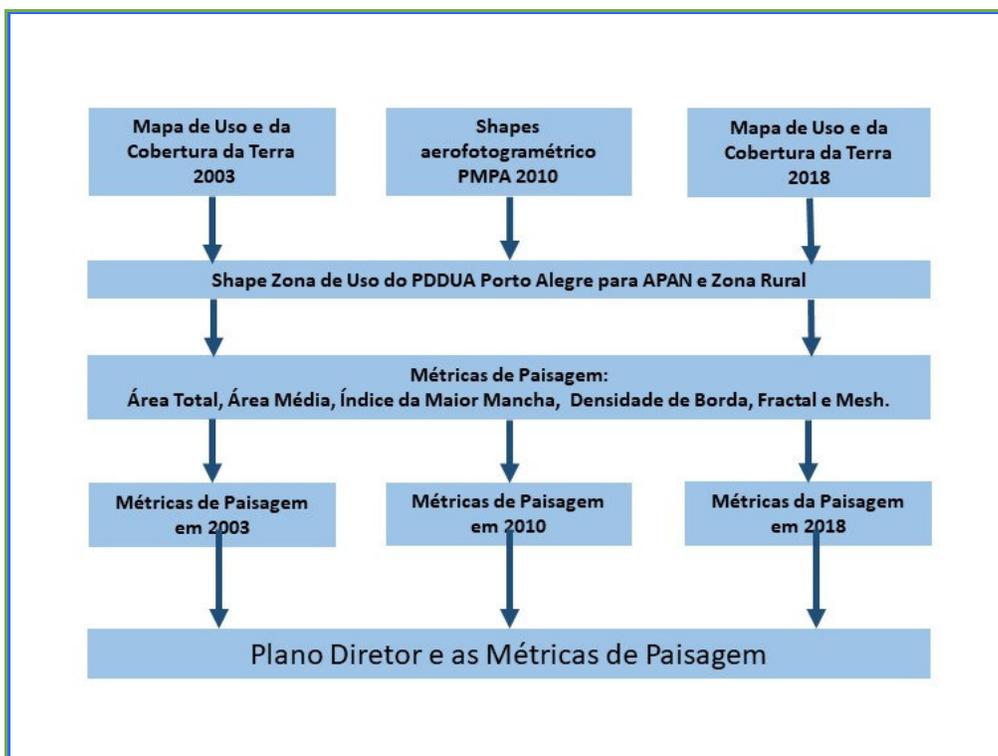
Fonte: Adaptado de PLANET (2018a)

### 2.3 Metodologia

Para recorte da área de estudo foi definida a Bacia hidrográfica do Arroio Lami, destacando a importância do uso da bacia como unidade de planejamento ambiental, a base principal do sistema de gestão, segundo Albuquerque (2012), mecanismo de gestão de aceitação mundial e reconhecido por diversos autores, e constituindo uma unidade espacial de fácil reconhecimento e caracterização, conforme Nascimento *et al.* (2008).

O Fluxograma (Fig. 2) apresenta a metodologia utilizada para atingir os objetivos propostos nesse estudo.

Figura. 2: Fluxograma da Metodologia para análise dos padrões espaciais de fragmentação.



Para o presente trabalho, foram utilizados o software de distribuição livre QGIS 2.18 *Las Palmas* (GRASSGIS 7.2), para a realização dos recortes de informações geográficas georreferenciados para as imagens do uso e cobertura da terra do município de Porto Alegre, análise de saída das informações e validação do framework.

O mapeamento de uso e cobertura da terra da Bacia hidrográfica do Arroio Lami para 2003 foi obtido com base nos dados do Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre, realizado por Hasenack *et al.* (2008), com interpretação das 29 classes elaboradas pelo diagnóstico que foram agrupadas em quatro classes (Quadro 5).

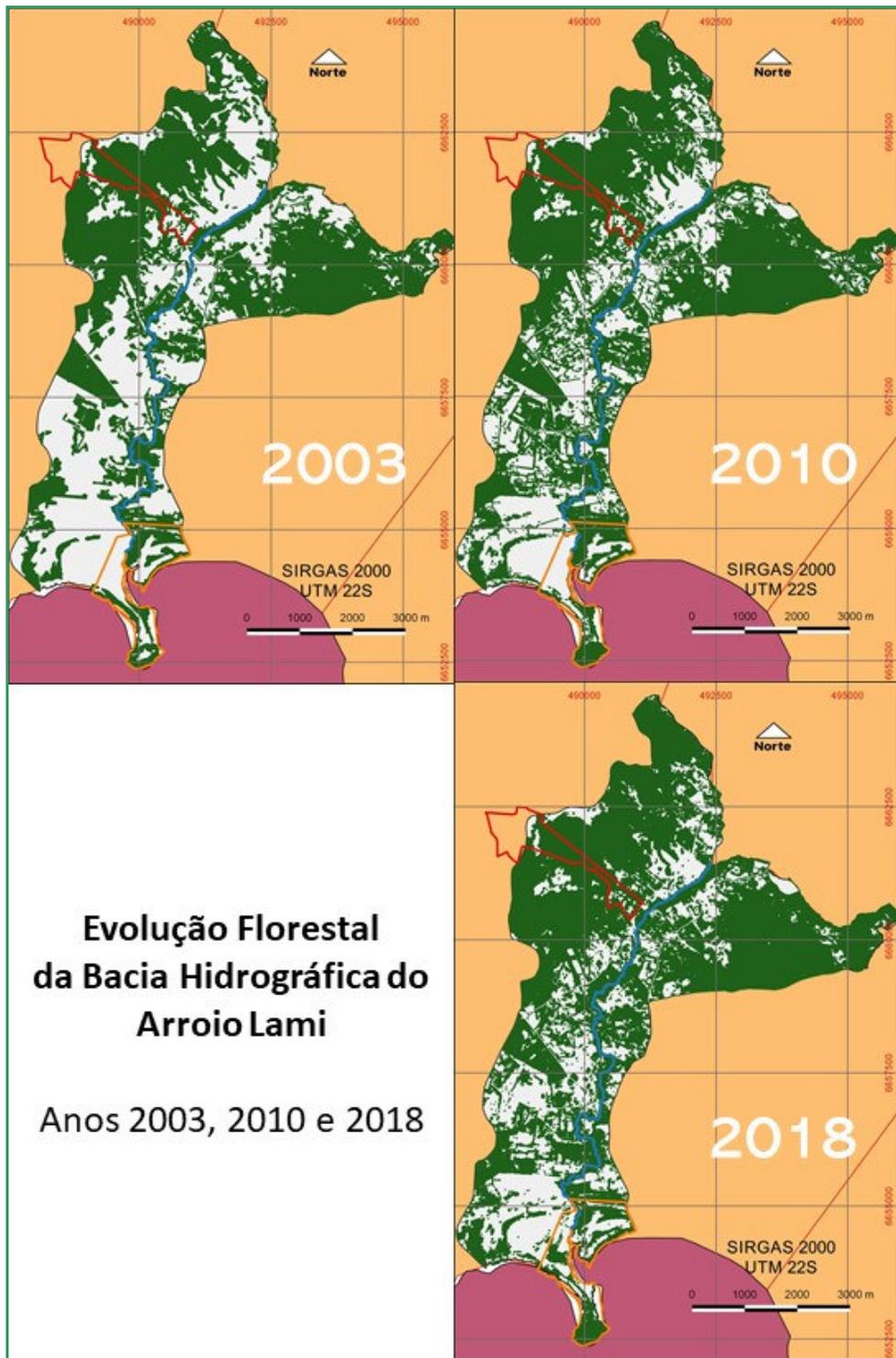
Quadro 5: Classes de Uso da Terra – Diagnóstico Ambiental Porto Alegre 2008

<b>Classes Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre</b>			
<b>Agrupado</b>		<b>Original</b>	
<b>1</b>	<b>Vegetação</b>	Mata Nativa	Mata Nativa com Exótica
	<b>Arbórea</b>	Bosque	Mata Degradada
		Arbustiva transição Mata	Silvicultura - Antrópico
<b>2</b>	<b>Vegetação</b>	Banhado	Campo Nativo
	<b>Herbácea</b>	Campo Rupestre	Campo Manejado
		Campo Degradado	Campo Nativo
		Lavoura Sazonal - Antrópico	Lavoura Perene - Antrópico
		Arbustiva transição Campo	
<b>3</b>	<b>Urbano</b>	Com/Indus/Serv. Urbanos	Com/Indus/Serv. Rural
		Res/Casa Orgânico Contínuo	Res/Casa Orgânico Esparso
		Res/Casa Tradicional Esparso	Res/Casa Terrenos Grandes
		Res/Casa Orgânico Contínuo	Res/Casa Tradicional Contínuo
		Residencial Casas Rural	Residencial Casas Rural
		Vias	Solo Exposto
<b>4</b>	<b>Água</b>	<b>Água</b>	

Posteriormente, com base nesta interpretação, foram elaborados mapas para o ano de 2010, com os shapefiles obtidos do Levantamento Aerofotogramétrico realizado pela Prefeitura Municipal de Porto Alegre (2010). Finalmente, foi elaborado o mapeamento de Uso da Terra para 2018 com imagens do nanossatélite do tipo *PlanetScope*, adquiridas através da *Graphical User Interface* (GUI) disponível no sítio eletrônico da companhia Planet, com o uso do aplicativo computacional Qgis 2.18.0 e a extensão *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP).

A partir dos mapas de uso e cobertura da terra, isolou-se a classe referente a floresta, convertendo em uma única classe correspondente aos fragmentos florestais (Fig. 3) para os anos de 2003, 2010 e 2018 nas cinco unidades de planejamento, e estas foram consideradas como unidades de recortes para a extração das métricas.

Figura 3: Evolução Florestal (verde) na Bacia hidrográfica do Lami.



Conforme o PDDUA, a Bacia hidrográfica do Arroio Lami está dividida em cinco unidades de planejamento (Tab. 1 e Fig. 4) e estas foram consideradas como unidades de recortes para a extração das métricas para os mapeamentos de 2003, 2010 e 2018.

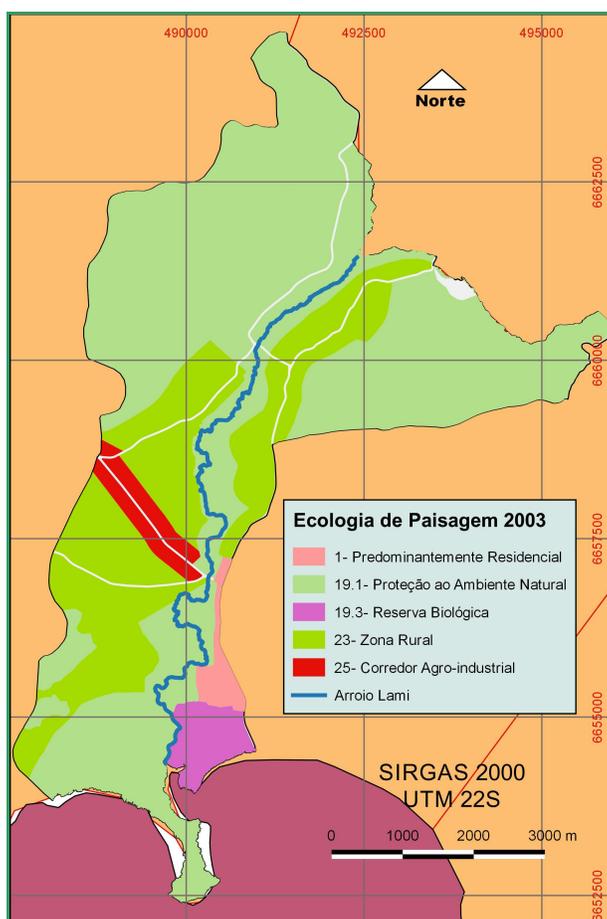
Tabela 1: Unidade de Planejamento da Bacia hidrográfica do Lami / PDDUA.

Unidade de Planejamento			Área	%
1	Predominantemente residencial	Vila do Lami	506.349,37	1,49
19.1	Proteção Ambiente Natural	APAN	23.278.334,03	68,31
19.3	Reserva Biológica	Reserva do Lami	964.179,16	2,83
23	Zona Rural	Zona Rural	8.523.527,95	25,01
25	Corredor Agro-industrial	Corredor	804.950,02	2,36

Fonte: PDDUA (1999).

Após uma análise inicial de todas as unidades de planejamento, optou-se em analisar somente as unidades Zona Rural e APAN, visto que estas duas unidades correspondem a 93,32% da área da bacia hidrográfica.

Figura 4: Unidade de Planejamento da Bacia hidrográfica do Lami.



As unidades de planejamento de uso residencial e o Corredor Agro-industrial são áreas que naturalmente tendem densificação das edificações em detrimento da manutenção da vegetação, enquanto a unidade de planejamento Reserva Biológica, onde a prioridade é assegurar a preservação de todas as espécies existentes.

O gráfico das áreas dos fragmentos florestais foi feito no Microsoft Excel 365, utilizando os dados obtidos na Tabela de Atributos, gerada por sua vez através de operações geométricas e dados calculados pelo programa SIG livre QGIS® 2.18 LAS PALMAS, bem como, a atualização e elaboração da base de dados, mosaicagem e o mapeamento dos fragmentos florestais nos anos de 2003, 2010 e 2018.

Aplicou-se métricas de ecologia da paisagem para se obter o número de fragmentos existentes, a relação de tamanho entre eles, o formato e grau de conectividade. As métricas foram produzidos a partir de scripts em Linguagem R.

Para o cálculo das métricas da paisagem (Quadro 6) foram selecionados índices que possibilitaram quantificar os elementos da paisagem, estimando assim a área, densidade, borda, forma e contágio na Bacia hidrográfica do Lami.

Quadro 6: Métricas utilizadas na quantificação da paisagem na Bacia do Lami.

<b>Grupo</b>	<b>Sigla</b>	<b>Métrica</b>	<b>Unid</b>	<b>Observação</b>
<b>Área</b>	AT	Área Total	ha	Somatório das áreas de todos os fragmentos da classe florestal
<b>Área</b>	AM	Área Média	ha	Somatório das áreas de todos os fragmentos dividido pelo número de fragmentos.
<b>Área</b>	LPI	Índice maior mancha	-	área da maior mancha da classe pela área total da paisagem.
<b>Borda</b>	ED	Densidade de Borda	m/ha	Total de bordas da classe ponderada pela área total.
<b>Forma</b>	M Fractal	Fractal	-	Soma do perímetro de cada fragmento dividido pela raiz quadrada da área de cada fragmento, ajustado pela constante para um padrão quadrado, ponderado pela área.
<b>Contágio</b>	Mesh	Mesh	ha	Média do tamanho dos fragmentos com relação a paisagem como um todo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos mapas de uso e cobertura da terra, isolou-se a classe referente a floresta, convertendo em única classe correspondente aos fragmentos florestais para os anos de 2003 (Fig. 5), 2010 (Fig. 6) e 2018 (Fig. 7) nas unidades de planejamento da APAN e Rural, e estas foram consideradas como unidades de recortes para a extração das métricas.

Figura 5: Fragmentos Florestais no ano de 2003 por Zona de Uso.

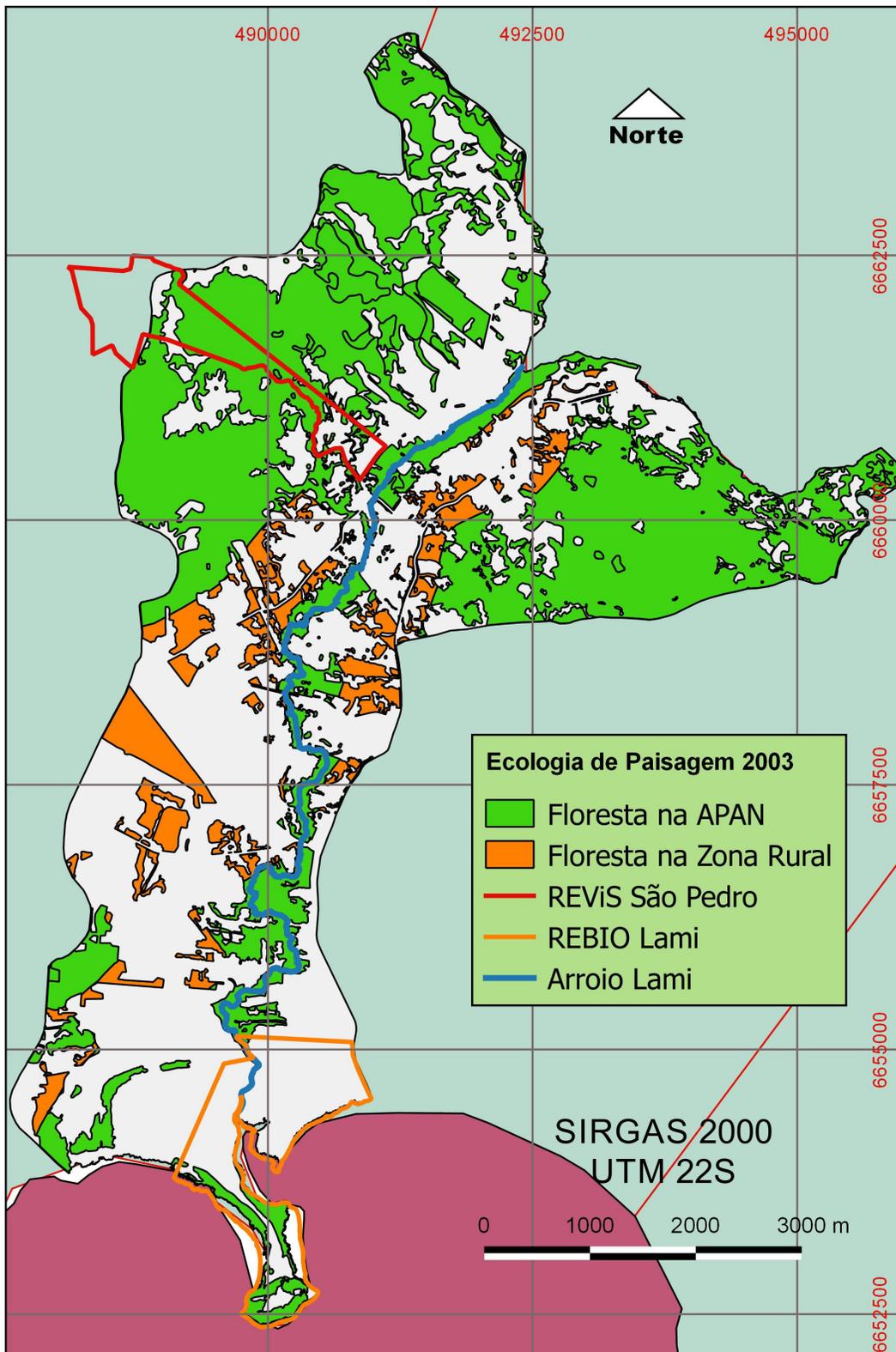


Figura 6: Fragmentos Florestais no ano de 2010 por Zona de Uso.

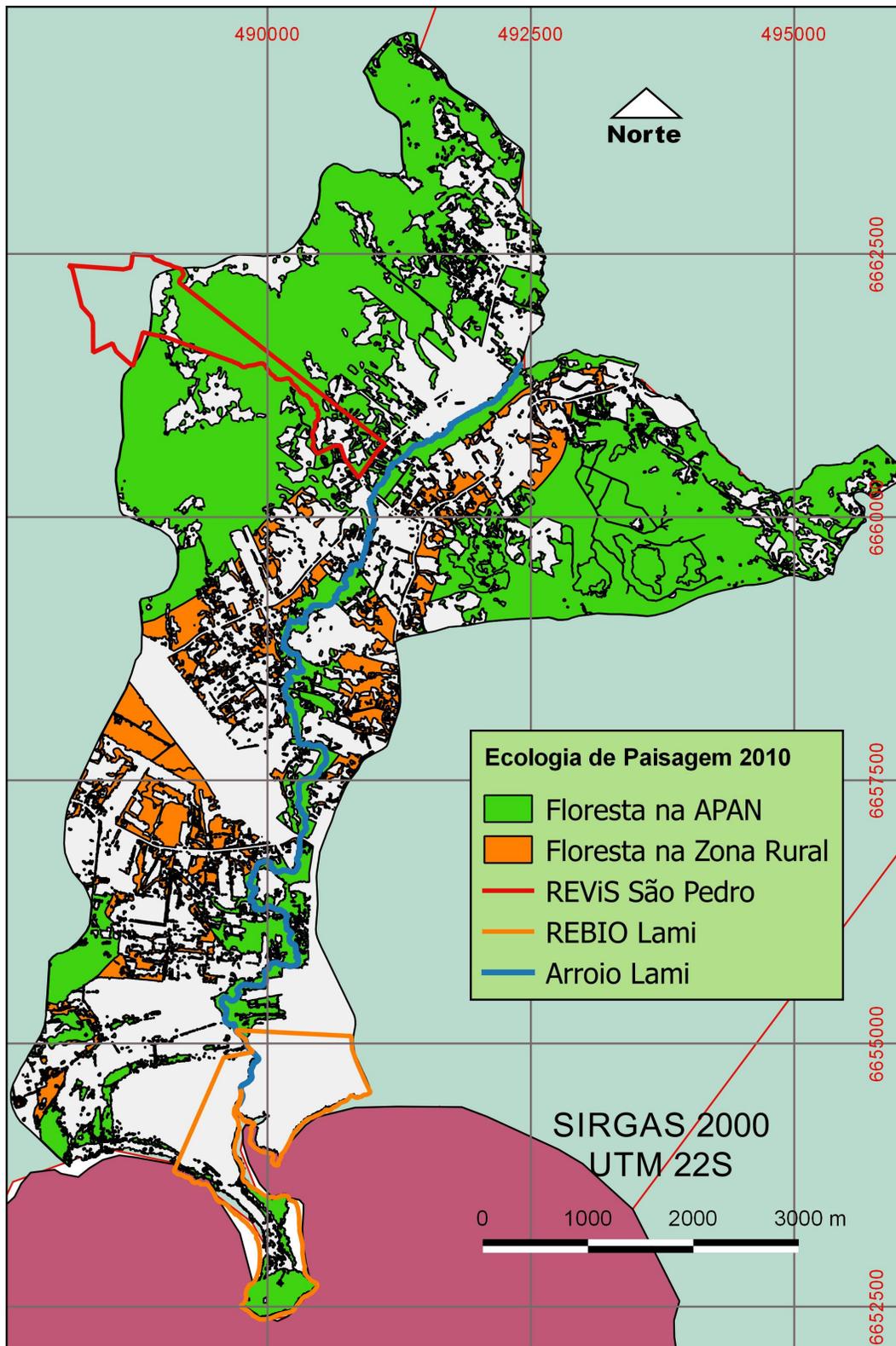
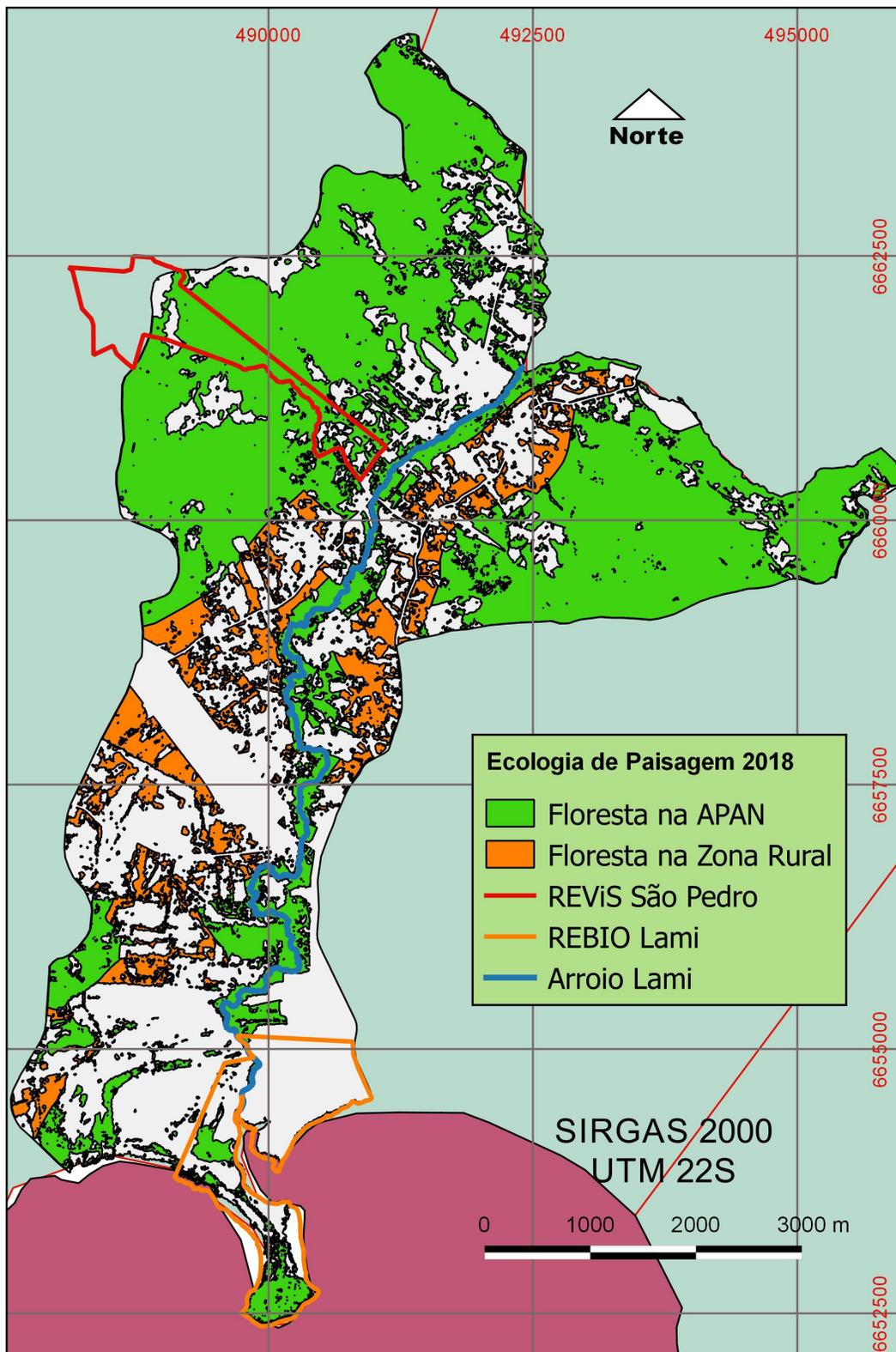


Figura 7: Fragmentos Florestais no ano de 2018 por Zona de Uso.



Diante das inúmeras possibilidades de métricas para a análise de cada um dos três mapas (2003, 2010 e 2018), as métricas foram selecionadas com base na paisagem alvo que consideramos importante para descrever a configuração dos fragmentos florestais, a informação singular e sua disponibilidade na literatura para comparar os resultados com estudos anteriores e recentes descritos na literatura, como de Pereira et al. (2001); Grigio (2003); Fernandes *et al.* (2017) e Calegari *et al.* (2010).

A Área Total (AT) muitas vezes não tem grande valor interpretativo para à avaliação do padrão da paisagem, mas é importante porque delimita a extensão da paisagem. As métricas Área total definem uma visão geral da estrutura florestal e das alterações que nela ocorrem, indicando que é importante gerir essas estruturas florestais para se obter uma manutenção dos padrões estruturais e da paisagem. A Área total corresponde a área das manchas da classe em hectares.

O Índice de Maior Mancha, ou *Largest Patch Index* (LPI), ao nível da classe corresponde à percentagem da paisagem contida na maior mancha da classe em análise. Como tal é uma forma simples de medir a dominância. O LPI é calculado dividindo a área (m<sup>2</sup>) da maior mancha da classe em análise pela área total da paisagem (m<sup>2</sup>). O LPI se aproxima de zero quando a maior mancha da paisagem é cada vez menor, e se aproxima de 1 quando a paisagem inteira consiste em uma única mancha, isto é, quando a maior mancha compreende 100% da paisagem.

A Densidade de Borda, ou *Edge Density* (ED) é uma medida de fragmentação mais elaborada, uma vez que trabalha com a relação entre a área e o perímetro da mancha. Assim, quanto mais fragmentada for uma classe maior a margem que esta irá representar e, conseqüentemente, maior será o valor apurado para a densidade de margem. O seu aumento é diretamente proporcional ao aumento do número de polígonos e da irregularidade dos perímetros dos mesmos, ou seja, quanto maior valor implica em maior efeito de borda.

A Dimensão Fractal (MFRACTAL) varia entre 1 e 2, onde valores próximos a 1 indicam formas com perímetros muito simples, como círculos ou quadrados. Polígonos mais complexos têm seus perímetros aumentados, também ocupando mais área, de forma que o valor do índice FRAC se aproxima de 2. A métrica de forma Fractal exige a adoção de uma paisagem padrão para efeito de comparação. A forma dos fragmentos foi comparada com o formato de um quadrado para o cálculo da razão perímetro/área, visto

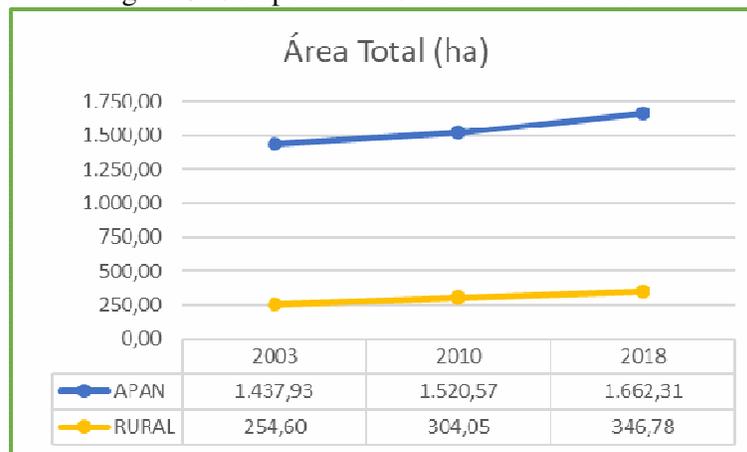
que compara o valor desse índice a um quadrado para arquivos *raster* ou matricial. Os valores de índice de forma mais próximos de 1 são ligados a formatos mais regulares.

O Tamanho Efetivo de Malha, ou *Effective Mesh Size* (MESH), segundo Gao e Li (2011) e Girvetz *et al.* (2008), determina o tamanho da área natural remanescente após ser recortada por assentamentos, vias de comunicação e outros sistemas de infraestrutura. Quantifica a fragmentação da paisagem baseando-se na probabilidade de dois pontos aleatórios em uma região estarem dentro do mesmo fragmento e assim, incorpora processos ecológicos de dispersão animal em sua definição ao considerar possíveis barreiras. Segundo Jaeger (2000), o Tamanho Efetivo de Malha aponta o tamanho da área natural remanescente após ser recortada por assentamentos, vias de comunicação e outros sistemas de infraestrutura.

### 3.1 Área Total

O comportamento da métrica Área Total - AT (Fig. 8) evidencia que ao longo do tempo ocorreu adensamento florestal nas unidades de planejamento APAN, de 1.437 ha em 2003 para 1.662 ha em 2018, e Zona Rural, de 254,60 ha em 2003 passando para 346,78 ha em 2018. Destaca-se que, pelo fato de grande parte da APAN estar localizada em área de morro, portanto em locais onde as características geomorfológicas são determinantes, ocorreu maior preservação e adensamento da floresta. Na Zona Rural o aumento se deve principalmente pelo abandono de algumas áreas antes destinadas para agricultura.

Figura 8: Comportamento da métrica Área total.

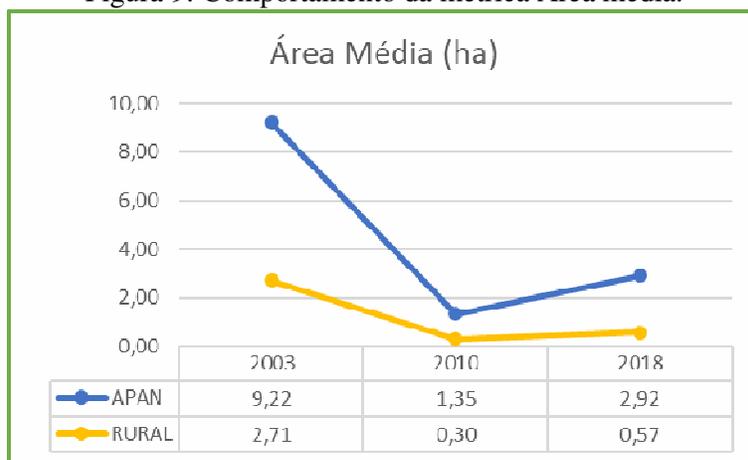


### 3.2. Área Média dos Fragmentos

O comportamento da métrica Área Média dos Fragmentos - AREA\_MN (Fig. 9) mostrou que as maiores áreas médias foram observadas na unidade de planejamento da APAN, de 1,35 ha em 2010 para 2,92 ha em 2018, demonstrando que essas classes apresentam fragmentos extensos e conectados entre si, existindo fragmentos para a manutenção da biodiversidade genética e animais de porte maior. A natureza da metodologia empregada no Diagnóstico Ambiental é destacada no cálculo das áreas médias, ampliando os valores em função da metodologia que reunia pequenas manchas em uma mancha maior representando uma classe de cobertura da terra. Para efeito de análise da métrica de paisagem os dados brutos de 2010 e 2018, ainda que interpretados são mais precisos, pois trabalham com delimitações reais da área florestal e não com manchas correspondendo às classes.

Porém, os remanescentes de menor extensão de Área Média, e que servem como “trampolins ecológicos” para o fluxo biológico na área, se encontram intensamente impactados pelas ações antrópicas. Na Zona Rural, a AREA\_MN de 0,3 ha em 2010 para 0,57 ha em 2018 de cerca de 0,5 ha enseja um plano para as atividades ali instaladas, visando a manutenção e ampliação do tecido florestal com objetivo de permitir a formatação de corredores ecológicos, possibilitando a ligação entre o Morro São Pedro e Morro da Extrema.

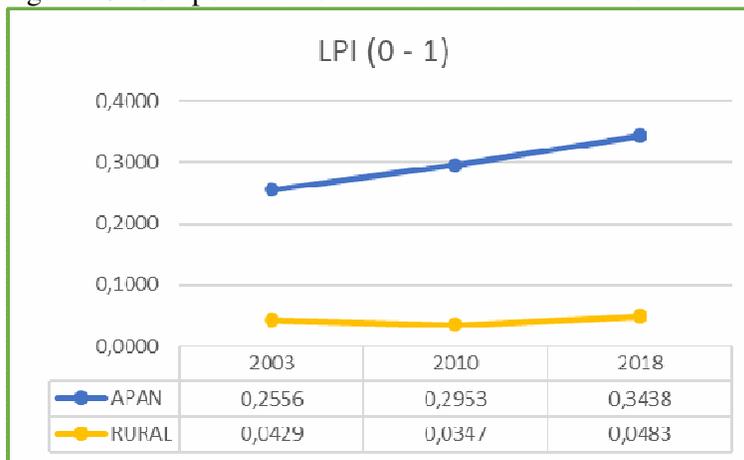
Figura 9: Comportamento da métrica Área média.



### 3.3 Índice de Maior Mancha

O comportamento da métrica Índice de Maior Mancha ou Largest Patch Index - LPI (Fig. 10) apontou que os remanescentes florestais apresentam o maior percentual de LPI nas unidades da APAN e Reserva do Lami, significando que o tecido florestal está interconectado, e forma uma grande mancha (cobre mais de 33 % dessas unidades). O baixo percentual do LPI na Zona Rural da bacia, cerca de 4,8%, demonstra a ocorrência de uma matriz antrópica com predomínio de atividades agropastoris, reforçando a atenção a conservação desta unidade de planejamento, que é importante na conectividade entre as Unidades de Conservação e os morros existentes na bacia hidrográfica.

Figura 10: Comportamento da métrica Índice da maior mancha.

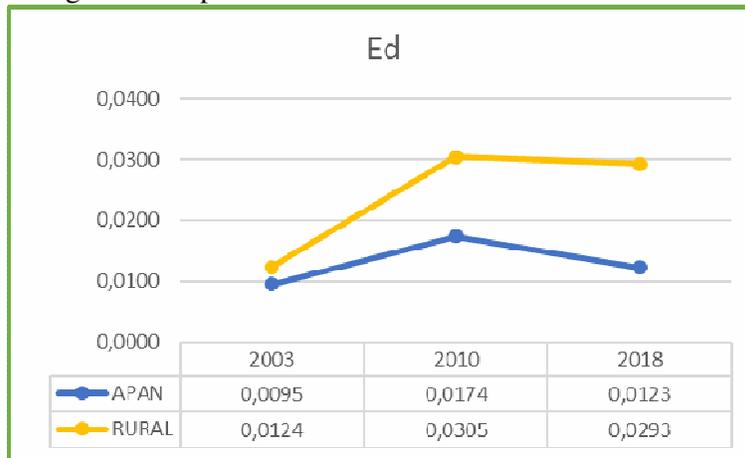


### 3.4 Densidade de Borda

O comportamento da métrica Densidade de Borda ou Edge Density – ED (Fig. 11) apresentou valores decrescentes para a unidade planejamento APAN e Zona Rural, no período compreendido entre 2010 e 2018, devido à diminuição gradativa das atividades produtivas, que na paisagem é representada pela reconfiguração dos polígonos e, por conseguinte, pela redefinição para bordas de geometria mais simples. Com isso, ocorreu a diminuição da densidade das bordas da classe floresta, implicando numa menor degradação do fragmento florestal.

Esse aumento da densidade de bordas está associado ao aumento do número de manchas. Conforme Pereira *et al.* (2001), o aumento da densidade de bordas da classe floresta implica numa maior degradação do fragmento florestal.

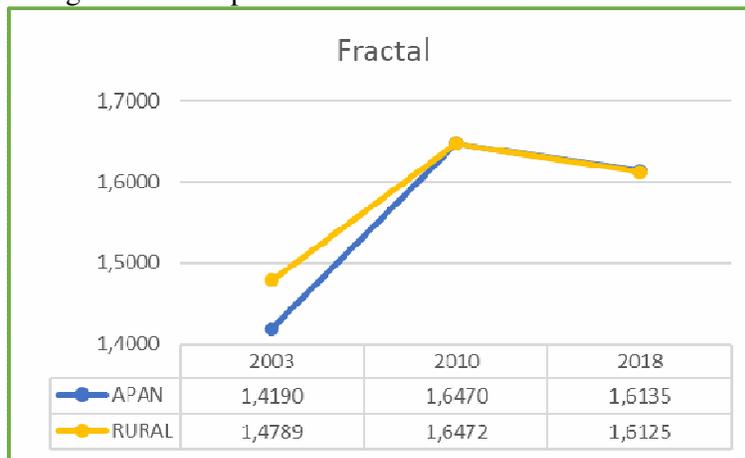
Fig. 11: Comportamento da métrica Densidade de Borda.



### 3.5 Dimensão Fractal da Mancha Média

Comportamento da métrica Dimensão Fractal da Mancha Média - FRAC\_MN (Fig. 12) apresentou valores semelhantes nas diferentes unidades de planejamento ao longo tempo. São observados valores médios de 1,4 no ano de 2003, valores médios de 1,6 com picos de 1,7 no ano de 2010, e em 2018 próximos de 1,6. Estes valores demonstram que os fragmentos florestais estão tendendo para a complexidade da forma. O relevo é um parâmetro responsável pelo comportamento fractal da relação aos fragmentos florestais, pois o mesmo influencia o processo de antropização, tornando irregular a forma dos fragmentos, como na ação de preservação de matas ciliares e florestas nos topos de morros na bacia do Lami.

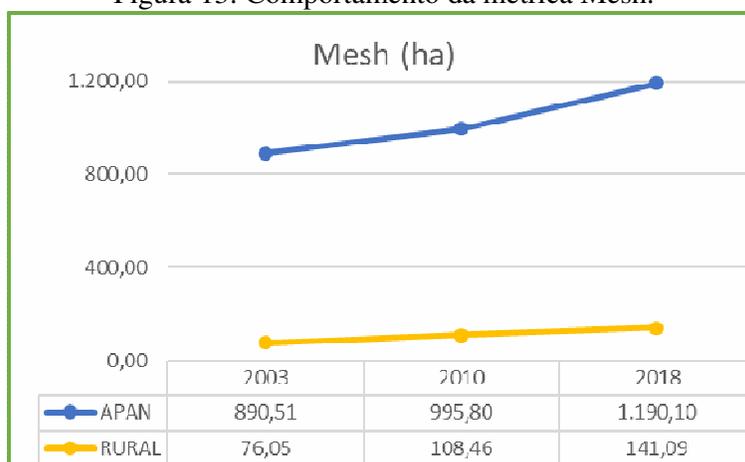
Figura 12: Comportamento da métrica Dimensão Fractal.



### 3.6 Tamanho Efetivo de Malha

O comportamento da métrica Tamanho Efetivo de Malha ou Effective Mesh Size – MESH (Fig. 13), conforme análise dos gráficos (Fig.15), o qual avalia a diversificação da paisagem ou a heterogeneidade do mosaico como um todo, ou, quanto maior o valor em hectares, maior será a diversificação da paisagem, a APAN obteve o melhor índice entre as outras unidades de planejamento, ou seja, é mais homogênea, possuindo poucas manchas isoladas, o que indica fragmentos, em média, maiores e com formas mais adequadas para conservação, enquanto a Zona Rural é composta por fragmentos pequenos e com formatos menos apropriados para conservação.

Figura 13: Comportamento da métrica Mesh.



## 4. DISCUSSÕES

O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PDDUA) grava as faixas de terras contíguas a Área de Preservação Permanente (APP) do arroio Lami como sendo Área de Proteção do Ambiente Natural (APAN), zoneamento previsto para atividades que, conciliando a proteção da flora, da fauna e dos demais elementos naturais, objetivem a perpetuação e a sustentabilidade do patrimônio natural. Diferente alternativa foi utilizada na Bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio que, conforme Mog *et al.* (2014), diferentes propostas de percursos e calhas foram criados com objetivos saneadores e higienistas e de mitigação das enchentes que afligiam a cidade, inclusive, originando a Avenida Ipiranga, importante elemento viário de Porto Alegre.

A introdução de novas áreas florestais em recuperação no Morro São Pedro foram observadas na imagem do PlanetScope de 2018, permitindo prever uma maior área florestal em áreas próximas a Unidade de Conservação do Refúgio da Vida Silvestre do Morro São Pedro. A manutenção e ampliação das florestas nas APAN é perceptível e estão registradas na análise da Área Total da floresta, que está avançando sobre as áreas vizinhas, em especial, as áreas de campo, agricultura ou pastagem. Enquanto na Zona Rural, ao longo do arroio do Lami, onde se desenvolve grande parte dos corredores ecológicos, a tendência da ampliação do tecido florestal parece incerta, uma vez que, os processos antrópicos ainda estão em desenvolvimento.

A evolução histórica da paisagem indicou progressivo aumento na Área Total ocupada floresta na Zona Rural, com o acréscimo de 92 há, possivelmente explicado pelo abandono das áreas rurais, e restrições impostas pela legislação ambiental, comportamento semelhante ao descrito por Calegari *et al.* (2010), ao analisar a dinâmica de fragmentos florestais do município de Carandaí, em Minas Gerais.

O comportamento da métrica Densidade de Borda ou Edge Density – ED apresentou valores decrescentes para a unidade planejamento APAN e Zona Rural, no período compreendido entre 2010 e 2018, assim, ocorreu a diminuição da densidade das bordas da classe floresta, implicando numa menor degradação do fragmento florestal, comportamento oposto ao apresentado por Pereira *et al.* (2001), ao analisar as métricas da paisagem na caracterização da evolução da ocupação da Amazônia, onde o aumento da densidade de bordas da classe floresta implica numa maior degradação do fragmento florestal.

O efeito de borda associado ao formato irregular dos fragmentos pode ser observado através dos resultados das métricas de bordas, áreas onde a intensidade dos fluxos biológicos entre as unidades de paisagem se modifica de forma abrupta devido à mudança abiótica repentina das matrizes para os fragmentos e vice-versa, segundo Metzger (2009) em que os fragmentos florestais possuem estrutura e composição da vegetação, microclima e fauna diferenciada do interior da floresta, sendo a principal zona que sofre com a antropização na forma da agricultura ou habitação.

A classe de cobertura florestal ocupa 2.103 ha, ou 61% da Bacia hidrográfica do Arroio Lami com área de 3.411 ha, entretanto, deve-se notar que existe a forte influência por parte do fragmento florestal localizado junto aos morros São Pedro e

Extrema, localizados em área de APAN, correspondente a 79% de toda vegetação localizada na bacia hidrográfica.

O monitoramento da dinâmica da floresta, através da remediação dos fragmentos, é fundamental para avaliar os impactos decorrentes da antropização da bacia hidrográfica, dos planos de manejos das Unidades de Conservação (UCs), da cidade proposta pelo Plano de Desenvolvimento Urbano Ambiental (PDDUA), e que forma este remanescente se manterá florística e estruturalmente ao longo do tempo.

De acordo com as análises das métricas da paisagem as florestas predominam na Área de Proteção ao Ambiente Natural (APAN) compondo o elemento matriz da paisagem; enquanto, na Área Rural os fragmentos desempenham papel de trampolins ecológicos, que permitem que a fauna circule entre os fragmentos maiores utilizando estes menores como meio de passagem, estabelecendo um corredor ecológico entre as Unidades de Conservação (UCs) da bacia hidrográfica.

#### **4. CONCLUSÕES**

Verifica-se um significativo aumento no total de áreas dos fragmentos florestais, unidades de planejamento APAN, de 1.437 ha em 2003 para 1.662 ha em 2018 (71,4 % da área) Zona Rural, de 254,60 ha em 2003 passando para 346,78 ha em 2018 (40,6 % da área), evidenciando que ao longo do tempo ocorreu adensamento florestal na APAN e Zona Rural, indicando aumento de áreas centrais essenciais a manutenção de processos ecológicos eficientes o favorecimento da formação de corredores ecológicos entre os fragmentos.

O fragmento florestal muito grande da unidade de planejamento APAN, se diferencia de todos os demais não apenas pela sua proporção em área, mas também pela localização em área de média/alta declividade correspondente aos morros que definem a bacia hidrográfica, possuindo grande importância ecológica por sua grande extensão territorial, como por ser parte dos Corredores de Biodiversidade estabelecidos pelas Unidades de Conservação do REBIO do Lami e REVIS São Pedro.

O programa R mostrou-se uma ferramenta eficiente para análise de dados, necessitando apenas da imagem como parâmetro de entrada, e gerando resultados confiáveis.

Sob a metodologia adotada, o cálculo das métricas da paisagem foi um processo bastante facilitado por sua disponibilização em aplicativo computacional e a utilização das imagens PlanetScope.

Com a expansão do processo de ocupação das terras nas áreas de estudo, é necessário estabelecer diretrizes que compatibilizem os recursos naturais com as exigências da produção agropecuária, a partir da definição de alternativas econômicas e tecnológicas apropriadas à realidade local, em consonância com os interesses e o saber dos assentados.

Os resultados da análise da fragmentação florestal podem subsidiar zoneamentos econômico-ecológicos, monitoramento e a tomada de decisão no manejo dos recursos florestais.

A análise das métricas de paisagem pode contribuir para elaboração de propostas para qualificação dos corredores ecológicos, ajustes no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PDDUA) assim como outras estratégias que priorizam estabelecer a conectividade florestal na perspectiva de conservar os fatores biofísicos e evitar a extinção de diversos fragmentos que se encontram ameaçados.

## 5. REFERÊNCIAS

BERTRAND, Georges. Paysage et Géographie Physique Globale -- Esquisse Méthodologique. Rev. Geogr. Des Pyrenées et du SudOuest, 39(3): 249-272. Toulouse, 1968.

CALEGARI, L.; MARTINS, S.V.; GLERIANI, J.M.; Silva, E.; BUSATO, L.C. Análise da dinâmica de fragmentos florestais no município de Carandaí, MG, para fins de restauração florestal. **Revista Árvore**, v.34, n.5, p.871-880, 2010.

FERNANDES, M. M.; FERNANDES, M. R. M. Análise Espacial da Fragmentação Florestal da Bacia do Rio Ubá – RJ. **Ciência Florestal**, vol. 27, núm. 4, outubro-diciembre, 2017, pp. 1429-1439 Universidade Federal de Santa Maria Santa Maria, Brasil

GAO, J.; LI, S. Detecting spatially non-stationary and scale-dependent relationships between urban landscape fragmentation and related factors using Geographically Weighted Regression. **Applied Geography**, v. 31, n. 1, p. 292–302, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.06.003>>.

GRIGIO, A. M. **Aplicação de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica na Determinação da Vulnerabilidade Natural e Ambiental do Município de Guimarães / RN**: simulação de risco das atividades da indústria petrolífera. Natal: UFRN, 2003. 222 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

JAEGER, J. A. G. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: New measures of landscape fragmentation. **Landscape Ecology**, v. 15, n. 2, p. 115–130, 2000.

LOPES, W.G.R.; LIMA A. J.; VIANA, B. A. S.; NETO, E. X. R.; NOGUERIA, R. H. N, **Reflexões sobre o plano diretor como instrumento de gestão em municípios brasileiros**, Geo UERJ, n. 30, p. 145-168, 2017. Doi: 10.12957/geouerj.2017.28340

PORTO, M. L.; MENEGAT, R. Ecologia de Paisagem: um novo enfoque na gestão dos sistemas da terra e do homem. In: MENEGAT, R.; ALMEIDA, G. (Orgs.) **Desenvolvimento sustentável e gestão ambiental nas cidades: estratégias a partir de Porto Alegre**. UFRGS, Porto Alegre, p.361-375, 2004.

PEREIRA, J.L.G.; BATISTA, G.T.; THALÊS, M.C.; ROBERTS, D.A.; VENTURIERI, A. **Métricas da paisagem na caracterização da evolução da ocupação da Amazônia**. Geografia, v.26, n.1, p.59-90,2001.

METZGER, J. P. O Que É Ecologia De Paisagens? **Biota Neotropica**, v. 1, n. 12, p. 1–9, 2001.

MOG, W.; ÁVILA, H.; LÍVIA, C.; PICCININI, S. Análise morfológica de espaços urbanos em bacias hidrográficas: um olhar sobre o entorno do Arroio Dilúvio em Porto Alegre. **Cadernos Metrópole**, v. 16, n. 31, p. 221-239, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/2236-9996.2014-3110>

SILVA, M.S.F.; SOUZA, R.M. Padrões Espaciais de Fragmentação Florestal na Flona do Ibura, Sergipe. **Mercator**, v.13(3), p. 121-137, 2014.

TABARELLI, M.; GASCON, C. Lições da pesquisa sobre fragmentação: aperfeiçoando políticas e diretrizes de manejo para a conservação da biodiversidade. **Megadiversidade**, v.1, n. 1, p.181-188, 2005.

TURNER, M.G. Spatial and temporal analysis of landscape patterns. **Landscape Ecology**, v. 4, p. 21-30, 1990.

## CAPÍTULO 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação verificou que a classificação supervisionada com uso de imagens *PlanetScope*, combinada com a utilização *plug-in Semi-Automatic Classification (SCP)*, permitiu categorizar a cobertura do uso e ocupação da terra obtendo como resposta quatro tipos de classes: Vegetação Arbórea, Vegetação Herbácea, Antrópico Urbano e Água para a bacia hidrográfica do Lami.

Os resultados da classificação supervisionada na imagem *PlanetScope* foram comparados com os dados reclassificados do Mapeamento do uso e cobertura da Terra do Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre de 2003, confirmando a significativa presença de cobertura florestal, ocupando aproximadamente 62% da bacia, principalmente nas áreas mais íngremes dos morros. Por outro lado, junto às planícies aluviais do Arroio Lami são as unidades com menor cobertura florestal, fato relacionado principalmente com a ocupação por áreas de cultivo.

A comparação entre os mapas de uso e ocupação da terra do ano de 2003 e 2018 evidencia o aumento das áreas de vegetação da classe arbórea de 17.275,97 ha (49,91% da área total) para 21.402,27 ha (61,52% da área total). A vegetação da classe herbácea reduziu a sua área, passando de 15.530,63 ha em 2003 (44,87% da área total) para 11.737,28 ha em 2018 (33,73% da área total), indicando que a vegetação arbórea aumentou sobre a vegetação herbácea. A área total da cobertura florestal da Bacia hidrográfica do Arroio Lami aumentou 23% no intervalo de 15 anos (Tab. 4).

Tabela 4: Variação da Classe Arbórea entre 2003 e 2018.

	Diagnóstico Ambiental 2003	Classificação SCP 2018	Variação
	Área (ha)	Área (ha)	%
<b>Vegetação Arbórea</b>	17.275,97	21.402,27	+23,88
<b>Vegetação Herbácea</b>	15.530,63	11.737,28	-24,42
<b>Urbano</b>	1.299,53	1.451,99	+11,73
<b>Água</b>	508,94	202,66	-60,17

O cálculo e a análise da Métrica de Paisagem, verificou um significativo aumento no total de áreas dos fragmentos florestais na Zona de Uso APAN, de 1.437 ha

em 2003 para 1.662 ha em 2018 (71,4 % da área), e na Zona Rural, de 254,60 ha em 2003 passando para 346,78 ha em 2018 (40,6 % da área), evidenciando que ao longo do tempo ocorreu adensamento florestal na APAN e na Zona Rural, indicando aumento de áreas centrais essenciais a manutenção de processos ecológicos eficientes o favorecimento da formação de corredores ecológicos entre os fragmentos.

O comportamento da métrica Área Média dos Fragmentos mostrou que, na Zona de Uso APAN cresceu de 1,35 ha em 2010 para 2,92 ha em 2018, demonstrando que essas classes apresentam fragmentos extensos e conectados entre si, existindo fragmentos para a manutenção da biodiversidade genética e animais de porte maior. Porém, na Zona Rural com remanescentes de menor extensão de Área Média, de 0,3 ha em 2010 para 0,57 ha em 2018, enseja um plano para as atividades ali instaladas, para a manutenção e ampliação da floresta com objetivo de ampliar os corredores ecológicos, que servem como “trampolins ecológicos” para o fluxo biológico na área, e que encontram intensamente impactados pelas ações antrópicas, possibilitando estruturação de uma ligação entre o Morro São Pedro e Morro da Extrema.

A distribuição espacial das quatro classes de uso e o aumento na cobertura florestal e no total de áreas dos fragmentos florestais em áreas da bacia do Lami, entre 2003 e 2018, reflete o processo histórico de ocupação da terra, da degradação das terras e a posterior estagnação do processo de uso e ocupação do território da bacia hidrográfica.

As métricas da paisagem são importantes para análise da fragmentação florestal da Bacia hidrográfica do Arroio Lami, permitindo a criação e implementação de estratégias de conservação e reestruturação da paisagem da bacia hidrográfica, a estruturação dos corredores ecológicos e a preservação do Arroio Lami, embasando propostas que priorizem a conectividade desses ambientes, em especial entre as Unidades de Conservação do REBIO do Lami e REVIS São Pedro.

O Plano Diretor possui relação com os desafios de desenvolvimento de estratégias para a sustentabilidade ambiental no espaço urbano. Com base nos resultados da dissertação, considerando a tendência de estabilização do crescimento populacional e os incentivos fiscais para áreas de interesse ecológico, é relevante garantir a compatibilização o uso da terra e a sustentabilidade social, econômica e, principalmente, ambiental, com o planejamento da ocupação e da conservação da paisagem.

Desta forma, a dinâmica da paisagem da bacia dependerá de planejamento e de ações, envolvendo o Plano Diretor, visando a compatibilização do uso da terra e a sustentabilidade ambiental, com o planejamento da ocupação e da conservação da paisagem como um todo, em especial a Zona Rural, onde ocorre o processo de fragmentação. O entendimento das recentes mudanças na bacia e a relação com as bacias do entorno pode auxiliar na definição de políticas públicas e de diretrizes para o uso sustentável das demais bacias hidrográficas da região sul de Porto Alegre.

Esta dissertação verificou que o estudo de expansão de áreas florestais urbanas e fragmentação florestal é favorecida com o uso de imagens de satélites de alta resolução espacial. Depois de concluídas as etapas de geração de mapas, comparados com os mapas de destinação urbana contidos no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PDDUA) do município de Porto Alegre, foi possível perceber que o zoneamento urbano proposto pelo plano diretor apresentou concordância com as imagens, fazendo que os mapas esquemáticos deste Plano Diretor demonstrem coerência com a carta de expansão urbana. Pelo mapeamento realizado é possível perceber que a expansão urbana na Macrozona 8, região sul do município, está contida pelo Morro São Pedro e Morro da Extrema. A conservação do bioma Mata Atlântica possui forte pressão exercida pelas fronteiras agrícolas e pela urbanização, em especial a urbanização irregular. Neste sentido, o processamento digital de imagens sensoramento remoto permitiu monitorar algumas alterações no meio ambiente.

A precisão do mapeamento do uso da terra na região de estudo, utilizando a classificação supervisionada semi-automática das imagens PlanetScope pelo método MAXVER foi considerada excelente, com índice Kappa de 91%. Ainda assim, a técnica de classificação semi-automática apresentou problemas na determinação de algumas classes, destacando a delimitação entre florestas e silvicultura, e entre campos naturais e campos manejados ou agricultura, onde se conclui que, para melhorar o grau de acerto dos resultados do mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal, se faz necessário a realização de trabalho de campo e posterior edição vetorial do mapa visando corrigir as distorções ocorridas na classificação.

Os resultados da análise da fragmentação florestal podem subsidiar zoneamentos econômico-ecológicos, monitoramento e a tomada de decisão no manejo dos recursos florestais.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. S. **Transformações urbanas: atos, normas, decretos, leis na administração da cidade – Porto Alegre 1937-1961.** Tese de Doutorado. FAUSP, 2004.

ALTMANN, A. L.; ECKHARDT, R. R.; REMPEL, C. Evolução Temporal Do Uso E Cobertura Da Terra - Estudo De Caso No Município De Teutônia - Rs - Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 61, n. 03, p. 273 – 283, 2009.

ARAÚJO, A.; LIMA, M. G.; SOUSA JR, W. C.; MORELLI, F.; LENCIONI, J. W. Utilização de imagens do satélite Landsat para a análise da expansão urbana do município de Jacareí- SP e para a verificação das diretrizes do Plano Diretor. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, n. 11, 2016, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2016, p. 2693- 2703.

ARAÚJO FILHO, M. C. MENESES, P. R.; SANO, E. E. Sistema de classificação de uso e cobertura da Terra na análise de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n.2, p.171-179, 2007.

AZEVEDO, H. A. M. A.; BARBOSA, R. P. Gestão de recursos hídricos no Distrito Federal: uma análise da gestão dos Comitês de Bacia hidrográfica. **Ateliê Geográfico**, v. 5, n. 13, p. 162- 182, 2011.

BRAGA, B.; BARROS, M. T. L.; CONEJO, J. G. L.; EIGER, S.; HESPANHOL, I.; JULIANO, N.; NUCCI, N.; PORTO, M; SPENCER, M. **Introdução à Engenharia Ambiental.** 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318p.

BRAGA, R. Política urbana e gestão ambiental: considerações sobre o plano diretor e o zoneamento urbano. In: Carvalho, P. F.; Braga, R (Orgs.): **Perspectivas de gestão ambiental em cidades médias.** Rio Claro: LPM – UNSEP, 2001, p. 95-109.

BRASIL. Lei no 9.985. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza.** Brasília, DF: 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm) >. Acesso em set. de 2012.

\_\_\_\_\_. Lei Federal 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Presidência da República.** Casa Civil. Brasília, 1997. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm). Acesso em: 24.08. 2017.

\_\_\_\_\_. Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília: Congresso Nacional, 2012a.

\_\_\_\_\_. Lei no 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 2001.

CABETTE, A., STROHAECKER, T. A dinâmica demográfica e a produção do espaço urbano em Porto Alegre, Brasil. **Cadernos Metropolitanos**, v. 17, n. 34, p.481-501, 2015.

CALEGARI, L.; MARTINS, S. V.; GLERIANI, J. M.; SILVA, E.; BUSATO, L. C. Análise da dinâmica de fragmentos florestais no município de Carandaí, MG, para fins de restauração florestal. **Revista Árvore**, v.34, n.5, p.871-880, 2010.

CARMO, J. P. A. e SILVA, P. D. D. A Bacia hidrográfica como unidade de estudo, planejamento e gestão. In: ENCONTRO NACIONAL DOS GEÓGRAFOS, 16, 2010, **Anais...** Porto Alegre. Editora UFRS 2010, p. 214

COELHO NETO, A. L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (orgs.) **Geomorfologia uma base de atualização e conceitos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 93-148.

CONGEDO, L. 2016. **Semi-Automatic Classification Plugin Documentation**. DOI: [https://www.researchgate.net/profile/Luca\\_Congedo/publication/265031337\\_Semi-Automatic\\_Classification\\_Plugin\\_User\\_Manual/links/57cafe2d08ae59825183576d/Semi-Automatic-Classification-Plugin-User-Manual.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Luca_Congedo/publication/265031337_Semi-Automatic_Classification_Plugin_User_Manual/links/57cafe2d08ae59825183576d/Semi-Automatic-Classification-Plugin-User-Manual.pdf) Acesso em 15/07/2018.

CRUZ, R. C.; TAVARES, I. S. Bacia hidrográfica: aspectos conceituais e práticos. In: RIGHES, A. A. (Org.); BURIOL, G. A. (Org.); BOER, N. (Org.). **Água e educação: princípios e estratégias de uso e conservação**. Santa Maria, RS: Centro Universitário Franciscano, 2009.

ECKHARDT, R.R; SILVEIRA, C.A; REMPEL, C. Evolução temporal do uso e cobertura da terra do município de Bom Retiro do Sul, RS - Brasil. **Revista Caminhos da Geografia**, v.14, n. 47, p. 150-161, 2013.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Lei n.º 11.520, de 03 de agosto de 2000. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providencias. Assembléia Legislativa do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/legiscomp/arquivo.asp?idNorma=11&tipo=pdf>. Acesso em: 27 set. 2018.

FARIAS, A. R.; MINGOTI, R.; VALLE, L. B. do; SPADOTTO, C. A.; LOVISI FILHO, E. **Identificação, mapeamento e quantificação das áreas urbanas do Brasil**. Comunicado técnico. Campinas: Embrapa Gestão Territorial, 2017.

FELIZOLA, E. R. **Avaliação de Fragmentação de Áreas Naturais de Cerrado para a Proposição de um Corredor Ecológico no Distrito Federal**. Dissertação de Mestrado Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Florestal. 2004.

Fernandes, M.; Fernandes, M.; Almeida, A.; Gonzaga, M. I. S.; Gonçalves, F. Ecologia da Paisagem de uma Bacia hidrográfica dos Tabuleiros Costeiros do Brasil. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.025015>

FREITAS, C.; GOMES, V.; BORGES, M. Planejamento urbano com uso de sistema de informação geográfica: o caso de Feira de Santana-BA. **Universitas: Arquitetura e Comunicação Social**, v.10, n.1, 35-45, 2013.

GUIMARÃES, D. P.; PIMENTA, F. M.; LANDAU, E. C. **Integração Google Earth-SIG-Servidor de Mapas e o Monitoramento Ambiental**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 20 p. (Circular técnica, 183)

GRIGIO, A.M. Aplicação de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do Município de Guimarães (RN): simulação de risco às atividades da indústria. 2003.

HASENACK, H.; WEBER, E.; MARCUZZO, S. (org.). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: Geologia, Solos, Drenagem, Vegetação e Ocupação**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2008. 84 p.

INOSTROZA, L.; BAUR, R.; CSAPLOVICS, E. Urban sprawl and fragmentation in Latin America: A dynamic quantification and characterization of spatial patterns, **Journal of Environmental Management**, v. 115, 87-97, 2013.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Resultados da Amostra Censo 2010**. Rio de Janeiro, IBGE, 2012. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em 22 de setembro de 2018.

KOZENIESKI, E. M. **O Rural Agrícola na Metrópole: o caso de Porto Alegre/RS**. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências, UFRGS, 2010.

KURASZ, G.; ROSOT, N.C.; OLIVEIRA, Y.M.M.; ROSOT, M.A.D. Caracterização do entorno da reserva florestal EMBRAPA - EPAGRI de Caçador (SC) usando imagem Ikonos. **Floresta**, v. 38, n.4, p. 641-649, 2008.

LIMA, F. T. de A. Parametrização do conceito de cidade compacta: uma abordagem “pósmoderna” para centros urbanos contemporâneos sustentáveis. **Oculum Ensaios**, v. 11, n. 2, p. 259-270, 2014.

LIMA, R. N. S.; ROCHA, C. H. B. Técnicas de sensoriamento remoto e métricas de ecologia da paisagem aplicadas na análise da fragmentação florestal no município de Juiz de Fora – MG em 1987 e 2008. **Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 2011.

LINDENMAYER, D. B.; BURTON, P. J.; FRANKLIN, J. F. **Salvage logging and its ecological consequences**. Washington, D.C.: Island Press, 2008. 227p.

LOPES, W. G. R.; LIMA, A. J.; VIANA, B. A. S.; RODRIGUES NETO, E. X.; NOGUEIRA, H. N. Reflexões sobre o plano diretor como instrumento de gestão em municípios brasileiros, **Geo UERJ**, n. 30, p. 145-168, 2017.

MAGALHÃES JR., A. P. **Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 686p.

MATZENAUER, R.; RADIN, B.; ALMEIDA, I.R. **Atlas Climático: Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura Pecuária e Agronegócio, Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária. 2011. Disponível em [http://www.cemet.rs.gov.br/area/7/Atlas\\_Clim%C3%A1tico](http://www.cemet.rs.gov.br/area/7/Atlas_Clim%C3%A1tico); acessado em 30/07/2014

METZGER, J. P. O Que É Ecologia De Paisagens? **Biota Neotropica**, v. 1, n. 12, p. 1–9, 2001.

MONTE-MÓR, R.L. O que é urbano no mundo contemporâneo. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, n.111, p.9-18, 2006.

MYERS N.; MITTERMEIER R.A.; MITTERMEIER C.G.; DA FONSECA G.A.B.; KENT J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853- 858, 2000.

NYGAARD, P.D. **Planos Diretores de Cidades: discutindo sua base doutrinária**. Porto Alegre: Editora da UFRGS. 2005. 286p.

OJIMA, R. **Análise comparativa da dispersão urbana nas aglomerações urbanas brasileiras: elementos teóricos e metodológicos para o planejamento urbano e ambiental**. Tese de Doutorado. Campinas, IFCH, UNICAMP. 2007.

PARDINI, R.; FARIA, D.; ACCACIO, G.M.; LAPS, R. R.; MARIANO, E.; PACIENCIA, M.L.B.; DIXO, M.; BAUMGARTEN, J. The challenge of maintaining Atlantic forest biodiversity: a multitaxa conservation assessment of an agro-forestry mosaic in southern Bahia. **Biological Conservation**, v.142, p.1178-1199, 2009.

PEREIRA, J. L. G.; BATISTA, G. T.; THALÊS, M. C.; ROBERTS, D. A.; VENTURIERI, A. V. Métricas da paisagem na caracterização da evolução da ocupação da Amazônia. **Geografia**, v. 26, n. 1, p. 59-90, abr. 2001.

PEREIRA, L. F.; GUIMARÃES, R. M. F.; OLIVEIRA, R. R. O. Integrando geotecnologias simples e gratuitas para avaliar usos/coberturas da terra: QGIS e Google Earth Pro. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 3, n. 3, p. 250-264, 2018.

PÉRICO, E.; AREND, U.; CEMIN, G.; ECKHARDT, R.R.; SECCHI, F.J.; REMPEL, C. Alterações na paisagem da bacia hidrográfica do Rio Forqueta, RS, Brasil. **Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, 2011, p. 1713.**

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E. Bacias hidrográficas – integração entre meio ambiente e desenvolvimento. **Ciência Hoje**, v. 19, n. 110, p. 41-45, 1995.

Planet Team. Planet Application Program Interface: In Space for Life on Earth. San Francisco, CA, USA, 2018. Available online: <https://api.planet.com> (accessed on 17.04.2018).

PORTO ALEGRE. Lei Complementar n. 434, de 01 de dezembro de 1999, alterada pela Lei Complementar 646/10. Institui o 1º PDDUA – Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre. Porto Alegre: CORAG, 1999.

PORTO, M. L.; MENEGAT, R. Ecologia de Paisagem: um novo enfoque na gestão dos sistemas da terra e do homem. In: MENEGAT, R.; ALMEIDA, G. (Orgs.) Desenvolvimento sustentável e gestão ambiental nas cidades: estratégias a partir de Porto Alegre. UFRGS, Porto Alegre, p.361-375, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. 1º PDDU – Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Porto Alegre, Lei complementar n. 43 de 21/6/79. 1979.

\_\_\_\_\_. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental, Lei complementar n. 434/99. 2000a.

RIBEIRO, M.C.; METZGER, J.P.; MARTENSEN, A.C.; PONZONI, F.J.; HIROTA, M.M. 2009. Brazilian Atlantic Forest: How much is left and how is the remaining forest distributed? **Implications for conservation. Biological Conservation**, v. 142, p 1141-1153.

RODRIGUES, C.; ADADI, S. Técnicas Fundamentais para o Estudo de Bacias Hidrográficas. In: VENTURI, Luis A. B. **Praticando a Geografia: técnicas de Campo e Laboratório em geografia e análise ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos. p.147-166, 2005.

RODRIGUEZ, J.M.M.; SILVA, E.V.; CAVALCANTI, A.P.B. **Geoecologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. Fortaleza: Editora UFC, 2004.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; LEAL, A. C. Planejamento ambiental de bacias hidrográficas desde a visão da geoecologia da paisagem. In. FIGUEIRÓ, A. S.; FOLETO, E (org.). **Diálogos em geografia física**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2011.

ROGERS, R.; GUMUCHDJIAN, P. **Cidades para um pequeno planeta**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1997.

ROVATI, J. F. **A fertilidade da terra urbana em Porto Alegre: uma leitura da intervenção do Estado na cidade**. Rio de Janeiro, UFRJ/IPPUR. 1990.

SCHWEIGERT, L. R. **Plano diretor e sustentabilidade ambiental da cidade**. Dissertação de mestrado. Arquitetura e Urbanismo. Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2007.

SESTREN-BASTOS, M. C.; VIEIRA, R. C.; RIBEIRO, S. (Coord.). **Plano de Manejo: Refúgio de Vida Silvestre São Pedro**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente e da Sustentabilidade, 2017.

SILVA, M.S.F.; SOUZA, R.M. Padrões Espaciais de Fragmentação Florestal na Flona do Ibura, Sergipe. **Mercator**, v. 13, 121-137, 2014.

TABARELLI, M.; GASCON, C. Lições da pesquisa sobre fragmentação: aperfeiçoando políticas e diretrizes de manejo para a conservação da biodiversidade. **Megadiversidade**, v.1, n.1), p.181-188, 2005.

TOEBE D. Análise temporal da cobertura vegetal arbórea do município de Foz do Iguaçu – PR utilizando técnicas de sensoriamento remoto. **SPRING Publicações**, 2011. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/spring/english/summary.php?ver\\_proximo\\_user=sim&pos\\_atual=40&tipo\\_busca=&opcao=&contador=50&num=78](http://www.dpi.inpe.br/spring/english/summary.php?ver_proximo_user=sim&pos_atual=40&tipo_busca=&opcao=&contador=50&num=78). Acesso em: 9 dez. 2017. (ver)

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Editora da Universidade. ABRH. EDUSP - Porto Alegre, 943p., 1993.

TURNER, M.G. Spatial and temporal analysis of landscape patterns. **Landscape Ecology**, v. 4, p. 21-30,1990.

VIANA, V.M.; PINHEIRO, L.A.F.V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 32, p. 25-42, 1998.

VILLAÇA, F. Dilemas do plano diretor. In: **O município no século XXI: cenários e perspectivas**. São Paulo: Fundação Prefeito Faria Lima, Cepam, Edição especial, 1999.

ZUANAZZI, P.; BANDEIRA, M. Projeções populacionais do Estado do Rio Grande do Sul para o período 2015-2050. **Indicadores Econômicos e Sociais FEE**, Porto Alegre, v.40, n.3, p. 7-20, 2013.