

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Faculdade de Arquitetura e Urbanismo**  
**Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo**  
**Mestrado em Arquitetura e Urbanismo**



Dissertação de Mestrado

**Características urbanas e ambientais, em áreas com potencial de  
renaturalização, de rios urbanos na cidade de Bagé/RS**

Gabriel Delpino da Silveira

Pelotas, 2024

**Gabriel Delpino da Silveira**

**Características urbanas e ambientais, em áreas com potencial de renaturalização, de rios urbanos na cidade de Bagé/RS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Couto Polidori

Pelotas, 2024.

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação da Publicação

S587c Silveira, Gabriel Delpino da

Características urbanas e ambientais, em áreas com potencial de renaturalização, de rios urbanos na cidade de Bagé/RS [recurso eletrônico] / Gabriel Delpino da Silveira ; Maurício Couto Polidori, orientador. — Pelotas, 2024.

170 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, 2024.

1. Renaturalização. 2. Rios urbanos. 3. Características urbanas e ambientais. I. Polidori, Maurício Couto, orient. II. Título.

CDD 720

**Gabriel Delpino da Silveira**

**CARACTERÍSTICAS URBANAS E AMBIENTAIS, EM ÁREAS COM POTENCIAL  
DE RENATURALIZAÇÃO, DE RIOS URBANOS NA CIDADE DE BAGÉ/RS**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 13 de setembro de 2024

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Maurício Couto Polidori (Orientador)

Doutor em Ecologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Prof. Dr.a Lisandra Fachinello Krebs (Membro interno)

Doutora em Arquitetura pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Prof. Dr.a Ana Paula Polidori Zechlinski (Membro externo)

Doutora em Planejamento urbano e regional pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Prof. Dr. Maurício Meurer (Membro externo)

Doutor em Geografia pela Universidade Lumière Lyon 2

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Pelotas e ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura & Urbanismo, pelo fomento a esta pesquisa.

Ao meu orientador, Maurício Couto Polidori, primeiramente por acreditar no meu potencial, além do entusiasmo com o tema, a confiança e a parceria com esse estudo.

À minha mãe, Giovana Delpino, por acreditar em mim e sempre me apoiar em tudo que me proponho a fazer, sendo meu porto seguro, onde quer que eu esteja.

À minha família, especialmente meus irmãos, Luiz Felipe e João Pedro, meu pai Luiz Neider e minha cunhada Natali, que assumiram as minhas responsabilidades na empresa para que eu pudesse realizar esse sonho.

Ao meu avô, Januário Maia Delpino (*in memoriam*), por ter sempre se preocupado com meu bem-estar, me oferecendo suas melhores colheitas da horta antes de eu voltar à Pelotas e por toda a felicidade que ele exalava quando o visitava no campo.

À Laura e ao Gabriel, que foram grandes parceiros em desbravar Pelotas e importantes para torná-la meu lar durante o tempo do mestrado.

Às minhas amigas Caroline, Pâmela, Rebeca e Stéfani, que ouviram minhas angústias, me incentivaram a seguir em frente e vibraram com as minhas vitórias.

## RESUMO

Este trabalho trata de características urbanas e ambientais em áreas com potencial de renaturalização de rios urbanos na cidade de Bagé/RS, com o objetivo principal de identificar essas características, incluindo também os objetivos específicos de abordar os diferentes conceitos de renaturalização de rios, além de apresentar os projetos realizados. Para isso, estuda os conceitos de intervenções em cursos d'água e apresenta projetos de renaturalização de rios, realizados dentro e fora do Brasil, para identificar suas particularidades e recorrências. Em seguida, é feito um estudo de caso único, na área urbana de Bagé, RS, cidade de fronteira entre o Brasil e o Uruguai, fracionado por quatro sub-bacias, de modo a adotá-las como unidades espaciais de pesquisa e permitir a análise comparada entre os seus resultados. Nessas sub-bacias estão delimitadas áreas de trabalho, mediante a identificação de áreas de maior suscetibilidade à inundações, pela sua importância para o ecossistema e proteção contra inundações, particularmente evidentes, no ano de 2024. Desse modo, o conjunto da pesquisa encontra justificativa acadêmica, na lacuna do conhecimento quanto às pesquisas específicas sobre renaturalização de rios no Brasil, capazes de gerar planos adaptados às condições brasileiras e justificativa social, pelo aumento da qualidade de vida, retorno da qualidade da água, requalificação de áreas, gerenciamento de risco de inundações e conscientização ambiental. Embora como objetivos secundários, a identificação de sub-bacias urbanas, linhas de drenagem e áreas de suscetibilidade à inundações, assumem importância na metodologia e nos resultados, vista a necessidade de delimitação espacial do objeto de estudo empírico, para o qual se dirigem os esforços de identificação de áreas com potencial para renaturalização e de suas características urbanas e ambientais. Nesse caminho, a partir dos estudos de caso apresentados e da pesquisa bibliográfica, foram assumidos os seguintes fatores a investigar, nas áreas de suscetibilidade a inundações, de cada sub-bacia: parcelamento e uso do solo, índices urbanos, infraestrutura viária, altitude, declividade, áreas construídas e espaços livres. Realizadas análises espaciais, com apoio em técnicas de geoprocessamento e argumentos qualitativos, a investigação alcança seus resultados, os quais indicam que as áreas de borda são locais que demonstram maiores possibilidades para o processo de renaturalização, por serem encontradas glebas maiores, com maior acúmulo de lotes vacantes, menor taxa de ocupação, áreas construídas e número de habitantes; por conterem vias sem revestimento de pavimentação, capazes de permitir a permeabilidade do solo, e disponibilidade de mais de 70% de espaços livres, quando comparadas às áreas centrais. Ao final, a investigação reconhece a necessidade de ampliação do escopo do trabalho, para aprofundar o campo teórico e replicar os estudos noutras cidades, principalmente na faixa de fronteira entre o Brasil e o Uruguai. Por fim, o autor espera, com essa pesquisa, contribuir com a melhoria da qualidade de vida nas cidades, destacando a importância dos processos de renaturalização de rios urbanos, conhecendo melhor suas características urbanas e ambientais.

**Palavras-chave:** renaturalização; rios urbanos; características urbanas e ambientais.

## ABSTRACT

This research deals with urban and environmental characteristics in areas with potential for renaturalization of urban rivers in the city of Bagé/RS, with the main objective of identifying these characteristics, also including the specific objectives of addressing the different concepts of river renaturalization, in addition to presenting the executed projects. To accomplish this, it studies the concepts of interventions in watercourses and presents river renaturalization projects, executed inside and outside Brazil, to identify their particularities and recurrences. Then, a single case study is performed in the urban area of Bagé, RS, a city on the border between Brazil and Uruguay, divided into four sub-basins, in order to adopt them as spatial units of research and allow for comparative analysis between their results. In these sub-basins, work areas are delimited by identifying areas that are most susceptible to flooding, due to their importance for the ecosystem and protection against flooding, which was particularly evident in 2024. Thus, the research as a whole finds academic justification in the knowledge gap regarding specific research on river naturalization in Brazil, capable of generating plans adapted to Brazilian conditions, and social justification, due to the increase in quality of life, return of water quality, requalification of areas, flood risk management and environmental awareness. Although they are secondary objectives, the identification of urban sub-basins, drainage lines and areas susceptible to flooding assume importance in the methodology and results, given the need for spatial delimitation of the object of empirical study, towards which efforts are directed to identify areas with potential for renaturalization and their urban and environmental characteristics. In this way, based on the case studies presented and the bibliographic research, the following factors were assumed to be investigated in the areas susceptible to flooding in each sub-basin: land subdivisions and use, urban indexes, road infrastructure, altitude, slope, built-up areas and open spaces. After the spatial analyses were done, supported by geoprocessing techniques and qualitative and quantitative arguments, the investigation reached its results, which indicate that the border areas are places that demonstrate greater possibilities for the river renaturalization process, as they contain larger plots of land, with a greater accumulation of vacant lots, lower occupancy rates, built-up areas and number of inhabitants; because they contain unpaved roads, capable of allowing soil permeability, and availability of more than 70% of open spaces, when compared to the central areas. In the end, the investigation recognizes the need to expand the scope of the work, to deepen the theoretical field and replicate the studies in other cities, mainly in the border area between Brazil and Uruguay. Finally, the author hopes, with this research, to contribute to improving the quality of life in cities, highlighting the importance of renaturalization processes.

**Keywords:** renaturalization; urban rivers; urban and environmental characteristics.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Tipos de intervenções em corpos d'água.....	27
Figura 2	Diferença entre enchente e inundação.....	29
Figura 3	Linhas de cume e centros de distribuição (em vermelho), talvegue e centros de encontro (em azul) no terreno.....	34
Figura 4	Revitalização do rio Isar. No ano 2000: antes da revitalização. No ano 2019: após a revitalização.....	37
Figura 5	Recuperação das sinuosidades em uma parte do Rio Besos. No ano 1992: antes da recuperação. No ano 2019: após a recuperação.....	38
Figura 6	Variante “rede-verde-azul”, em desenho realizado por Noel van Dooren.....	39
Figura 7	Variante “várzea do Emscher”, em desenho realizado por Noel van Dooren.....	40
Figura 8	Variante “rio selvagem”, em desenho realizado por Noel van Dooren.....	40
Figura 9	Renaturalização de uma parte de um córrego do Rio Emscher aplicando a variante “rio selvagem” .....	41
Figura 10	Modelo digital do parque linear do Cheonggyecheon.....	43
Figura 11	Antes (a esquerda) e depois (a direita) de um dos córregos beneficiados pelo Programa Córrego Limpo.....	45
Figura 12	Recomposição das margens do rio São Francisco.....	47
Figura 13	Etapas da pesquisa e processo de análise.....	53
Figura 14	O Pampa no Rio Grande do Sul.....	57
Figura 15	Base cartográfica das bacias do Rio Grande do Sul, Brasil	58
Figura 16	Faixa de fronteira do Estado do Rio Grande do Sul.....	59
Figura 17	Mapeamento entre corpos d'água e áreas urbanizadas em Santana do Livramento, Quaraí e Bagé.....	60
Figura 18	Imagem de satélite do perímetro urbano de Bagé, RS.....	62
Figura 19	Mapeamento de corpos d'água e urbanização em Bagé, RS.....	63

Figura 20	Bacia hidrográfica do Rio Negro, RS.....	64
Figura 21	Expansão dos traçados da cidade de Bagé, RS.....	65
Figura 22	MDE recortado para a região de Bagé, RS.....	69
Figura 23	Mapa de LDD feito utilizando o Hand Model.....	70
Figura 24	Mapa de fluxo acumulado para Bagé, RS.....	71
Figura 25	Diferença de limiares de cálculo de rede de drenagem para a cidade de Bagé, RS.....	72
Figura 26	Reclassificação dos três mapas HAND gerados com três limiares diferentes.....	74
Figura 27	Diferença de limiar na área central de Bagé, RS.....	75
Figura 28	Pontos de enchentes e inundações.....	76
Figura 29	Diferença da reclassificação pelo proposto por Silva et al. (2013) .....	77
Figura 30	Mapa de suscetibilidade a inundações para a cidade de Bagé, RS.....	78
Figura 31	Sub-bacias do arroio Bagé.....	79
Figura 32	Sub-bacias escolhidas para a análise.....	80
Figura 33	Sub-bacias e área de inundação.....	81
Figura 34	Mapa de parcelamento do solo presente nas quatro sub-bacias do Arroio Bagé.....	85
Figura 35	Gráfico de parcelamento do solo em alta suscetibilidade de inundação .....	86
Figura 36	Gráfico de parcelamento do solo em média suscetibilidade de inundação .....	86
Figura 37	Mapa de parcelamento do solo na sub-bacia 2.....	87
Figura 38	Mapa de parcelamento do solo em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 2.....	88
Figura 39	Mapa de parcelamento do solo na sub-bacia 3.....	89
Figura 40	Mapa de parcelamento do solo em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 3.....	89
Figura 41	Mapa de parcelamento do solo na sub-bacia 4.....	90
Figura 42	Mapa de parcelamento do solo em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 4.....	91
Figura 43	Mapa de parcelamento do solo na sub-bacia 6.....	92

Figura 44	Mapa de parcelamento do solo em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 6.....	92
Figura 45	Mapa de uso do solo presente nas quatro sub-bacias do Arroio Bagé.....	94
Figura 46	Gráfico de uso do solo em alta suscetibilidade de inundação.....	95
Figura 47	Gráfico de uso do solo em média suscetibilidade de inundação.....	95
Figura 48	Mapa de uso do solo na sub-bacia 2.....	96
Figura 49	Mapa de uso do solo em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 2.....	96
Figura 50	Mapa de uso do solo na sub-bacia 3.....	98
Figura 51	Mapa de uso do solo em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 3.....	98
Figura 52	Mapa de uso do solo na sub-bacia 4.....	99
Figura 53	Mapa de uso do solo em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 4.....	100
Figura 54	Mapa de uso do solo na sub-bacia 6.....	101
Figura 55	Mapa de uso do solo em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 6.....	101
Figura 56	Zonas urbanas em quatro sub-bacias do Arroio Bagé.....	104
Figura 57	Zonas do Plano Diretor presentes na sub-bacia 2.....	105
Figura 58	Zonas do Plano Diretor presentes na sub-bacia 3.....	106
Figura 59	Zonas do Plano Diretor presentes na sub-bacia 4.....	108
Figura 60	Zonas do Plano Diretor presentes na sub-bacia 6.....	109
Figura 61	Setores censitários presentes nas quatro sub-bacias estudadas.....	111
Figura 62	Gráfico de população em áreas de inundação das sub-bacias .....	112
Figura 63	Setores censitários presentes na sub-bacia 2.....	113
Figura 64	Setores censitários presentes na sub-bacia 3.....	114
Figura 65	Setores censitários presentes na sub-bacia 4.....	115
Figura 66	Setores censitários presentes na sub-bacia 6.....	116

Figura 67	Mapa geral de infraestrutura viária presente nas sub-bacias 2, 3, 4 e 6.....	118
Figura 68	Gráfico de tipo de revestimento de pavimentação viária em alta suscetibilidade de inundação .....	119
Figura 69	Gráfico de tipo de revestimento de pavimentação viária em média suscetibilidade de inundação .....	119
Figura 70	Tipos de pavimentações na sub-bacia 2.....	120
Figura 71	Tipos de pavimentação em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 2.....	121
Figura 72	Tipos de pavimentações na sub-bacia 3.....	122
Figura 73	Tipos de pavimentação em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 3.....	122
Figura 74	Tipos de pavimentações na sub-bacia 4.....	124
Figura 75	Tipos de pavimentação em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 4.....	124
Figura 76	Tipos de pavimentações na sub-bacia 6.....	126
Figura 77	Tipos de pavimentação em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 6.....	126
Figura 78	Variação de altitude nas quatro sub-bacias estudadas.....	128
Figura 79	Mapa de altitude da sub-bacia 2.....	129
Figura 80	Mapa de altitude da sub-bacia 3.....	130
Figura 81	Mapa de altitude da sub-bacia 4.....	131
Figura 82	Mapa de altitude da sub-bacia 6.....	132
Figura 83	Mapa de declividade nas quatro sub-bacias estudadas.....	133
Figura 84	Mapa de declividade da sub-bacia 2.....	134
Figura 85	Mapa de declividade da sub-bacia 3.....	135
Figura 86	Mapa de declividade da sub-bacia 4.....	136
Figura 87	Mapa de declividade da sub-bacia 6.....	137
Figura 88	Mapa de áreas construídas nas sub-bacias 2, 3, 4 e 6.....	138
Figura 89	Gráfico de áreas construídas (m <sup>2</sup> ) em áreas de alta e média suscetibilidade de inundação nas sub-bacias.....	139
Figura 90	Mapa de área construída na sub-bacia 2.....	140
Figura 91	Áreas construídas em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 2.....	140
Figura 92	Mapa de área construída na sub-bacia 3.....	141

Figura 93	Áreas construídas em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 3.....	142
Figura 94	Mapa de área construída na sub-bacia 4.....	143
Figura 95	Áreas construídas em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 4.....	143
Figura 96	Mapa de área construída na sub-bacia 6.....	144
Figura 97	Áreas construídas em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 6.....	145
Figura 98	Mapa de espaços livres nas sub-bacias 2, 3, 4 e 6.....	147
Figura 99	Gráfico de espaços livres (m <sup>2</sup> ) em áreas suscetíveis de inundação nas sub-bacias.....	148
Figura 100	Mapa de espaços livres na sub-bacia 2.....	149
Figura 101	Espaços livres em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 2.....	149
Figura 102	Mapa de espaços livres na sub-bacia 3.....	150
Figura 103	Espaços livres em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 3.....	151
Figura 104	Mapa de espaços livres na sub-bacia 4.....	152
Figura 105	Espaços livres em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 4.....	152
Figura 106	Mapa de espaços livres na sub-bacia 6.....	153
Figura 107	Espaços livres em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 6.....	154

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Analytic Hierarchical Process
ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Área de Proteção Permanente
DEM	Digital Elevation Model
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
HAND	Height Above the Nearest Drainage
LDD	Local Drain Direction
MDT	Modelo Digital de Terreno
MDE	Modelo Digital de Elevação
MRV	Modelo de Reclassificação de Variáveis
ONG	Organizações Não Governamentais
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SRTM	Shuttle Radar Topographic Mission
SUDS	Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
UTM	Universal Transversa de Mercator
WGS	World Geodetic System

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>16</b>
1.1	Objetivos de pesquisa .....	18
1.2	Questões de pesquisa e resultados esperados .....	19
1.3	Objeto de estudo .....	21
1.4	Organização da Investigação .....	21
<b>2</b>	<b>Intervenções em cursos d'água, renaturalização, características urbanas e ambientais .....</b>	<b>23</b>
2.1	Conceitos de intervenções em cursos d'água urbanos .....	23
2.2	Enchentes e inundações urbanas .....	28
2.3	Características urbanas e ambientais .....	30
2.4	Práticas de renaturalização no mundo e no Brasil .....	35
2.4.1	Exemplos de projeto de renaturalização no mundo .....	36
2.4.2	Exemplos de projetos de renaturalização no Brasil .....	44
<b>3</b>	<b>Metodologia de pesquisa.....</b>	<b>49</b>
3.1	Etapas de pesquisa .....	51
3.2	Construção do processo de análise .....	52
3.1	Levantamento de dados cartográficos .....	53
<b>4</b>	<b>Delimitação do estudo de caso, mapeamento de inundações, dados cartográficos e delimitação das sub-bacias do Arroio Bagé .....</b>	<b>56</b>
4.1	Delimitação do estudo de caso .....	56
4.1.1	Bioma Pampa .....	56
4.1.2	Bacia do Rio Uruguai.....	57
4.1.3	Cidades de fronteira entre o Brasil e o Uruguai, dentro da Região Hidrográfica da Bacia do Rio Uruguai .....	59
4.1.4	Características geomorfológicas comuns em Bagé, Santana do Livramento e Quaraí.....	60
4.1.5	Bagé .....	61
4.2	Mapeamento de inundações .....	65
4.3	Modelo HAND.....	66
4.4	Método AHP .....	67
4.5	Aplicação do modelo HAND .....	68
4.5.1	Validação do Modelo Hidráulico por dados históricos.....	72

4.6	Delimitação das sub-bacias do Arroio Bagé.....	79
<b>5</b>	<b>Análise das características urbanas e ambientais em áreas de inundação de sub-bacias do Arroio Bagé .....</b>	<b>82</b>
5.1	Parcelamento do solo.....	84
5.2	Uso e ocupação do solo .....	93
5.3	Índices urbanos .....	103
5.4	População.....	110
5.5	Infraestrutura viária.....	117
5.6	Altitude e declividade.....	127
5.7	Áreas construídas.....	138
5.8	Espaços livres .....	146
<b>6</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>158</b>
	<b>Referências.....</b>	<b>164</b>

## 1 Introdução

Os cursos d'água são reconhecidos como elementos fundamentais das cidades, capazes de criar conexões estruturais e funcionais com outros componentes da matriz espacial. A melhoria destes ambientes tem importância para otimizar o planejamento, reduzir o risco e o combate de inundação, permitindo que a cidade lide melhor com a sua rede de drenagem, contribuindo para reduzir os efeitos negativos da ilha de calor urbana, além de melhorar as oportunidades de lazer nas margens de canais naturais e fortemente modificados, incluindo os habitats aquáticos e ribeirinhos (Magdaleno, 2017).

Com o processo de urbanização no Brasil, houve a geração de problemas concentrados nas cidades, principalmente nas periferias. Garcias e Afonso (2013) contam que o modo de crescimento nas cidades brasileiras impactou diretamente para a degradação dos rios. Dentre as causas, cita-se crescimento urbano sem considerar fatores da natureza, em conjunto com a exploração imobiliária.

Na dinâmica de expansão urbana promovida pelo mercado imobiliário, espaços inicialmente desfavoráveis à urbanização se tornam atraentes à conversão urbana, como observado nas áreas ribeirinhas próximas ao centro da cidade, que acabam por ser convertidas em áreas urbanizadas, apenas com interesse de alcançar negócios mais lucrativos (Alberti, 1999). Nesse contexto, é crucial considerar o modo de produção da cidade capitalista, para pontuar observações relacionadas à degradação dos corpos de água. Esse modo de produção garante que o capital se expanda de dentro para fora, onde a periferia fica circunscrita em relação ao centro, onde barreiras urbanas e ambientais tendem a ser destruídas para o desenvolvimento das forças de produção e da exploração dos fatores naturais (Harvey, 2005). Através da lei da oferta e demanda, a cidade capitalista tende a construir uma paisagem física apropriada para atrair investimentos e, subsequentemente, destruí-la para abrir novos espaços para a acumulação de capital. Harvey (2005) vem argumentando que esse processo está ligado à sobrevivência do capitalismo, onde as intervenções no “ambiente geográfico” tornam-se necessárias para a adaptação das necessidades de acumulação adicional.

A renaturalização de rios e córregos urbanos, segundo Binder (1998), busca o retorno mais próximo ao período anterior à degradação das águas correntes e seus entornos, os quais foram modificados pelas ações humanas, considerando aspectos ecológicos referentes aos cursos d'água e ao solo, à vegetação e à fauna. O autor

declara que a importância na preservação da biota natural ocorre através dos projetos que preservam as áreas naturais de inundação e o impedimento de quaisquer usos de solo que inviabilizem esse feito. Buscam-se possibilidades de renaturalizar o leito dos rios, as zonas marginais e as áreas de inundação, através de objetivos ambientais que reduzam os riscos em zonas urbanas e vias de transporte, de modo a não causar problemas para a população.

Garcias e Afonso (2013) citam alguns exemplos de projetos de renaturalização planejados e executados mundialmente. A partir de 1970, com o estudo do tema, cidades europeias começaram o processo de recuperação de seus rios degradados, como é o caso dos rios Isar, Tâmsa e Reno. O ponto de interesse inicial é a limpeza das águas através da instalação de redes de tratamento de esgoto, a fim de reduzir o despejo e o impacto a jusante. No Brasil, alguns projetos estão em estudo e execução, através dos planos diretores das bacias hidrográficas, como o Rio Tietê e o Rio São Francisco.

Essas reflexões reforçam a importância de realizar melhorias nos corpos d'água, buscando reabilitar ambientes degradados e restaurar suas características, garantindo a manutenção e sustentabilidade para as próximas gerações.

O trabalho tem sua justificativa social baseada nos benefícios que a renaturalização de rios pode oferecer a população, melhorando a qualidade de vida, principalmente, daqueles que residem em áreas suscetíveis a inundações. O retorno da qualidade da água, o gerenciamento de risco de inundações, a requalificação de áreas ribeirinhas e a conscientização ambiental são questões que a renaturalização busca resolver. Contudo, a justificativa acadêmica deste trabalho se baseia na significativa lacuna do conhecimento, quanto às pesquisas específicas sobre renaturalização de rios no Brasil. Há uma grande necessidade de estudos que gerem planos adaptados às condições brasileiras, levando em consideração as particularidades climáticas, geográficas e socioeconômicas do país. O atraso do Brasil em relação a outras regiões, como a Europa, que já estudam e aplicam a renaturalização de forma efetiva em seus cursos d'água, evidencia a necessidade de avanços nessa área.

Durante a escrita deste trabalho, o estado do Rio Grande do Sul enfrentou severas enchentes que atingiram diversas áreas urbanas e causaram danos significativos em 478 municípios (Defesa Civil do Estado do Rio Grande do Sul, 2024). Estes acontecimentos, embora não estudados aqui, fazem refletir sobre o processo

de produção do espaço urbano e sobre o futuro da qualidade de vida nas cidades, o que reforça a importância de entender as relações entre urbanização e rios, identificando suas bacias, sub-bacias e características ambientais e urbanas. Nesse caminho, o trabalho está desenvolvido com o tema de renaturalização de cursos d'água urbanos, os quais frequentemente têm sua área de inundação ocupada pela urbanização, causando degradação ambiental e prejudicando a qualidade de vida nas cidades.

### 1.1 Objetivos de pesquisa

A partir do tema renaturalização de rios urbanos apresentado, o objetivo principal desta pesquisa é identificar as características urbanas e ambientais presentes nas áreas de inundação de rios urbanos, as quais podem ser fundamentais para os processos de renaturalização. Desse modo, as áreas de inundação de rios urbanos serão tratadas, nesse trabalho, como áreas com potencial para renaturalização, sendo suas características descritas e estudadas mediante análises espaciais e instrumentos de geoprocessamento.

Para isso, foi proposta a abordagem empírica para realizar o mapeamento, coleta e identificação dos dados urbanos e ambientais nas áreas com potencial de renaturalização, com o apoio da revisão de pesquisas sobre os conceitos relacionados ao tema e ao estudo de práticas aplicadas ao planejamento urbano nestas áreas.

Os objetivos específicos deste trabalho envolvem uma revisão abrangente das intervenções em corpos d'água, reunindo as diferenças entre os conceitos relacionados a essa temática, aproximando-os à ecologia de paisagem e ao planejamento urbano. A pesquisa aborda os diversos temas e conceitos referentes à renaturalização de rios urbanos, a partir de 1930, além de revisar os conceitos de morfologia urbana, permitindo a identificação das características urbanas e ambientais presentes no espaço urbano que poderão também ser encontradas nas áreas de inundação de rios urbanos.

Além disso, o trabalho apresenta projetos de cursos de água já renaturalizados, a fim de compreender as dinâmicas morfológicas e sociais particulares dos casos estudados, começando pelos primeiros projetos realizados fora do Brasil e em seguida, analisando os projetos em andamento no país. A pesquisa também se concentra na identificação, por meio da modelagem urbana, de áreas inundáveis em

Bagé/RS, uma cidade média na fronteira entre Brasil e Uruguai, que servirá como área de estudo para identificar áreas com potencial de renaturalização.

Para delimitar o espaço do estudo de caso único, são mapeadas as sub-bacias do arroio Bagé. Por fim, o trabalho se dedica a identificar as características urbanas e ambientais que ocorrem nessas áreas, analisando: parcelamento do solo, tipologias de uso do solo, indicadores de taxa de ocupação e índice de aproveitamento, população, fatores geomorfológicos como altitude e declividade, áreas construídas e espaços livres.

## 1.2 Questões de pesquisa e resultados esperados

Em busca de alcançar os objetivos traçados neste trabalho, estão enunciadas três questões que serão perseguidas ao longo da pesquisa. Primeiramente, é essencial entender o que é a renaturalização de rios urbanos e quais conceitos parecem ser aplicados ao planejamento urbano para alcançar cidades com maior qualidade ambiental e menor possibilidade de desastres por inundações. A hipótese é de que o processo de renaturalização necessita de espaços livres na cidade para a recuperação da natureza, tratamento das águas e preservação do espaço natural. No entanto, é esperado um conflito entre o conceito de renaturalização e a realidade da produção do solo urbano pelo processo capitalista, que muitas vezes prioriza o desenvolvimento econômico sobre a sustentabilidade ambiental, já que a pressão para maximizar o uso do solo urbano, impulsionada pela demanda habitacional e o interesse capitalista, podem levar à degradação de áreas ecologicamente sensíveis.

Em segundo lugar, é crucial identificar as particularidades encontradas em projetos de renaturalização e o que as difere de outros tipos de intervenção nos cursos d'água, auxiliando na concepção de cidades para o futuro. Projetos de renaturalização destacam-se por promover a reconexão dos rios com suas planícies de inundação, aumentar as áreas verdes urbanas e oferecer benefícios ecológicos e sociais significativos. As enchentes ocorridas no estado do Rio Grande do Sul, em maio de 2024, causaram danos importantes nos municípios, destacando a necessidade de estratégias mais eficazes para a gestão de águas pluviais e mitigação de desastres naturais. Um processo importante nesse contexto é a renaturalização, que pode ajudar a absorver o excesso de água durante eventos de chuva intensa, além de

diminuir o impacto das enchentes a jusante e proteger tanto as áreas urbanas quanto as rurais.

A terceira questão assume as áreas de inundação dos rios urbanos como áreas com potencial de renaturalização, investigando suas características urbanas e ambientais e como elas podem auxiliar na compreensão da cidade e influenciar o processo de planejamento urbano. Como hipótese para essa questão, nas áreas de inundação de cursos d'água urbanos são esperadas características de tipo ambiental e urbano, como está descrito nos parágrafos a seguir.

No tipo ambiental são importantes os espaços livres (com graus de modificação variados e contíguos à urbanização), que são fundamentais para uma possível renaturalização, sendo que os maiores potenciais parecem estar no entorno dos cursos de água, em áreas urbanizadas; também são importantes a altitude e a declividade, onde baixas altitudes (relacionadas às áreas de entorno) e declividades acentuadas parecem ser as áreas de maior necessidade de receberem o processo de renaturalização.

No tipo urbano são esperadas funções urbanas diversificadas, com predominância do uso habitacional e presença de usos comerciais, misto, industriais e institucionais. Assumindo que as áreas de estudo integram parte da cidade onde ocorrem desigualdades socioespaciais, são esperados conflitos entre o grau de ocupação dos lotes e a necessidade de permeabilidade do solo, onde regiões próximas ao centro da cidade esperam-se altos índices de taxa de ocupação afetando a quantidade de solo permeável disponível; conflitos entre dotação de infraestrutura viária e a prevalência de fatores naturais, onde áreas de maior infraestrutura viária, como asfalto, tem maior importância e resistência à permanência quando comparada a áreas vulneráveis com pouca ou nenhuma infraestrutura viária; conflitos entre a dotação de equipamentos urbanos e o grau de atração que exercem sobre a população, implicando na redução de espaços livres em áreas com potencial de renaturalização, onde equipamentos de grande importância econômica para o Município atraem novos parcelamentos do solo e alteram a disponibilidade de espaços livres.

Desse modo, a renaturalização de rios urbanos emerge como uma estratégia crucial para promover a sustentabilidade ambiental nas cidades, mitigando riscos de inundações e melhorando a qualidade de vida urbana, ao mesmo tempo em que enfrenta desafios significativos relacionados à características urbanas.

### 1.3 Objeto de estudo

Para responder as questões de pesquisa e os resultados esperados, a escolha do objeto de estudo será desenvolvida no item 4.1 (delimitação do estudo de caso), do Capítulo 4, o qual este trabalho está dedicado a área urbana da cidade de Bagé/RS, que tem como características estar situada na Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai, no Bioma Pampa, e considerada uma das cidades de fronteira entre o Brasil e o Uruguai.

Como características da área urbana da cidade de Bagé/RS, o Bioma Pampa conta com vegetação densa concentrada nas margens dos corpos d'água, sendo um contexto interessante para a investigação do trabalho, que abrange principalmente as áreas ribeirinhas. Além disso, a área urbana está situada na região hidrográfica da Bacia do Rio Uruguai, que abrange a maior parte da faixa de fronteira entre o Brasil e o Uruguai, locais que contêm a problemática de terem suas áreas urbanizadas avançando sobre os corpos d'água, tornando-se vulneráveis a inundações.

### 1.4 Organização da Investigação

A investigação está organizada mediante essa introdução, uma revisão bibliográfica sobre os temas centrais da pesquisa, os materiais e métodos, a análise das características urbanas e ambientais e, por fim, a conclusão.

#### Capítulo 01 – Introdução

Apresenta o tema e os problemas referentes à pesquisa. Cita os objetivos principais e secundários, além da justificativa, questões e hipóteses que a dissertação busca responder. São apresentados os resultados esperados a partir das questões e por fim, é apresentada a estrutura da pesquisa.

#### Capítulo 02 – Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica constitui o referencial teórico do trabalho e está dividida em duas partes: a primeira apresenta as diferentes ideias relacionadas às intervenções em cursos d'água e busca entender o conceito de renaturalização de rios e as nuances do que o torna, de fato, renaturalizado, além de apresentar os conceitos e diferenças entre enchentes e inundações, seguido pelas características

urbanas e ambientais. A segunda etapa apresenta um conjunto de projetos de renaturalização no mundo, inclusive de projetos em andamento no Brasil.

#### Capítulo 03 – Metodologia

Esse capítulo apresenta os materiais, informações e métodos utilizados, de abordagem descritiva e exploratória, com as etapas de trabalho necessárias para alcançar os resultados.

#### Capítulo 04 – Mapeamento de inundações e dados cartográficos

O conteúdo do capítulo 4 delimita o estudo de caso, mapeia a cidade escolhida na pesquisa e aplica um modelo hidráulico pela adição de dados espaciais para processamento de simulações de áreas inundáveis, que servirão como dados de entrada para as áreas com potencial de serem renaturalizadas. Com o relacionamento de variáveis coletadas e processadas em ambiente de sistemas de informação geográfica (SIG), sistematiza os resultados e compara com os esperados para elaborar conclusões.

#### Capítulo 05 – Análise das características urbanas e ambientais

Apresenta as análises, apontando as características urbanas e ambientais nas áreas consideradas com potencial de serem renaturalizadas, na cidade de Bagé. Através da retomada das questões de pesquisa, compara os resultados alcançados com os esperados somados à análise dos dados coletados e evidencia a relação de cada característica com as áreas com potencial de renaturalização.

#### Capítulo 06 – Conclusões

O capítulo de conclusões sintetiza as principais contribuições do trabalho, retomando os objetivos e questões de pesquisa, destacando os principais resultados alcançados. Indica também as limitações encontradas no percurso e possibilidades de dar continuidade à investigação.

## **2 Intervenções em cursos d'água, renaturalização, características urbanas e ambientais**

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre conceitos referentes às intervenções em cursos d'água, principalmente relacionados ao processo de renaturalização e às características urbanas e ambientais, além de mostrar exemplos de renaturalização no mundo e no Brasil. Desse modo, esse capítulo mapeia e contextualiza o conhecimento existente referente aos estudos das intervenções em cursos d'água e identifica argumentos que ajudem a responder às questões de pesquisa e os resultados esperados.

### **2.1 Conceitos de intervenções em cursos d'água urbanos**

Para entender o termo renaturalização de rios urbanos, estão listados diferentes conceitos relacionados às intervenções em cursos d'água, onde cada um contém sua singularidade e se aplica a determinado objetivo.

Para Binder (2001), em grande parte dos rios da Europa Central, no início do século XX, diversos rios foram retificados em busca de proteger de enchentes zonas urbanas, terras agrícolas e vias de transporte. Muitas vezes, as margens eram revestidas e os leitos se tornavam perfis regulares, sendo que essa uniformização do perfil e a redução no comprimento do rio aumentam a velocidade da água e trazem impactos negativos para a biodiversidade, aumentando a erosão e o assoreamento à jusante. Junto a isso, Walsh *et al.* (2005) declaram que a canalização de córregos urbanos reduz a capacidade de autopurificação e deteriora a qualidade da água. De modo similar, as bacias altamente impermeáveis reduzem a retenção de água e aumentam os fluxos de pico de águas pluviais, gerando impactos cumulativos na escala de captação e amplificando o processo de inundações.

Alguns fatores que têm contribuído para buscar mudanças nesse modo de modificar os rios urbanos, podendo ser citados os seguintes: avanço das técnicas de tratamento de efluentes, que ajudaram a eliminar poluentes não alcançáveis anteriormente; aumento do campo do conhecimento de águas, ecologia da paisagem e proteção da natureza, inclusive as enchentes, que reafirmam a importância no tema; mudança na relação do tempo livre, cujo aumento implicou em mudanças comportamentais, notadamente em países europeus, onde foram demandados mais

espaços para o lazer e convívio em espaços abertos, além de avanços na consciência sobre relações entre saúde e possibilidade de permanência em espaços públicos (Binder, 2001).

Nesse caminho de busca de novas relações entre cidade e natureza, particularmente entre urbanização e águas, quatro tipos de intervenções têm sido concebidos, como relatam Porto e Silva (2020), os quais são resumidos a seguir e ilustrados na Figura 1, adiante:

- a renaturalização ou restauro, através do qual é buscado um retorno do corpo d'água o mais próximo da sua condição natural, a qual é assumida como a anterior do processo de degradação;
- a reabilitação, a qual busca reestabelecer as condições físicas, químicas e biológicas do arroio, buscando reestabelecer suas condições sanitárias;
- a revitalização, a qual busca reintroduzir o canal natural das águas, trazendo novamente vida, sem privar outros tipos de uso, além de reestabelecer as relações entre córrego e paisagem, de modo funcional. O diferencial desse tipo de projeto é abranger outras variáveis, como naturais, urbanas, de gestão e sociais, diretamente no processo de decisão.

Já Garcias e Afonso (2013) uniram mais informações referentes à reabilitação e adicionaram a remediação, em uma ideia que aprofunda o conhecimento sobre a recuperação de rios urbanos:

- a reabilitação é representada por um conjunto de ações que possibilitem, de forma parcial, as condições físicas e biológicas do rio, como é o caso da estabilização das margens, reconfiguração dos meandros, gerenciamento das espécies, remoção de barragens e a proteção da vegetação ripária;
- a remediação ocorre quando o nível de intensidade dos impactos ambientais é alto, inviabilizando o retorno do rio à uma condição próxima da sua originalidade, onde a formação de um novo ambiente modificado é a solução de melhoria alcançável. Esse conceito geralmente é utilizado para o tratamento das águas contaminadas por

poluentes e resíduos, que foram descartados por residências ou indústrias.

É necessário, quando se aborda a restauração para o retorno à condição natural, a explicitação de qual é a referência para o natural. Muhar *et al.* (1995) declaram que o natural não se refere a uma data distante tal qual a Era do Gelo, mas sim a data anterior às extensas alterações ocorridas no ecossistema fluvial, como a canalização e a construção de usinas hidrelétricas, capazes de alterar as características essenciais do rio, como o padrão do canal e as dinâmicas de inundações. Os autores conceituam a restauração de um corpo d'água como um conjunto de medidas que modificam as alterações induzidas pela humanidade aos rios (como controles de inundação), de tal maneira que o funcionamento ecológico pós aplicação das medidas se assemelha ao rio mais natural.

O conceito de restauração fluvial, para Shields *et al.* (2003), indica que o retorno do ecossistema para o mais próximo da condição antes do distúrbio se refere, nos Estados Unidos, aos ambientes anteriores à colonização europeia. Deve-se ter em mente que, devido à dinâmica dos ecossistemas, replicar perfeitamente uma condição passada é impossível, por isso se refere ao retorno mais próximo. A restauração, por ser um processo holístico, não pode ser alcançada apenas com a manipulação isolada de elementos individuais, mas com um conjunto de elementos que restabelecem a estrutura geral, funcional e a dinâmica sustentável do ecossistema. Os mesmos autores comentam sobre o processo de reabilitação e a recuperação assistida, quando ocorre a remoção de uma perturbação para permitir a operação de processos naturais, levando à recuperação da função do ecossistema. Um exemplo é a remoção de gado das zonas ripárias, para propiciar o reaparecimento da vegetação ciliar.

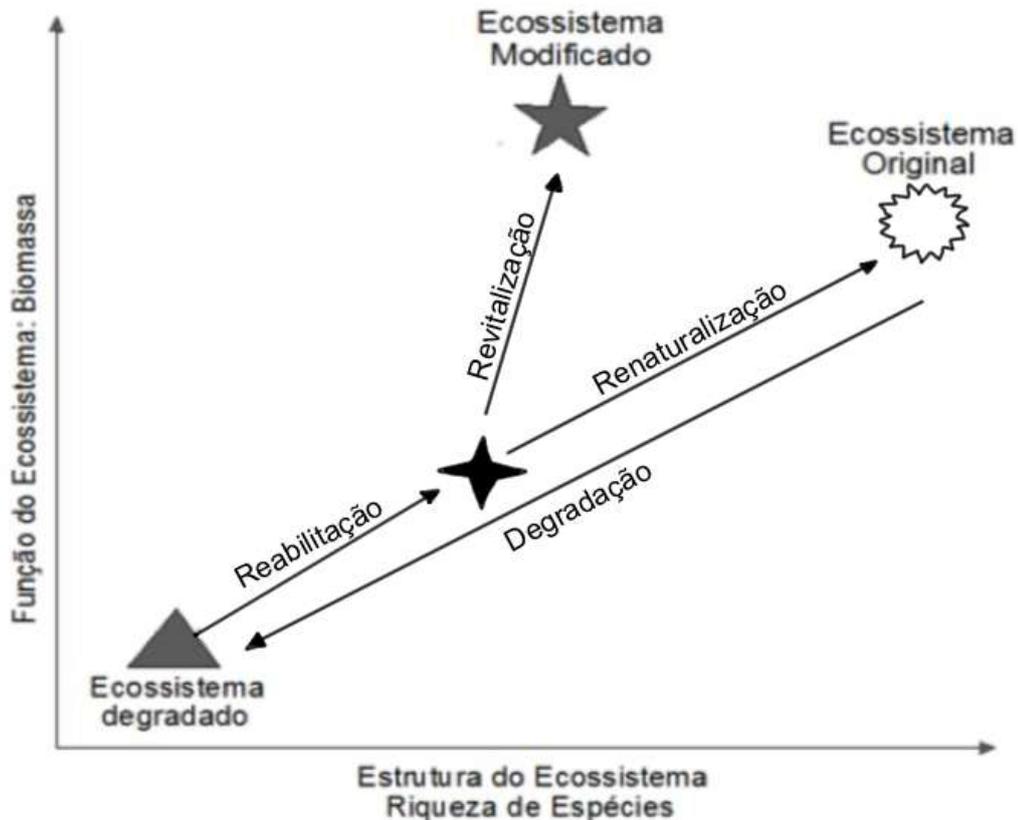
A restauração dos ambientes aquáticos, segundo Palmer *et al.* (2005), tem como objetivo o aumento dos bens e serviços (bacias hidrográficas, solos e rios como "capital natural" que, assim como o capital de manufatura ou financeiro, fornecem um fluxo de benefícios para a sociedade), além de converter os ecossistemas ameaçados para ambientes sustentáveis, a fim de proteger o corpo d'água a montante. O processo é considerado passivo quando as forças hidráulicas naturais atuam e restauram a heterogeneidade natural, ou considerado ativo quando se modifica a forma natural e estrutura do leito, ou quando se introduzem elementos que variem o fluxo de água.

Ao final de 1930 a expressão “obra hidráulica mais naturalizada” passou a fazer parte de publicações e conversas sobre a ciência da natureza e economia das águas. Os esforços entre 1935 e 1945 envolviam assuntos sobre a remodelação dos cursos d’água. Após o fim da guerra essa expressão foi evitada, dando espaço para o termo “*Lebenverbauung*”, que tinha como significado o fortalecimento das margens do arroio, com plantas vivas. Em 1970, com o avanço da problemática das águas urbanas e a melhor conscientização da população sobre as questões ecológicas, começaram a existir muitas críticas sobre o modo que estavam ocorrendo as alterações nos cursos d’água. Alves (2003) conta que foi no começo de 1980 que a renaturalização se tornou temática que se sobrepõe às intervenções nos meios hídricos.

O termo renaturalização é considerado “elástico” por Alves (2003), ao observar que o processo não precisa, em escala fatorial, ir de 0 a 100 (rio degradado ao natural). A importância é que as interferências apontem para o natural, sem que se trate de uma falsa ideia de interferência. Entre os exemplos considerados como renaturalização, para a autora, estão a retirada da calha de um rio, a melhoria da qualidade da água e a ampliação das margens.

Delibas e Tezer (2017) complementam que a renaturalização, como um dos aspectos-chave da ecohidrologia, têm um papel complementar para a reabilitação bem-sucedida do córrego, concentrando-se em trazer um sistema fluvial degradado ao período anterior as degradações, de maneira mais natural possível. A implementação de princípios ecohidrológicos, para renaturalizar o sistema fluvial, aumentaria a retenção de água e garantiria ecologicamente a continuidade do processo do ciclo da água.

Figura 1 - Tipos de intervenções em corpos d'água.



Fonte: produzido pelo Autor (2024), adaptado de Porto e Silva (2020) e Findlay & Taylor (2006).

Para o trabalho proposto nesta investigação, une-se o conceito de renaturalização apresentado por Porto e Silva (2020) e por Alves (2003), onde todos os esforços que atuam na manutenção e preservação dos cursos de água degradados são importantes. Para isso, trata-se de incluir a dinâmica hídrica, o retorno das espécies nativas e o tratamento das águas, além da requalificação de áreas, verificação dos usos do solo e conflitos que possam acontecer com o propósito da renaturalização.

A seguir estão os conceitos de enchentes e inundações, dois fenômenos frequentemente confundidos, mas que possuem características e implicações distintas. No capítulo 4, será feito o mapeamento de inundações na área urbana da cidade de Bagé/RS, necessário para a análise das características urbanas e ambientais.

## 2.2 Enchentes e inundações urbanas

Sanyal e Lu (2004) destacam que as inundações são provavelmente a catástrofe natural mais frequente e devastadora no mundo. Já Jonkman (2005) declara que, em meados de 1990, há a estimativa que eventos de enchentes foram responsáveis pela morte de em torno de 100 mil pessoas, além de afetar diretamente mais de 1,4 bilhão de pessoas mundialmente. O ISDR (2003) alega que, entre os anos de 1973 e 2002, foram registrados 240 eventos de inundação na América do Sul, destacando-se como a região com a terceira maior incidência de inundações, no mundo. No Brasil, entre 1991 e 2010, estima-se que as enchentes afetaram cerca de 40,19% da população atingida por desastres naturais, sendo o principal causador de mortes por desastres naturais no país, representando 58,83% das mortes dessa natureza (UFSC, 2012). A estimativa de perdas por ano no Brasil por esse tipo de catástrofe chega a 1 bilhão de dólares, segundo o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT/CGE, 2002). A ocupação das áreas ribeirinhas e impermeabilização do solo das bacias são os principais motivos que levam às inundações.

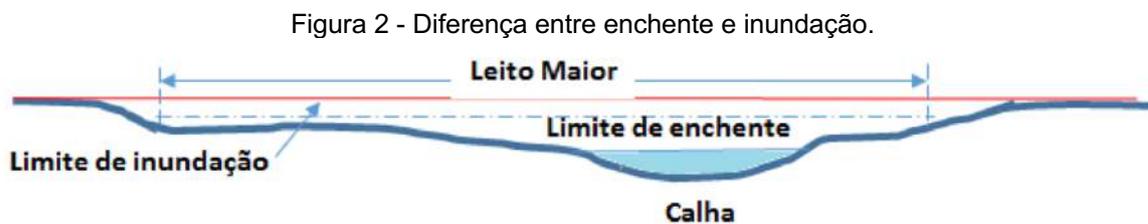
Conforme a variação da precipitação e da capacidade de retenção de uma bacia, as vazões do curso de água também variam, podendo ocorrer inundações em grandes áreas. Embora o cálculo da demanda por áreas adicionais oriente analisar o período de 20 a 25 anos, através de mapas históricos, fotos aéreas ou de satélites, as mudanças climáticas atuais e a ocorrência de eventos extremos têm indicado verificações bem mais detalhadas e atentas a curtos períodos de tempo. Na pior das hipóteses, caso não seja possível garantir todas as áreas adicionais, Binder (2001) declara que podem ser buscadas soluções adaptadas à realidade, como ampliar a margem apenas de um lado, porém, conforme visto nas enchentes ocorridas em 2024, no Rio Grande do Sul, a dinâmica dos rios não obedece regras, sendo necessário adaptar o planejamento urbano, a fim de proteger áreas ribeirinhas e vulneráveis, para garantir que a dinâmica do curso de água não cause destruições às regiões urbanas.

Nas grandes cidades brasileiras, a estruturação do sistema viário ocupou os fundos de vale e transformou os cursos d'água através das canalizações. Cardoso e Baptista (2011) afirmam que as canalizações se têm mostrado insatisfatórias, pela eficiência no sistema de drenagem urbana ser comprometida, principalmente devido às mudanças na ocupação do solo, onde os índices urbanos propiciam o aumento da densidade populacional e reduzem os espaços de escoamento das águas das chuvas.

A impermeabilização do solo e a aceleração do escoamento por meio de condutos faz com que a água chegue no sistema de drenagem de forma acelerada e em maior quantidade, aumentando a frequência de inundações (Tucci, 2003b). Em alguns casos, devido a estes fatores, a inundação ocorre em áreas nunca atingidas, que se tornaram sujeitas devido a ações antrópicas (Souza, 1996).

Uma das alternativas mais utilizadas para intervir nas canalizações é o processo de *descanalização* dos corpos d'água, que permite espriar as águas pluviais que seriam remetidas ao sistema, além de amortecer o pico do hidrograma de vazão e reduzir as inundações de forma natural (Folgado, 2006).

Em busca de definir os significados e diferenças entre inundações e enchentes (Figura 2), Goerl, R. F. e Kobiyama, M. (2005) alegam que a inundação é o transbordamento das águas do curso d'água, geralmente atingindo as planícies de inundação ou áreas de várzea. Já as enchentes ocorrem pela elevação do nível da água do canal através do aumento de vazão, atingindo sua capacidade máxima. O alagamento é definido como o acúmulo momentâneo de água em uma localidade.



Fonte: Licco e Dowell (2015), adaptado de Valente (2009).

Para o trabalho, buscou-se identificar as áreas inundáveis dos cursos d'água urbanos e traduzi-las como potenciais áreas de renaturalização, tanto por serem interfaces imediatas entre urbano e natural, como também por serem áreas destinadas ao fluxo e expansão dos rios, onde a preservação é crucial para o processo de renaturalização. Quando perguntado sobre a importância das áreas ribeirinhas, Binder (2001) deixa claro que é necessário garantir a possibilidade de ampliação do leito do rio, além de recuperar a mata ciliar e, se possível, disponibilizar elementos favoráveis ao lazer nas margens.

As inundações em áreas ribeirinhas fazem parte da dinâmica natural dos corpos hídricos, nos canais de drenagem. Tucci (2003a) diz que os rios possuem dois leitos, sendo que no leito menor a água escorre em grande parte do tempo e no leito maior ocorre risco de inundações, geralmente entre um ano e meio a dois, sendo que

essas estimativas estão sendo revisadas, em função da crise climática. As inundações ribeirinhas ocorrem geralmente em bacias hidrográficas de grande e médio porte (maiores que 500 km<sup>2</sup>), em trechos onde existe baixa declividade e pequena seção de escoamento. Inundações provenientes da drenagem urbana ocorrem em pequenas bacias hidrográficas urbanizadas, entre áreas de até 100 km<sup>2</sup> ou 10.000 ha.

Cengiz (2013) também fala da importância das áreas ribeirinhas, sendo utilizadas como áreas de lazer e recreação pela população, inclusive alega a importância de criar zonas de proteção das áreas mais sensíveis. O mesmo autor declara alguns possíveis usos para estes espaços variando sobre o período de retorno das inundações. Nas inundações mais recorrentes, estes espaços são utilizados para reservas naturais e parques, variando para estradas de pouca circulação para períodos maiores, até estradas maiores e áreas urbanas, cujos tempos de retorno estão instáveis e cada vez menores, considerando os eventos climáticos atuais. Isso demonstra o grau de importância para as áreas a serem renaturalizadas, não sendo exagero considerar as mais próximas dos cursos d'água como as mais importantes.

Para Tucci et al. (1995), a sequência de anos sem inundações se torna suficiente para a reocupação urbana das áreas vulneráveis, sendo o mapeamento de áreas de risco de inundações muito necessário para evitar prejuízos e catástrofes, como está demonstrado nos desastres ocorridos no Rio Grande do Sul, recentemente. Infelizmente, existem poucos investimentos nas áreas atingidas para amenizar os efeitos das enchentes, sejam medidas estruturais como obras de infraestrutura, ou medidas não estruturais, como o mapeamento das áreas de inundação, simulações hidrológicas, planejamento ocupacional para as áreas de risco e, destacadamente, processos de renaturalização.

A seguir está disposto o referencial teórico, referente as características urbanas e ambientais, a serem analisadas no estudo de caso em Bagé, RS, para alcançar os objetivos descritos no capítulo anterior.

### 2.3 Características urbanas e ambientais

Para identificar quais características urbanas e ambientais estão presentes em áreas com potencial de renaturalização de rios urbanos, é necessário descrever os atributos da morfologia urbana que compõem as cidades. Nesse caminho, a morfologia urbana investiga a formação e a transformação das cidades e dos espaços

urbanos. Analisando desde padrões de ruas, uso do solo, edificações até a distribuição de espaços públicos, buscando compreender as forças sociais, econômicas e políticas que moldam a estrutura física das cidades.

Panerai (2006) afirma que o tecido urbano é constituído pela superposição de três grupos: rede de vias, parcelamentos fundiários e as edificações. Já Oliveira (2016) adiciona mais um grupo ao separar o parcelamento fundiário em: quadras e terrenos, já que para o autor, as cidades são objetos compostos por vários outros objetos, sendo possível identificar diferentes relações entre estes objetos e reconhecer a hierarquia dessas relações. A combinação destes grupos origina diferentes tipos de tecido urbano e garantem o caráter único para cada cidade.

Para este trabalho, a classificação dos três grupos de Panerai (2006) foi escolhida, pois o estudo geral de parcelamento fundiário (quadras e lotes como parte do mesmo grupo), em áreas com potencial de renaturalização, permite a otimização do tempo nas análises futuras. Desse modo, as características urbanas identificadas são rede de vias, parcelamento fundiário e edificações.

Os edifícios são considerados como elemento mínimo, embora não tenham a estabilidade no tempo que as ruas e o parcelamento do solo têm, mas são um dos elementos mais importantes da forma urbana e o mais visível desses elementos. Em geral, a cidade é feita de dois tipos diferentes de edifícios, reconhecidos como comuns ou excepcionais. Oliveira (2016) afirma que as principais características que distinguem esses dois tipos estão relacionadas à forma e à utilização do edifício, sendo que o primeiro tipo inclui a maioria dos edifícios que constituem a cidade. As semelhanças entre os edifícios, dentro desse tipo, são mais fortes do que as diferenças entre eles, o qual inclui principalmente edifícios de utilização residencial, mas também edifícios de comércio e serviços. O segundo tipo inclui apenas alguns edifícios da cidade que, por sua forma e utilização, são claramente distinguíveis na paisagem urbana.

A posição de cada edifício dentro de seu terreno é de fundamental importância para o caráter da paisagem urbana. Na maioria das cidades, até o final do século XIX, o alinhamento contínuo de diferentes edifícios definiu, de uma maneira muito clara, a forma da rua. No entanto, várias teorias da cidade, desenvolvidas ao longo do século XX, questionaram esse alinhamento tradicional de edifícios e levaram à introdução de uma variação crescente na posição dos edifícios dentro das parcelas, questionando a definição tradicional da rua e do quarteirão.

Lamas (2004) declara que o lote é o fundamento do edifício e o princípio essencial da relação do edifício com o passeio público, onde a urbanização implica no parcelamento para separar o domínio privado do domínio público. Quando se diminui a escala, o quarteirão se constitui pelo agrupamento de edifícios em um sistema fechado e separado dos demais, limitado pelo cruzamento de vias e subdivisível em lotes para a construção de edifícios, sendo uma hierarquia superior ao lote e à construção, mesmo não sendo autônomo quando comparado a outros elementos do espaço urbano: traçados, vias e espaços públicos. Desse modo, o quarteirão pode ser compreendido como o resultado de regras da divisão fundiária do solo e ordem do espaço urbano, agindo como instrumento da produção da cidade, com importância para a organização dos diferentes usos do solo habitacionais, comerciais, serviços e lazer.

O parcelamento do solo é um condicionante para a forma do edifício e, conseqüentemente, para a forma da cidade. Oliveira (2016) comenta que o parcelamento do solo pode envolver a subdivisão de um conjunto de parcelas maiores (como um grande terreno rural que será parcelado para se tornar lotes menores, tanto privados como públicos) ou a proposta de uma subdivisão de terras e as escolhas do local em que serão inseridos nos estágios iniciais da urbanização condicionarão, por longos períodos, as formas urbanas que serão construídas na cidade, observando que o tamanho dos quarteirões e terrenos, normalmente, aumentam à medida que a distância do centro aumenta e se situam em direção as partes periféricas da cidade.

Para Panerai (2006), a relação entre o conjunto viário e o parcelamento do solo é o fundamento para a existência do espaço urbano e essa relação estrutura a massa edificada, onde o terreno se torna uma unidade de solo organizada a partir da rua. O autor declara que o conjunto viário constituía o espaço público, tendo em vista que os terrenos disponíveis para as edificações são quase sempre privados, já a via pública deveria pertencer a coletividade e ser acessível a todos, a qualquer momento, além disso a organização desse conjunto pode gerar uma rede capaz de permitir a circulação e distribuição de forma contínua e hierarquizada, onde grandes avenidas têm maior capacidade de organização e estruturação da forma urbana quando comparada a uma simples rua.

É por esse sistema viário que, segundo Oliveira (2016), o habitante se desloca e conhece a cidade, onde as ruas definem os diferentes quarteirões que constituem uma cidade e distinguem o que é público e o que é privado. O autor declara que as

ruas são, em termos gerais, o espaço público e democrático da cidade, o lugar onde todos se encontram e interagem, considerando que, na morfologia, as ruas são o elemento mais estável da forma urbana. Apesar do crescimento e transformação de uma cidade, o sistema viário é o que oferece maior resistência às mudanças urbana, alcançando grande estabilidade temporal.

Lamas (2004) declara que o traçado viário é um elemento facilmente identificável, tanto pela sua forma como pelo gesto de projetar, capaz de unir vários espaços e partes da cidade e estabelecer a relação mais direta de parcelamento entre cidade e território. O traçado está relacionado diretamente com o crescimento e formação da cidade, priorizando a funcionalidade do deslocamento, percurso e mobilidade de pessoas, bens e serviços, com grande importância para a orientação.

Embora cada autor destaque nuances próprias de sua perspectiva teórica, eles compartilham uma compreensão comum sobre a importância das vias urbanas. Os autores reconhecem o sistema viário como um dos elementos centrais da morfologia urbana e o seu caráter público, onde as vias, normalmente, são acessíveis a todos e servem como ambientes de interação social e circulação. Oliveira (2016) e Panerai (2006) focam na estabilidade temporal do traçado viário, frente às transformações urbanas.

Por fim, Lamas (2004) adiciona a praça como um dos elementos da morfologia urbana, capaz de se distinguir de outros espaços pela organização espacial e intenção do desenho, tendo como princípio ser um local de encontro, permanência, acontecimentos, práticas sociais, manifestações e prestígios. Oliveira (2016) adiciona que os sistema de espaços públicos não incluem apenas os espaços livres para movimento (ruas) mas também os espaços livres para permanência (praças).

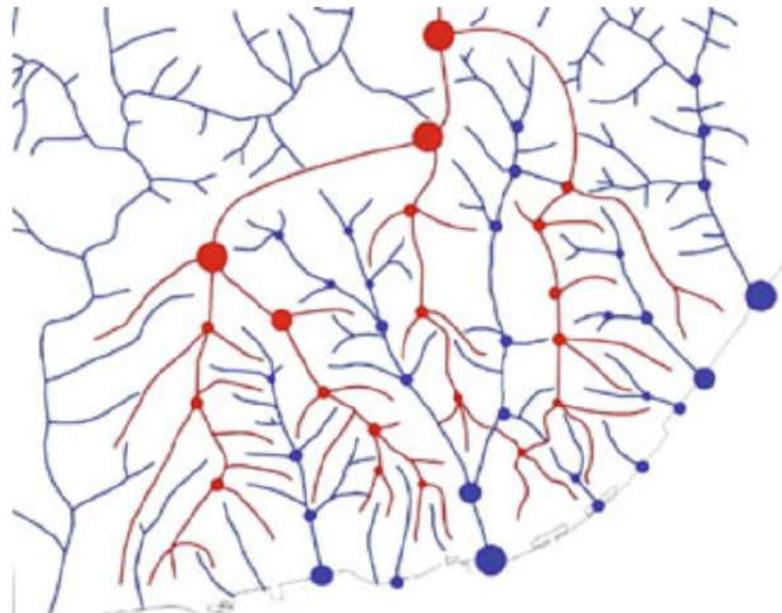
Apesar de elencar as edificações, parcelamento do solo e sistema viário como elementos de caráter construtivos nas cidades, Oliveira (2016) reflete sobre o contexto natural, sendo para o autor a primeira condição para estabelecer e organizar os diferentes elementos da forma urbana. A topografia, qualidade do solo, clima, exposição solar, ventos e o tipo de paisagem natural influenciam o estabelecimento de uma cidade, desde ruas e caminhos até a forma como o parcelamento urbano é subdividido.

Geralmente, o relevo da terra pode ser dividido em duas categorias: formas básicas e formas compostas (Oliveira, 2016). A estruturação dessas formas está associada a forças endógenas que originaram o processo de formação

geomorfológica dos continentes e, junto a isso, Guerreiro (2011) afirma que existem três linhas estruturantes do território:

- as linhas de cume, presentes na Figura 3, correspondentes a linhas imaginárias, mais ou menos contínuas, conectando os pontos máximos de elevação e dividindo o fluxo de água em declives opostos;
- as linhas de talvegue, presentes na Figura 3, ligando os pontos de elevação mais baixos, promovendo a drenagem natural da água a jusante;
- as curvas de contorno, cortando perpendicularmente o cume e talvegue e estabelecendo as relações entre elas.

Figura 3 - Linhas de cume e centros de distribuição (em vermelho), talvegue e centros de encontro (em azul) no terreno.



Fonte: Guerreiro (2010).

As linhas de cume e as linhas de talvegue (Figura 3) estão associadas a sistemas hierárquicos ramificados, que formam os sistemas orográficos e hidrográficos. Os pontos onde as linhas de cume e as linhas de talvegue são ramificadas são os pontos notáveis do território, geralmente referidos como centros de distribuição e centros de encontro. As linhas de cume, talvegue e curvas de contorno representam as linhas onde o esforço para superar a inclinação é menor. Os lugares onde essas linhas se reúnem tornam-se os lugares centrais. A definição dos

primeiros caminhos segue essa estrutura natural do território, fortalecendo sua própria configuração e geometria.

Lamas (2004) adiciona o pavimento do solo como uma característica do espaço urbano, pois segundo o autor é a partir da topografia, modelagem do terreno, diferentes revestimentos, passeios e degraus que se constrói a cidade. Apesar de ter grande importância, têm muita fragilidade, pois está sujeito a contínuas mudanças, principalmente quando se referem aos conflitos de interesse e disputa do solo público.

Considerando esses modos de entender e diferenciar os elementos constituintes da forma da cidade, nesta pesquisa estão escolhidas as características morfológicas para a análise das áreas de inundação com potencial de renaturalização, a partir dos estudos de Oliveira (2016), Lamas (2004) e Panerai (2006) são: parcelamento do solo (incluindo uso do solo), sistema viário (que será descrito pela infraestrutura de pavimentação viária), edificações (incluída no estudo de áreas construídas) e espaços livres (que será representado pelos espaços públicos, como vias, áreas verdes e praças). De caráter ambiental, após os estudos de Oliveira (2016) e Guerreiro (2011), o relevo do terreno é traduzido neste trabalho como duas características distintas: altitude e declividade.

A seguir estão dispostos os exemplos de projetos de renaturalização feitos no mundo e no Brasil, para mapear as semelhanças e diferenças entre eles e entender de que modo estes exemplos propiciaram o retorno dos cursos d'água anteriores ao período de degradação e garantiram o correto manejo das áreas urbanizadas.

## 2.4 Práticas de renaturalização no mundo e no Brasil

Em busca de reunir os principais projetos de renaturalização em cursos d'água no mundo e no Brasil, esse subtítulo reúne diferentes exemplos e sintetiza as abordagens de cada região, que servirá para mapear os processos já executados e identificar práticas e metodologias utilizadas. Este subtítulo é dividido em dois, sendo o primeiro para os exemplos executados no mundo e o segundo para os exemplos no Brasil. Ao final do subtítulo, será encontrado um resumo das principais características semelhantes e diferenças percebidas com os exemplos aqui citados.

#### 2.4.1 Exemplos de projeto de renaturalização no mundo

Para Nilsson e Aradóttir (2013), o aumento da preocupação sobre os impactos resultantes das mudanças climáticas tem crescido de modo acelerado, bem como o interesse dos serviços ambientais que os sistemas degradados poderiam prover. Nos Estados Unidos e na Europa, Zhao *et al.* (2007) afirmam que as entidades públicas têm grande importância nas iniciativas de restauração dos ambientes aquáticos através do planejamento participativo, enquanto no Japão as organizações não governamentais são as principais responsáveis pelas iniciativas. Os autores comentam que os primeiros projetos foram lançados na Europa e nos EUA, em meados de 1970, e mais tarde começaram na China. Na Europa, EUA, Japão e outros países, houve muitas práticas de restauração para pequenos ecossistemas fluviais, com tecnologia de restauração madura.

O Rio Isar, na Alemanha, segundo Cengiz (2013), era conhecido por ambientalistas por “rio morto”, em meados de 1980. A reversão do processo ocorreu devido ao amplo programa de revitalização, que visou reabilitar o rio para os usos das cidades, navegação, captação de água, lazer e geração de energia. O State Office of Water Management Munich, em 2000, iniciou o Plano Isar, tendo como principal medida a retirada de diques de concreto, aumentando a capacidade de retenção de água e reduzindo enchentes a jusante, sendo que esse concreto foi utilizado como substrato para desenvolver novos habitats ecológicos. A Figura 4, a seguir, mostra a diferença causada desde a implementação do Plano Isar.

Figura 4 – Revitalização do Rio Isar. No ano 2000: antes da revitalização. No ano 2019: após a revitalização.



Fonte: Pugliese (2020).

O Rio Besos, em Barcelona, encontrava-se ao final da década de 90 totalmente poluído por esgotos industriais, domésticos e resíduos urbanos. Devido a inundações importantes, que causaram danos à cidade, como fatalidades e perdas de patrimônio, retificações do curso do rio e outras intervenções ocorreram, oficializando-o como um canal de escoamento de esgotos. Com o anúncio da realização dos jogos olímpicos em 1992 na cidade, o poder público obteve um financiamento de 20 milhões de dólares para a revitalização do Besos, que contemplou 6 quilômetros, cortando os municípios de Santa Coloma de Gramenet, a jusante e Montcada, a montante. As áreas adjacentes ao canal se tornaram áreas úmidas a montante, capazes de promover a retenção de nutrientes das águas residuais, promovendo a qualidade. A jusante, foram implementados parques para o uso da comunidade, com rampas e escadarias de acesso, além de alarmes para alerta de inundação, garantindo os usos de recreação e a qualidade das águas. (Martín-Vide, 1999).

Nesse projeto, o traçado retilíneo permaneceu na jusante, sendo necessário para comportar o novo parque, em suas margens. Enquanto isso, na montante o espaço disponível era maior, o que permitiu o traçado em meandros (ver Figura 5, adiante). Ao final, a revitalização do Rio Besos se tornou um sucesso já que atingiu

todos os objetivos iniciais, tanto relacionados à qualidade das águas e à recreação, onde teve ampla aceitação da população.

Figura 5 - Recuperação das sinuosidades em uma parte do Rio Besos. No ano 1992: antes da recuperação. No ano 2019: após a recuperação.



Fonte: Área Metropolitana de Barcelona - Geoportal de Cartografia de l'AMB (2019).

O Rio Bartın, na Turquia, teve seu projeto considerando as necessidades de conter as inundações na área urbana, sendo produzido com o auxílio dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), a fim de auxiliar no planejamento do rio e reduzir o risco de inundações, conectar os ambientes naturais, culturais, históricos e melhorar o transporte (Cengiz, 2013).

O Rio Emscher, na Alemanha, sofreu um processo de industrialização em meados do século XIX através da exploração de carvão mineral na região sul. Após o processo de desindustrialização, o rio estava extremamente degradado e ocasionou impactos negativos na qualidade de vida, com corpos d'água poluídos e solo contaminado com metais pesados.

O rebaixamento do solo do rio em até 30 metros de profundidade, pela extração mineral, impossibilitou a instalação de tubulações subterrâneas, motivando a instalação de calhas de concreto no leito. O período de implantação do projeto de recuperação do sistema hídrico do rio estava previsto para ser executado em duas a três décadas, onde foram feitas propostas em três áreas distintas, sendo elas: sistema

descentralizado de tratamento de esgoto; controle de água da chuva; remodelação dos cursos d'água.

Para abranger a primeira área, referente ao tratamento de esgoto, estavam previstas a construção de cinco estações de tratamento de esgoto, distribuídas pela região. Porém, com o fechamento de indústrias e migração, apenas três estações foram o suficiente.

Para a segunda área, referente ao controle de água da chuva, vêm sendo instalados sistemas de separação das águas limpas e sujas, em busca de não sobrecarregar a canalização. Tanques de concreto em períodos de enchentes fazem a decantação e diferenciação das águas, onde a água mais limpa flui pela parte superior e a matéria suja, acumulada na parte inferior, é retirada periodicamente e transportada para a estação de tratamento de lodos.

Para a terceira área, referente à remodelação do rio Emscher, foram desenvolvidas três variantes pelo planejador de paisagens Noel van Dooren, que se encaixam em diferentes ambientes do rio, sendo a primeira denominada “rede-verde-azul” (Figura 6), que demanda grandes espaços livres para possibilitar o desenvolvimento de diferentes espécies e valorizar o rio, no ponto de vista ecológico. A largura do leito do rio não é ampliada, mas sim as áreas para transbordamento.

Figura 6 - Variante “rede-verde-azul”, em desenho realizado por Noel van Dooren.



Fonte: Alves (2003).

A segunda variante se chama “várzea do Emscher” (Figura 7) e, diferente da primeira, não utiliza grandes áreas livres, mas sim um espaço entre 12 e 20 metros de largura, com taludes de proteção. Isso acontece pela falta de espaço e outras limitações.

Figura 7 - Variante “várzea do Emscher”, em desenho realizado por Noel van Dooren.



Fonte: Alves (2003).

A terceira variante se chama “rio selvagem” (Figura 8) e cria um leito amplo com variações de profundidade. Taludes naturais foram construídos nas margens para evitar o transbordamento e, devido aos desníveis elevados, foram necessárias estações de bombeamento contínuo das águas.

Figura 8 - Variante "rio selvagem", em desenho realizado por Noel van Dooren.



Fonte: Alves (2003).

O processo ajudou a renovar a estrutura econômica; a recuperar a paisagem natural (Figura 9); implantar distritos industriais para indústrias de tecnologias limpas nas antigas áreas de mineração; urbanizar através de construções de moradias

sustentáveis. O projeto visou recompor a dinâmica do corpo d'água e o inserir novamente como elemento visível na paisagem urbana (Alves, 2003).

Figura 9 - Renaturalização de uma parte de um córrego do Rio Emscher aplicando a variante “rio selvagem”.



Fonte: Alves (2003).

O Rio Reno possui 1.320km de extensão e sua bacia hidrográfica abrange nove países, dentre eles Suíça, França, Alemanha, Holanda, Bélgica e Luxemburgo, onde abastece com água potável 30 milhões de pessoas. Até a década de 50, era conhecido como “rio de ouro”, pela alta qualidade da água e abundância de biodiversidade, porém sofreu diversos impactos ambientais devido ao crescimento econômico e populacional onde, em 1970, passaram a existir diversos trechos canalizados para atender a navegação, o que acarretou sua degradação e perda da biodiversidade na bacia. Em 1987, na Conferência de Estrasburgo, na França, ministros europeus definiram um plano para recuperar o rio. As metas definidas pelo plano eram: combate da poluição, melhoria da qualidade da água e prevenção de acidentes. Como consequências do processo de renaturalização, em 1995 houve a redução da poluição por gases emissores mais fortes, entre 50% e 70% e o retorno da biodiversidade no ano de 2000. Em 2007 foi considerado um rio limpo, com 95% dos efluentes sendo tratados. O valor desembolsado por iniciativas públicas e privadas foram aproximadamente US\$ 15 bilhões (Chaves e Carvalho, 2020).

O Rio Danúbio é considerado o segundo maior rio da Europa, sendo o principal afluente do Mar Negro, onde a bacia hidrográfica abrange 19 países europeus. Após a segunda guerra mundial, o aumento do número de indústrias e da quantidade de resíduos gerados e lançados no rio, a poluição e o declínio da qualidade da água se tornaram a principal preocupação. Entre os períodos de 1985 e 1994, segundo Cibim (2010), havia a negociação para promover diretrizes de proteção da qualidade das águas e encorajar a integração e comunicação entre as agências governamentais, ONGs e a sociedade civil organizada. Ao final de 1994, foi assinada a Convenção para a Proteção do Rio Danúbio, gerenciada até os dias atuais. O fator facilitador da cooperação e de busca de prever conflitos de gestão internacional foi a participação pública no processo de tomada de decisões.

O Rio Sena, componente da bacia hidrográfica que abrange aproximadamente 20% da França, tem área de 100 mil km<sup>2</sup> e, atingindo 7,6 milhões de habitantes, contava com apenas 11 estações de tratamento de efluentes, em 1950. Entre 1997 e 2007, obteve investimentos de 2,1 bilhões de euros em busca de sua revitalização, buscando melhora da qualidade da água, qualidade dos habitats da bacia, e implantação de medidas técnicas e ambientais. Em 2008 o número de estações de tratamento de efluentes subiu para 2000. Apesar disso, os Jogos Olímpicos de Paris, em 2024, mostraram que ainda existem muitos processos a serem seguidos para a completa renaturalização do Rio Sena, principalmente no âmbito do retorno da qualidade da água.

No Chile, o Rio Mapocho está localizado na grande Santiago e passa por várias comunidades, com 110km de extensão e área de drenagem de 4.230km<sup>2</sup>. A poluição pela falta de infraestrutura de efluentes, lançamento de chorume e a ausência da conservação do leito alteraram a biota, qualidade da água e os espaços de contato e recreação. Em 1960 é proposto, no Plano Diretor de Santiago, um corredor ecológico que, infelizmente, não foi efetivado. Outros planos subsequentes estão sendo executados e em 2007 se iniciou o projeto “Mapocho Urbano Limpio”, para descontaminação da área urbana do rio. Houve fechamento de descargas de resíduos e um coletor foi construído, para tratamento dos efluentes da região metropolitana (Garcias e Afonso, 2013).

O Rio Cheonggyecheon, em Seul na Coreia do Sul, sofreu diversas intervenções que o transformaram em um canal de escoamento de esgoto, além de ter sido ocultado pela construção de uma grande avenida e uma via expressa elevada. O projeto buscava resolver os problemas de tráfego; melhorar a qualidade do ar e reduzir os ruídos sonoros; criar uma identidade para a região; aumentar a segurança; conceber um espaço favorável a natureza; melhorar a qualidade de vida da comunidade e melhorar a imagem cultural de Seul. Para alcançar estes objetivos, houve a remoção da via expressa elevada e a demolição da avenida, expondo o rio à luz natural (Figura 10). Um sistema de bombeamento foi necessário, para garantir uma lâmina de água durante todo o ano, no rio. O processo foi lento, custoso e trabalhoso, porém foi obtido êxito ao devolver o rio à paisagem natural e integrar a comunidade, com diversas áreas de lazer nas suas margens.

Figura 10 - Modelo digital do parque linear do Cheonggyecheon.



Fonte: Cengiz (2013).

As principais consequências da renaturalização foram: 30% de melhora na qualidade do ar; redução do nível de ruído sonoro; redução dos efeitos das ilhas de calor e a criação de um corredor de vento; aumento da biodiversidade; vitalidade econômica; harmonia entre desenvolvimento e preservação; mudanças nos paradigmas da gestão urbana e a restauração histórica e ecológica (Lee K., 2006).

Desse conjunto de casos estudados e apresentados anteriormente, levando em conta as particularidades de cada localização, todos os projetos foram focados no retorno da qualidade da água. Na renaturalização dos rios Isar, Reno,

Cheonggyecheon e do rio Emscher, houve a retirada das calhas de concreto que faziam a retificação do canal. O aumento do espaço de vazão do rio possibilitou a volta da vegetação ciliar e a redução de impactos a jusante.

Além disso, grandes áreas ribeirinhas se tornaram áreas recreativas para a comunidade, como parques, e todos os projetos tiveram incentivos através da instalação de estações de tratamento de efluentes, ao longo da região do corpo d'água. No caso do Rio Besos, houve ainda áreas úmidas, capazes de reter os nutrientes das águas residuais e ampliar a capacidade de armazenamento de água, reduzindo os picos de cheia e, no Rio Emscher, foi instalado um sistema de calhas com decantação, que separa as águas limpas e o restante é direcionado para uma estação de tratamento de lodos.

#### 2.4.2 Exemplos de projetos de renaturalização no Brasil

No Brasil, os projetos estão dedicados às bacias hidrográficas, abrangendo mais o controle de efluentes em busca da melhor qualidade da água, porém recentemente estão aparecendo diferentes projetos, que focam na drenagem sustentável e na infraestrutura verde. O Programa Córrego Limpo, da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), em parceria com a prefeitura, iniciou em 2004 com a ampliação das redes coletoras de esgoto e tratamento, eliminação das ligações clandestinas e no descarte errado dos efluentes, em busca da recuperação de córregos (Figura 11).

Figura 11 - Antes (a esquerda) e depois (a direita) de um dos córregos beneficiados pelo Programa Córrego Limpo.



Fonte: Graça (2012).

Sendo o principal corpo hídrico do Estado de São Paulo, o Rio Tietê encontra-se poluído no trecho que corta a capital, longe apenas 150km da nascente, no município de Salesópolis (Brocaneli, 1998).

O desenvolvimento de técnicas ao final do século XIX, possibilitou mudanças na bacia hidrográfica do Rio Tietê. Um dos exemplos foi a empresa Light, que se comprometeu a criar uma hidrovía até o Alto da Serra do Mar, para escoamento de mercadorias, explorando o Alto Tietê, abrangendo os rios Pinheiros, Tietê e Grande. Estes rios também serviam como vias de comunicação secundárias às ferrovias, caso fosse necessário o seu uso.

Saraiva (1999) conta que, em 1924, foi realizada a primeira travessia a nado sobre o Rio Tietê, porém com a poluição crescente dos corpos d'água, os clubes decidiram criar suas piscinas particulares, ao invés de lutarem pelo direito de uso. O último uso para nado é datado de 1944, quando a suspensão da prova de Travessia de São Paulo a nado do Tietê significou a morte do rio.

O Plano das Avenidas, em 1930, utilizou os fundos de vale como espaços úteis para a ampliação do sistema viário, o que trouxe problemas de drenagem, enfrentados até hoje em São Paulo. Diversos planos foram executados em busca de resolver os problemas de drenagem e inundações, porém eram muito longos, inclusive

as vazões dos projetos precisavam ser revistas sucessivamente, devido à evolução urbana crescente.

Brocaneli (1998) diz que a administração municipal criou dois Programas de Canalização de Córregos, Implantação de Vias e Recuperação Ambiental e Social dos Fundos de Vale, denominados PROCAV 1 e PROCAV 2. O primeiro iniciou-se em 1987 e canalizou 9 córregos, obrigando a remoção de 1.590 famílias das áreas de intervenção. O segundo iniciou-se em 1994 e canalizou 11 córregos, além de construir 8 reservatórios de detenção, onde 4.500 famílias foram desapropriadas das áreas de intervenção. Estes programas utilizaram canalizações aliadas aos reservatórios para contenção de cheias, conhecidos popularmente como “piscinões”, capazes de minimizar os problemas de extravaso e manutenção.

Os piscinões construídos e planejados para áreas urbanas já consolidadas são estáveis, enquanto os planejados para áreas periféricas são instáveis, pela dificuldade em acompanhar o crescimento da população e o acréscimo de vazão, além de comumente se tornarem áreas impróprias sanitariamente, pela falta de manutenção e limpeza. Para Folgado (2006) as primeiras renaturalizações dos córregos em São Paulo custariam menos quando comparadas a construção dos piscinões, além de zerar o número de desapropriações.

A política do sistema de macrodrenagem se baseia no conceito de escoar de forma veloz a água da chuva. Tucci (2003c) alega que esse princípio foi abandonado na década de 1970 pelos países desenvolvidos, devido ao aumento de inundações a jusante, onde a água não é infiltrada no solo, fruto das canalizações, aumentando a velocidade das águas e causando catástrofes. Um dos principais motivos do abandono da ideia de canalizar um arroio em países desenvolvidos foi o custo elevado e o aumento do prejuízo.

Infelizmente, a retificação do curso dos arroios, a poluição e a proibição dos banhos causaram o abandono. A vegetação ciliar foi dizimada e houve diversas descaracterizações, onde a cidade optou por esconder seus arroios em grandes tubulações sob a terra.

Em busca do combate às inundações, em 1998 foi elaborado o plano diretor de macrodrenagem da bacia do Alto Tietê, com a ideia de executar obras de melhoramento hidráulico dos rios Tietê e Tamanduateí. Considerada uma das maiores obras de drenagem urbana do País, o leito do rio foi aprofundado em torno de 2,5 metros em 24,5 km, inclusive as margens foram alargadas em até 19 metros para

praticamente duplicar a capacidade de vazão, apesar de não fazer parte dos objetivos da renaturalização.

Seguindo para o próximo exemplo de renaturalização, a bacia hidrográfica do rio São Francisco envolve 13 milhões de habitantes, onde sua área de drenagem é de 640 mil km<sup>2</sup> e abrange sete estados brasileiros. Em 2001, através de um decreto federal, teve início o programa de revitalização do Rio São Francisco, cujo objetivo principal é a recomposição das funções ambientais, juntamente com a participação e mobilização da sociedade para a tomada de decisões. As demandas a serem atingidas eram: o esgotamento sanitário, controle de resíduos sólidos, processos erosivos e obras, tendo recebido aproximadamente 300 propostas que incluíam controle de poluição, educação ambiental e recuperação da vegetação ciliar. As obras de recomposição das margens (Figura 12) foram feitas para combater os processos erosivos ocasionados pelas enchentes, além de existirem projetos que visassem a orientação e distribuição da população ribeirinha de alguns povoados.

Figura 12 - Recomposição das margens do rio São Francisco.



Fonte: Centro de Comunicação Social do Exército (2019).

Em síntese, os projetos de renaturalização no Brasil abrangem as bacias hidrográficas e são focados no tratamento de efluentes, sendo necessários mais avanços na área, para se equipararem a projetos de renaturalização em outras localidades, como a Europa. No projeto da bacia do Rio Tietê, a luta pela renaturalização ressurgiu devido às enchentes a jusante, muitas vezes decorrentes das canalizações que suportam a água das chuvas. Já na bacia do Rio São Francisco, a recomposição das margens dos corpos d'água foi a principal medida adotada, além da busca pelo tratamento eficaz do esgoto sanitário que é despejado nas águas.

No caso dos projetos de renaturalização no mundo, apresentados anteriormente, o recorrente é focarem no curso de água, ou até mesmo numa área do curso de água, sendo que os projetos brasileiros, tendem a trabalhar numa escala maior e mais abrangente, como as bacias hidrográficas.

Nesse Capítulo, investigou-se que o tema renaturalização de rios é relativamente novo, estando seus conceitos em desenvolvimento, na tentativa de incluir intenções e ações que objetivem reconhecer e recompor aspectos naturais anteriores a alguma degradação ambiental. Ainda assim, percebe-se que os projetos são focados no retorno da qualidade da água, através de estações de tratamento de efluentes, inclusive pelo aumento do espaço de vazão do rio, com a retirada de calhas de concreto ou qualquer item que prejudique a criação dos meandros naturais. Ainda neste Capítulo, está introduzido o estudo das características urbanas e espaciais que serão utilizadas para a análise do Capítulo 5 que, segundo Oliveira (2016), Lamas (2004), Panerai (2006) e Guerreiro (2011), são: parcelamento do solo (incluindo uso do solo), sistema viário (que será descrito pela infraestrutura de pavimentação viária), edificações (incluída no estudo de áreas construídas) e espaços livres (que será representado pelas áreas verdes e praças), altitude e declividade.

No próximo Capítulo estão introduzidos os materiais e métodos necessários para responder as questões de pesquisa e os resultados esperados, iniciando pelo tipo de pesquisa, as etapas pela qual está ocorrendo e, por fim, a construção do processo de análise.

### 3 Metodologia de pesquisa

Após discutir e apresentar os pontos de partida teóricos que sustentam o trabalho e contribuem para o refinamento das questões, assim como os resultados esperados enunciados na Introdução, este capítulo apresenta os modos de conduzir a pesquisa. São utilizados três tipos de abordagens integradas: descritiva, exploratória e empírica.

Para Barros & Nehfeld (1990) a pesquisa descritiva realiza a descrição do objeto pela observação e levantamento dos dados, através de pesquisa bibliográfica e documental, visando a identificação, o registro e a análise. No caso do trabalho, a pesquisa descritiva está dedicada às características das sub-bacias: o parcelamento e o uso do solo, a população presente nas áreas, o zoneamento do plano diretor, a infraestrutura viária, as variações de altitude, declividade, áreas construídas e os espaços livres disponíveis, de modo quantitativo, ao somar o número de itens dentro de cada característica e analisar sua incidência, além de comparar com as outras sub-bacias estudadas.

A pesquisa exploratória, segundo Gil (1999), é desenvolvida para proporcionar uma visão geral do fato, quando se torna difícil formular hipóteses precisas. Andrade (2002) comenta que tem como finalidade proporcionar mais informações e orientar a formulação das hipóteses. Para o trabalho, o enfoque deste tipo de pesquisa foi para a elaboração de resultados esperados sobre a renaturalização, de modo qualitativo, ao estudar o referencial teórico sobre o tema e os exemplos de renaturalização no mundo e no Brasil.

A pesquisa empírica se baseia na observação ou experimentação dos fatos, sendo que segue três passos: coleta, organização e inferência de dados. Epstein & King (2013) declaram que a inferência causal busca averiguar se algum fator específico leva a algum resultado. No caso do trabalho, a partir da modelagem urbana, será realizado o mapeamento de áreas com potencial para serem renaturalizadas. Após isso, pretende-se reunir e identificar, a partir das pesquisas mencionadas, as características urbanas e ambientais dentro destas áreas, a fim de responder às questões de pesquisa.

Para atingir o objetivo principal de identificar as características urbanas e ambientais nas áreas com potencial de renaturalização de rios urbanos, um estudo de caso único foi utilizado, na área urbana da cidade de Bagé/RS, que será desenvolvida

no próximo capítulo. O estudo de caso, segundo Goode e Hatt (1979), busca investigar as características importantes para o objeto de estudo, com lógica no planejamento, coleta e análise dos dados, tendo vantagens para a estimulação de novas descobertas, pela flexibilidade do seu planejamento, além de permitir uma análise mais profunda dos processos e das relações entre eles. Yin (2005) complementa que o estudo de caso único se concentra na investigação aprofundada de um único exemplo específico, tendo por objetivo a obtenção detalhada e contextualizada do fenômeno estudado, sendo definido como uma investigação empírica, que examina um fenômeno contemporâneo, dentro de seu contexto real. Adicionalmente, conduzir um estudo de múltiplos casos exige recursos e tempo significativos, quando comparado ao estudo de caso único, que permite uma investigação mais gerenciável e focada, garantindo uma análise profunda e rigorosa dentro das limitações do projeto, melhorando a qualidade dos dados coletados (Stake, 1995).

A renaturalização de rios urbanos é um processo que envolve múltiplos fatores: ambientais, sociais, econômicos e políticos. Ao utilizar um estudo de caso, Stake (1995) declara que se permite uma exploração detalhada das relações entre esses fatores em um contexto específico. No caso da renaturalização de rios urbanos, isso garante uma análise profunda das práticas implementadas em um contexto urbano específico, como é o caso do trabalho, que utiliza uma cidade de fronteira entre o Brasil e o Uruguai, permitindo o estudo de aspectos únicos e desafios específicos para a região, podendo destacar informações completas sobre as características urbanas e ambientais nestes locais.

Em busca de identificar as etapas do estudo de caso, Gil (1999) define quatro fases para a realização do estudo de caso: delimitação do caso, coleta de dados, seleção, análise e interpretação dos dados e, por fim, a elaboração das conclusões. A delimitação do caso e a coleta dos dados estão descritas no Capítulo 4, inicialmente pela justificativa do objeto de estudo, além da metodologia de obtenção dos dados. A seleção, análise e interpretação dos dados estão descritas no Capítulo 5, que é focado na análise das características urbanas e ambientais em áreas de inundação do Arroio Bagé. A elaboração de conclusões, a última etapa do estudo de caso, está descrita no final do trabalho, o Capítulo 6.

### 3.1 Etapas de pesquisa

Em busca de estruturar o trabalho, estão listadas as etapas que a pesquisa percorreu, de modo a apoiar a leitura e compreensão da investigação.

A primeira parte do processo foi a busca pelo tema, sendo escolhida a renaturalização de rios urbanos como assunto central da pesquisa. A busca pelo tema surgiu a partir de outras leituras referentes a rios urbanos e meios de intervenção após a degradação por fatores antrópicos. O objeto de pesquisa são processos de renaturalização já realizados e rios urbanos das cidades de fronteira entre Brasil e Uruguai.

A segunda parte se dá através da revisão bibliográfica que, devido à lacuna no conhecimento que trata dos tipos de intervenções nos corpos d'água em áreas urbanas e nos principais conceitos referentes a processos de renaturalização, torna-se essencial para a compreensão do problema de pesquisa e o aprofundamento do tema. Foram escolhidos artigos e teses que tivessem referência com corpos hídricos e tipos de intervenção nestes espaços, sendo encontrados 15 artigos específicos de renaturalização na base de pesquisa de periódicos da CAPES, a partir da pesquisa pelas palavras-chave “renaturalização” e “rios”. Com a leitura destes artigos, foram selecionadas as principais referências utilizadas por estes artigos, para compor o marco teórico do trabalho.

O problema de pesquisa é encontrado pela ocupação das cidades nas áreas de inundação dos corpos d'água e na reversão do processo através da dinâmica dos sistemas hídricos e dos fatores urbanos. Logo em seguida foram demarcados os rios urbanos e a urbanização nas cidades de fronteira entre Brasil e Uruguai, a fim de verificar a ocorrência de ocupação urbana em áreas de inundação de rios em mais de uma cidade, confirmando que o problema de pesquisa é recorrente de modo regional.

A terceira parte apresenta as perguntas de pesquisa e as hipóteses. Conforme ditas na introdução da pesquisa, são referentes aos conceitos e práticas de renaturalização em corpos d'água e às características urbanas e ambientais nas áreas possíveis de renaturalizar nos arroios urbanos, seguido da concepção do objetivo geral da pesquisa e os objetivos secundários.

A quarta parte busca escolher métodos, técnicas e procedimentos para chegar aos resultados da pesquisa. Gil (1999) comenta que o estudo de caso é caracterizado pelo estudo extensivo de um determinado objeto para permitir o

conhecimento detalhado e responder as questões de “como” e “por que”. Yin (2005) declara que é utilizado esse método quando se busca testar uma hipótese, ou quando o caso é único e revelador. No caso da pesquisa, o estudo de caso único servirá como instrumento de estudo para que os resultados possam identificar as características urbanas e ambientais em áreas de inundação de rios que ocorrem no interior das cidades.

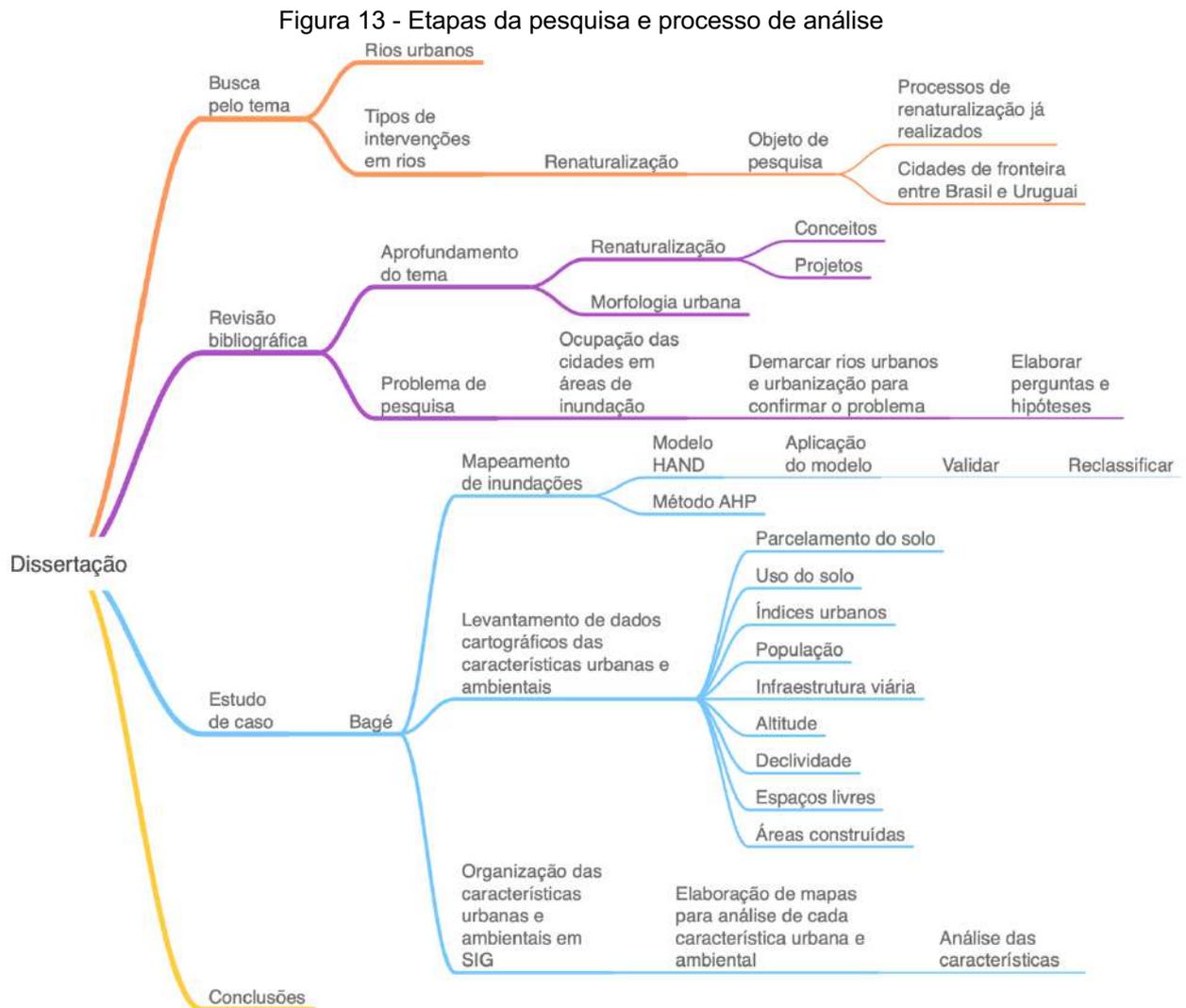
### 3.2 Construção do processo de análise

A fundamentação teórica consiste na revisão bibliográfica dos diferentes conceitos referentes ao tema da renaturalização e intervenção em cursos d'água urbanos, inundações em áreas urbanizadas e dos elementos da morfologia urbana, como foi apresentado anteriormente, no Capítulo 2 deste trabalho. O interesse é de organizar o pensamento de diferentes autores e listar as diferenças entre cada tipo de intervenção, o que servirá de embasamento para aprofundar o conceito de renaturalização. Junto a isso, estudar a diferença entre os conceitos de enchentes e inundações urbanas, bem como a importância do termo inundação para a análise que virá nos próximos capítulos, seguido pelo estudo da morfologia urbana, que permite identificar as características do espaço urbano que podem estar presentes nas áreas com potencial de renaturalização. A próxima etapa da fundamentação teórica consiste em conhecer os projetos já concluídos no mundo e por fim estudar projetos feitos no Brasil. Sobretudo, identificar as particularidades de cada área e as características comuns entre todos, para a melhor compreensão do problema de pesquisa.

Para a construção do processo de análise das características urbanas e ambientais nas áreas com potencial de renaturalização de rios urbanos na cidade de Bagé/RS, as etapas serão resumidas a seguir e ao longo do próximo Capítulo serão descritas detalhadamente. Em primeiro momento é feito o mapeamento das áreas inundáveis dentro da área urbana da cidade, através do Modelo HAND e busca por informações históricas e fatos que validem o modelo, seguido pela aplicação do mapa gerado pelo Modelo HAND em ambiente de SIG e classificação das áreas inundáveis. O próximo passo é o levantamento de dados cartográficos, disponibilizados por Silva *et al.* (2021), onde as características urbanas a serem analisadas são: parcelamento e uso do solo, índices urbanos, população, infraestrutura viária, espaços livres e áreas construídas. E as características ambientais são: altitude e declividade da área

urbana, seguido pela organização desses dados em ambiente de SIG. Com os dados reunidos, são feitos mapas e análises individuais de cada característica, a fim de responder às perguntas da pesquisa.

A Figura 13 contém uma síntese das etapas de pesquisa e do processo de análise, que percorrem o trabalho.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024).

### 3.1 Levantamento de dados cartográficos

Os dados cartográficos desenvolvidos por Silva et al. (2021), o pacote GeoBage, contém mapas georreferenciados de diversos atributos do município de Bagé/RS, como demarcação de ruas, lotes e área construída. Para os dados de uso do solo foi utilizado o mapa de lotes disponibilizado, onde a partir dele foi criado uma coluna na tabela de atributos para demarcar cada tipo de uso por lote dentro das áreas

de renaturalização. A classificação foi de 1 a 10, sem significar peso, sendo 1: lotes residenciais, 2: lotes comerciais, 3: lotes de uso institucional, 4: lotes de áreas verdes, 5: lotes de uso misto, 6: lotes militares, 7: lotes de infraestrutura, 8: lotes industriais, 9: lotes rurais e 10: lotes sem uso/vazios. Esses dados foram obtidos através de imagens do Google StreetView (GOOGLE, 2023), atualizadas em setembro de 2022, onde foi possível simular caminhadas pelas ruas da cidade e ir marcando na coluna de atributos o tipo de uso para cada lote.

Para o levantamento de dados de índices urbanos foi utilizado o mapa que está no anexo 3 do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental Bagé/RS onde, através da demarcação das macrozonas, foi criado um arquivo shapefile com os polígonos de cada zona urbana e informado em cada atributo os índices urbanos: taxa de ocupação, índice de aproveitamento e altura máxima das edificações.

Os dados de população foram obtidos através dos mapas censitários disponibilizados pelo IBGE (2010) e do somatório de pessoas em cada setor, sendo possível estimar o número de pessoas que vivem nas áreas com potencial de renaturalização. A partir do número populacional e a área de cada setor censitário, foi calculada a área com potencial de renaturalização dentro dos setores. Com a área do setor, a área com potencial de renaturalização e o valor total de moradores, encontrou-se a estimativa de quantidade de moradores em cada área com potencial de renaturalização.

Para análise da disponibilidade de infraestrutura na área com potencial de renaturalização, o primeiro passo foi reunir os mapas de infraestrutura disponibilizados pelo GeoBage (SILVA et al., 2021). Utilizando as áreas suscetíveis a inundações, assumidas como áreas com potencial de renaturalização como recorte para a camada de infraestrutura viária, é possível extrair uma planilha de atributos com a quantidade de metros de cada tipo de pavimentação, sendo: asfalto, bloco intertravado de concreto, paralelepípedo de pedra granítica e sem pavimentação.

Os dados de altitude foram obtidos utilizando o mesmo modelo digital de elevação utilizado para a modelagem de inundação e os dados de declividade foram obtidos através de ferramenta no programa QGis, que calcula a declividade do terreno utilizando o modelo digital de elevação.

Para obter os dados de espaços livres, o primeiro passo foi reunir os mapas de lotes e área construída disponibilizados pelo GeoBage (Silva et al., 2021). Utilizando a demarcação de lotes e de uso do solo já preenchidos anteriormente, são

selecionados apenas os lotes com áreas verdes. Com a sobreposição dos lotes de áreas verdes e o mapa de área construída, estes polígonos são pintados de preto para se destacarem do fundo do mapa, em branco.

Por fim, todos estes dados carregados como polígonos em ambiente SIG no QGis possibilitaram a geração de mapas para cada característica urbana e ambiental, necessárias para a análise e conclusão deste trabalho.

No próximo Capítulo estão abordados, de forma detalhada, a delimitação do estudo de caso e o mapeamento de inundações, para responder às questões de pesquisa, onde foram estudados dois tipos: método AHP (Analytic Hierarchical Process) e Modelo HAND (*Height Above Nearest Drainage*), utilizando este último para realizar o mapeamento, logo a seguir. Ao final, está disposta a delimitação da área de estudo, as sub-bacias do Arroio Bagé, necessários para a análise realizada no Capítulo 5.

## **4 Delimitação do estudo de caso, mapeamento de inundações, dados cartográficos e delimitação das sub-bacias do Arroio Bagé**

Após discutir a metodologia a ser utilizada, as etapas a serem percorridas e a construção do processo de análise, neste capítulo é apresentada a delimitação do estudo de caso e o mapeamento das inundações, na cidade de Bagé/RS, que será utilizado como base para as análises das características urbanas e ambientais, listadas no final do Capítulo 2. Ao final deste capítulo, é apresentada a delimitação da área de estudo, composta pelas sub-bacias do Arroio Bagé.

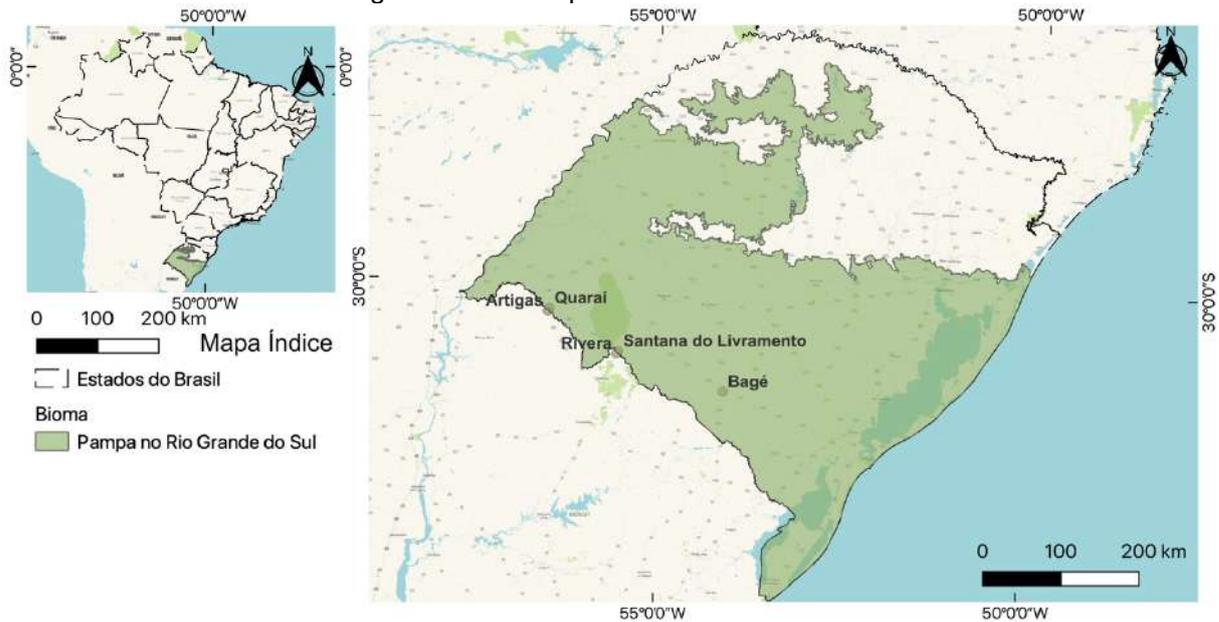
### **4.1 Delimitação do estudo de caso**

A seguir estão dispostas as características da delimitação do estudo de caso. A área urbana da cidade de Bagé/RS foi escolhida para o estudo, principalmente por ser a cidade natal do Autor do trabalho, bem como pela vivência e interesse por estudos específicos para a área. A área urbana está situada no Bioma Pampa, na Região Hidrográfica da Bacia do Rio Uruguai e é considerada uma cidade de fronteira entre o Brasil e o Uruguai.

#### **4.1.1 Bioma Pampa**

Conhecido como um vasto espaço geográfico onde a vegetação mais densa está confinada em áreas de relevo acidentado ou emolduradas ao longo dos cursos d'água, o bioma Pampa (Figura 14) é um dos seis biomas presentes no Brasil, se estendendo por 750 mil km<sup>2</sup> entre o Brasil, Uruguai, Argentina e Paraguai (Bencke *et al.*, 2016). Os autores comentam que o reconhecimento no Brasil como bioma ocorreu em 2004, até então era reconhecido como uma parte do bioma Mata Atlântica. Com isso, houve sua inserção na agenda ambiental nacional, possibilitando destaque para sua conservação em âmbitos legislativos.

Figura 14 - O Pampa no Rio Grande do Sul.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos dados do IBGE (2019).

Por ter extensas áreas de vegetação rasteira, a agricultura e a silvicultura são as principais atividades econômicas. Contudo, estas atividades reduzem milhares de hectares de formações campestres nativas. Vélez-Martin (2015) alegam que já na primeira década do século XXI restavam 43% das vegetações originais.

Garantir a sustentabilidade do uso do solo no Pampa só é possível se as atividades econômicas forem adequadamente selecionadas pela capacidade e adaptação do solo, fauna e flora. Inclusive considerar áreas adequadas para plantações e estabelecimento florestal pode ajudar na conservação do bioma, além de buscar alternativas mais ecológicas e que atuem na economia, como o ecoturismo (Roesch *et al.*, 2009).

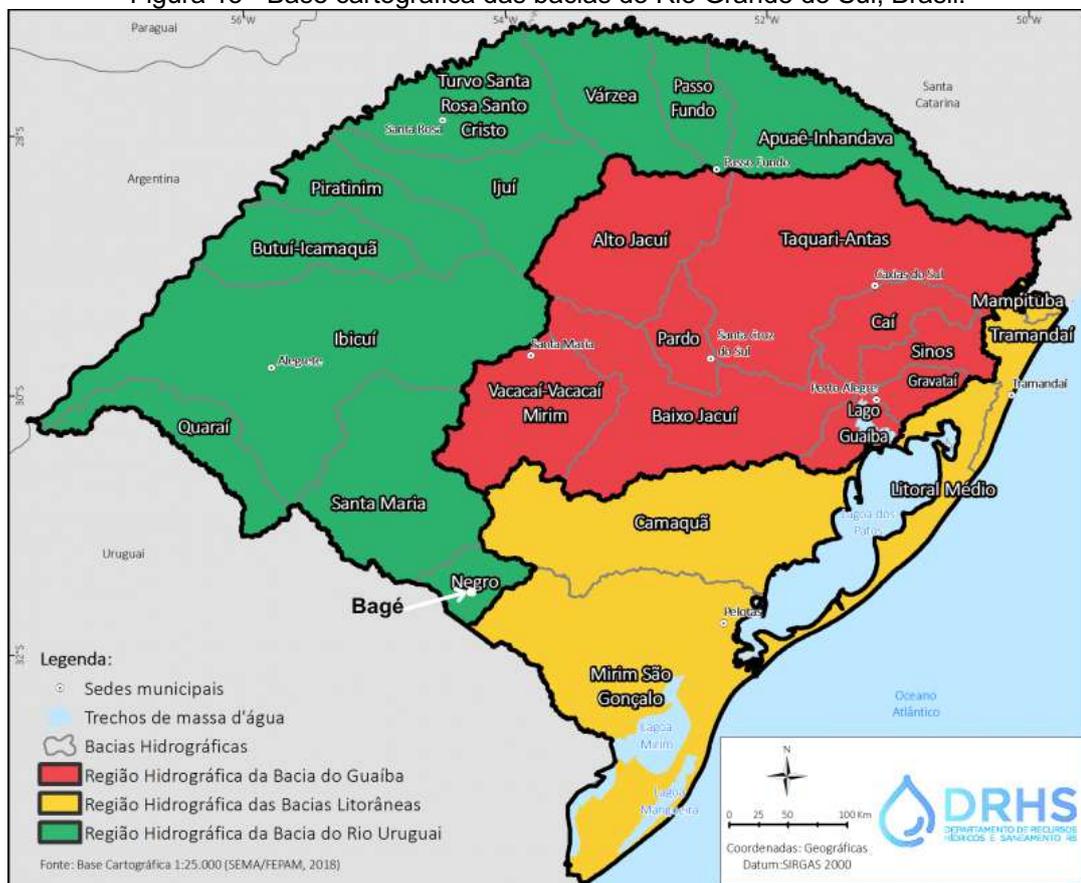
O Bioma Pampa, como uma das características da área de estudo, tem a peculiaridade de sua vegetação densa estar concentrada nas margens dos cursos de água, oferecendo um contexto interessante para investigar características urbanas e ambientais nestes ambientes.

#### 4.1.2 Bacia do Rio Uruguai

Referente aos recursos hídricos, a região hidrográfica da bacia do rio Uruguai (Figura 15) abrange 384.000km<sup>2</sup>, sendo 128.900km<sup>2</sup> no Rio Grande do Sul. A vazão

média anual na região, de acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), é de  $4.117\text{m}^3/\text{s}$ . Durante os meses de outubro a março, Ravello e Pante (2013) observaram uma demanda de irrigação superior à disponibilidade, especialmente devido à safra de arroz, inclusive o Departamento de Água e Esgotos de Bagé (DAEB, 2007) alerta para o alto risco de escassez de água para uso da população durante os períodos de estiagem, devido ao déficit hídrico. Além deste problema, ANA (2015) integra o Rio Negro, em cuja bacia hidrográfica está a cidade de Bagé, RS, nos 16% dos rios brasileiros com trechos críticos, em qualidade e quantidade.

Figura 15 - Base cartográfica das bacias do Rio Grande do Sul, Brasil.



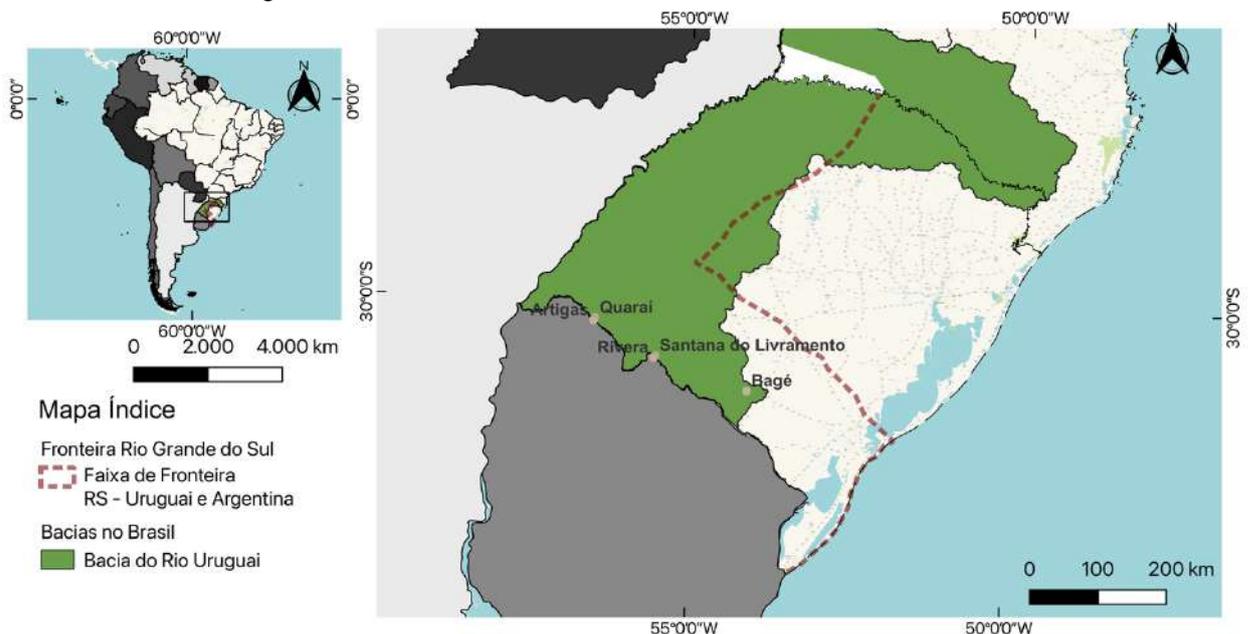
Fonte: adaptado de FEPAM (2018).

A região hidrográfica da Bacia do Rio Uruguai, uma das características da área de estudo, tem proximidade com a fronteira entre o Brasil e o Uruguai e maior abrangência, quando comparada as Bacias Litorâneas, no que concerne à faixa de fronteira entre o Brasil e o Uruguai.

#### 4.1.3 Cidades de fronteira entre o Brasil e o Uruguai, dentro da Região Hidrográfica da Bacia do Rio Uruguai

De modo a observar relações gerais entre rios e áreas urbanizadas, na faixa de fronteira entre o Brasil e o Uruguai, dentro da região hidrográfica do Rio Uruguai, foram escolhidas as cidades de Bagé, Santana do Livramento e Quaraí, visíveis na Figura 16, em função de sua localização, porte e características geomorfológicas comuns. Essa observação tem como objetivo mostrar a recorrência do tema em não apenas uma cidade isolada, mas apontar para uma questão recorrente nos processos de urbanização atuais. Ao cabo, a escolha de Bagé como estudo de caso está apontada, com sua motivação.

Figura 16 - Faixa de fronteira do estado do Rio Grande do Sul.

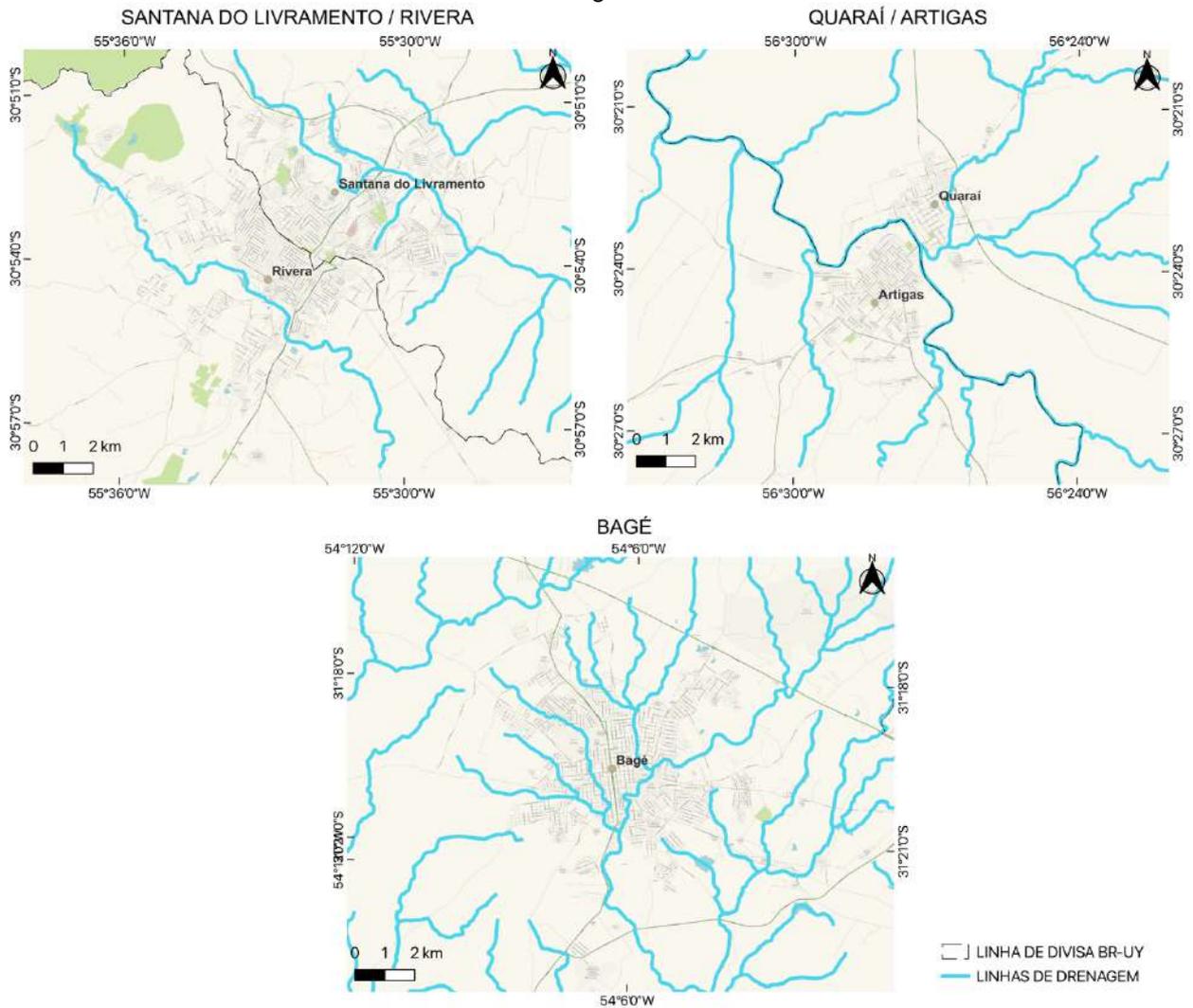


Fonte: realizado pelo autor (2023), a partir de dados disponibilizados pelo IBGE (2010).

A Figura 17 traz o mapeamento dos corpos d'água com a demarcação das cidades de Santana do Livramento e Quaraí, que fazem divisa com cidades uruguaias, sendo elas respectivamente Rivera e Artigas. Estas cidades contêm a problemática abordada no trabalho, em que a urbanização está avançando para os corpos d'água, reduzindo as áreas naturais e tornando mais escassos os espaços livres, produzindo urbanização em zonas vulneráveis, notadamente em áreas de inundação de rios, no interior das cidades.

O IBGE (2010) declara que Santana do Livramento tem 82.464 habitantes e Quaraí tem 23.021 habitantes. Ambas as cidades são consideradas pequenas, perante o limite de 100.000 habitantes. Já o município de Bagé conta com 117.938 habitantes, considerada uma cidade de porte médio.

Figura 17 - Mapeamento entre corpos d'água e áreas urbanizadas em Santana do Livramento, Quaraí e Bagé.



Fonte: realizado pelo autor (2024), a partir de dados disponibilizados pelo IBGE (2010).

#### 4.1.4 Características geomorfológicas comuns em Bagé, Santana do Livramento e Quaraí

Em relação às formas de relevo, Bagé, Santana do Livramento e Quaraí estão situadas em colinas (ou cerros), onde apresentam relevo acidentado, com elevações e depressões cobertas por vegetação nativa. O município de Bagé compreende duas

regiões geomorfológicas, sendo o Planalto Rebaixado Sul Rio-Grandense e a Depressão do Rio Ibicuí. O Planalto se caracteriza por um relevo dissecado com topos predominantemente suaves e convexos, enquanto a Depressão tem relevos alongados de topo plano ou convexo e encostas de baixa declividade. A altitude média é de 350 metros e declividade média de 4% (IBGE, 2019).

Na hidrologia, essas três cidades compartilham a bacia hidrográfica do Rio Uruguai, uma das mais importantes da América do Sul, abrangendo os territórios do Brasil, Uruguai e Argentina. Devido às características da bacia, as regiões próximas aos rios estão sujeitas a inundações periódicas, em chuvas intensas (MPF, 2015).

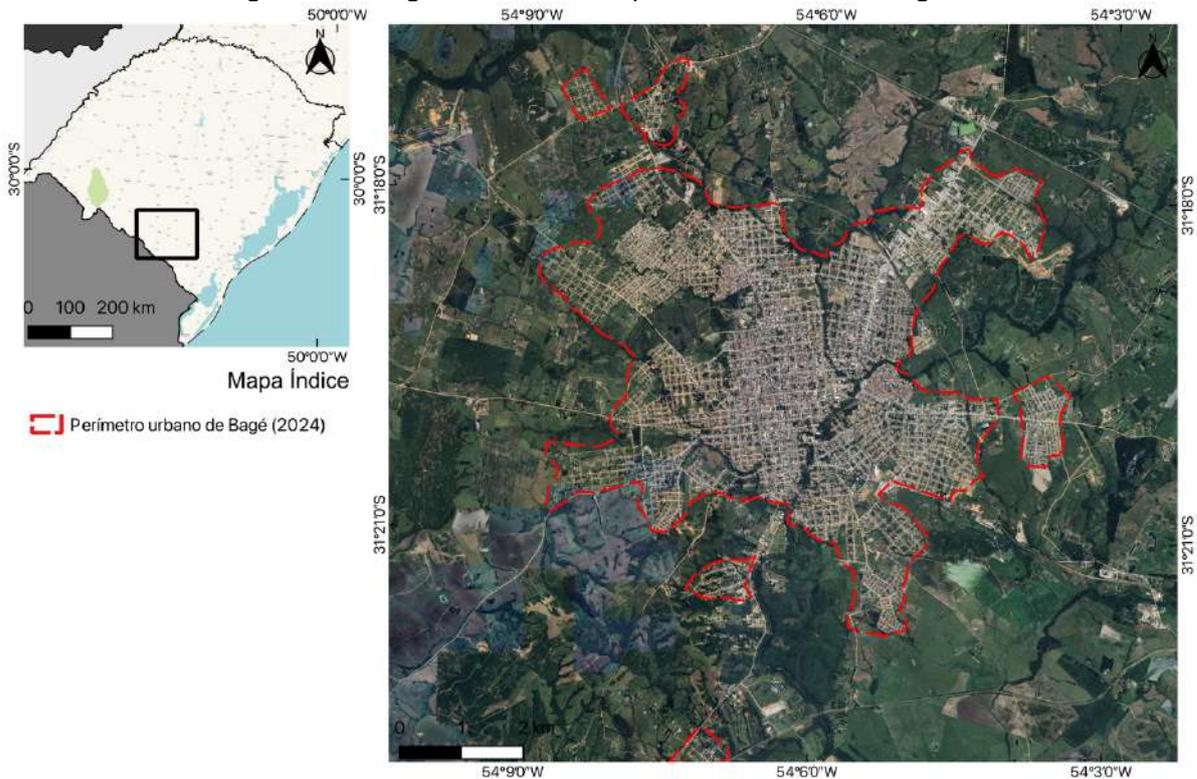
As áreas urbanizadas, formadas inicialmente, tiveram seus cursos d'água como atrativos, sendo que em Bagé e Quaraí ocorreram formações próximas ao leito dos cursos d'água, que têm o mesmo nome das cidades. Já em Santana do Livramento, a formação da cidade teve como atrativo o arroio Ibicuí, um dos principais afluentes do rio Santa Maria.

#### 4.1.5 Bagé

Bagé (Figura 18) foi a cidade escolhida para o estudo de caso e conta com os seguintes fatores:

- a) geograficamente a cidade de Bagé situa-se ao sul do Estado do Rio Grande do Sul (RS), distante 375 km da capital Porto Alegre. Encontra-se na latitude 31° 19' 53" Sul e longitude 54° 06' 25" Oeste, correspondente ao sistema de coordenadas geográficas WGS 84 (*World Geodetic System*).

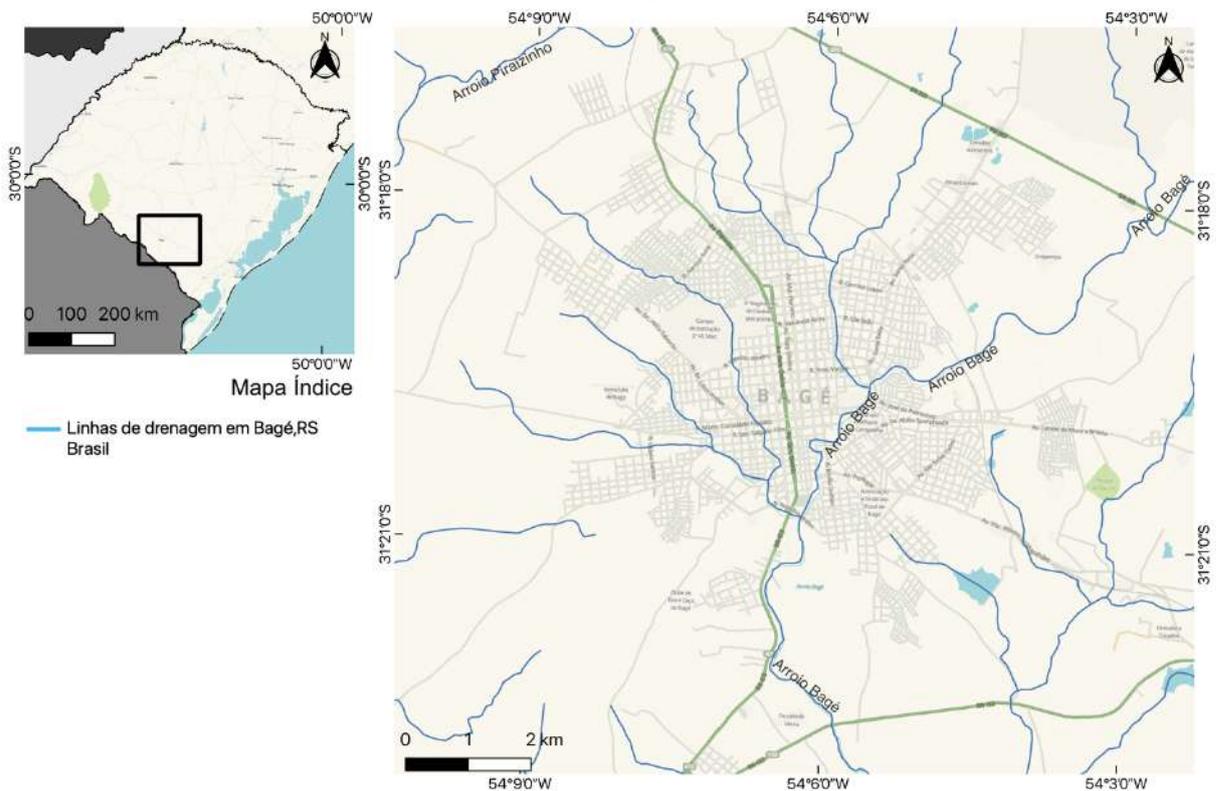
Figura 18 - Imagem de satélite do perímetro urbano de Bagé/RS.



Fonte: realizado pelo autor (2024), a partir de dados disponibilizados pelo Google (2023).

- b) quanto ao porte, é considerada uma cidade média, onde a população estimada do município é de 121.518 pessoas (IBGE, 2021).
- c) quanto à ocorrência de enchentes, que atinge áreas urbanizadas maiores perante Santana do Livramento e Quaraí.
- d) quanto à morfologia de conexão intraurbana de cursos de água (Figura 19), onde os arroios fluem dentro dos limites da área urbanizada para a periferia, o que é interessante para compreender as relações entre urbanização e a disponibilidade de espaços livres.

Figura 19 - Mapeamento de corpos d'água e urbanização em Bagé,RS.



Fonte: realizado pelo autor (2024), a partir de dados disponibilizados pelo IBGE (2010).

Dentro da região hidrográfica do Rio Uruguai se encontra a bacia do rio Negro (Figura 20), na qual a cidade de Bagé está inserida. A área total da bacia é de 69.000km<sup>2</sup>, sendo apenas 3.000km<sup>2</sup> em território brasileiro. Para a divisão do Sistema Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul (SERH-RS) está na unidade hidrográfica U-80. Abrange os municípios de Aceguá, Bagé, Candiota, Dom Pedrito e Hulha Negra, sendo a última o local da nascente (DAEB, 2007).

Figura 20 - Bacia hidrográfica do Rio Negro, RS.



Fonte: adaptado de Branco e Schafer (2016).

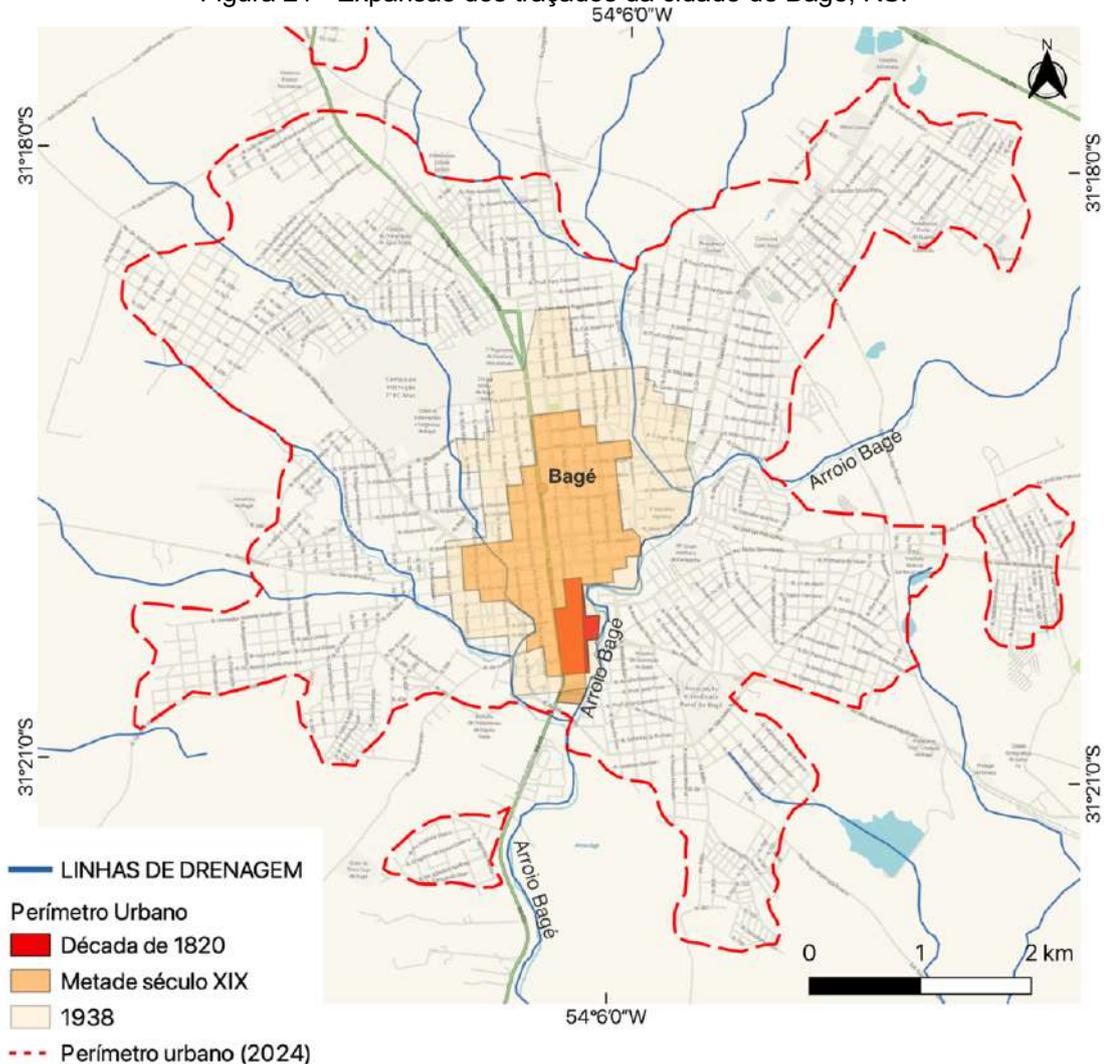
Os principais problemas relatados na bacia estão relacionados ao déficit hídrico, aos efluentes provenientes das áreas urbanas, depósito de resíduos, extração de materiais das margens, ocupação de áreas de proteção permanente (APPs) pelas atividades rurais e pela ocorrência de enchentes urbanas. O rio Negro e o arroio Pirai são os principais cursos d'água, além do arroio Bagé que atravessa a área urbana da cidade e o arroio Piraizinho que, na sub-bacia, capta a água para consumo da população do município.

A divisão territorial constitui-se em cinco distritos: Bagé, Joca Tavares, José Otávio, Palmas e Pirai. O município teve sua origem através de um acampamento militar situado em um espaço alto com leve depressão, o que tornava um lugar estratégico para a ocupação e defesa. A cidade se desenvolveu (Figura 21) primeiramente num sítio plano cercado pelo arroio Bagé e Gontam, sendo que o traçado urbano, segundo Gutierrez e Neutzling (2011), caracteriza-se por variações do traçado reticulado, com as ruas ortogonais.

Os autores declaram que o primeiro loteamento tinha traçado retilíneo com ruas estreitas, sendo que a partir da metade do século XIX houve uma expansão da cidade em direção ao Arroio Bagé, ao leste do primeiro loteamento, cujo Arroio serviu como limite de expansão para a cidade, até o final do século XIX. No terceiro momento de expansão da cidade, no começo do século XX, a cidade cresceu na direção norte, onde oito praças foram construídas. Além disso, as ruas alargaram e obtiveram canteiros centrais para arborização.

O quarto loteamento de Bagé ocorreu na década de 1930 e foi o momento em que a cidade extrapolou os limites do Arroio Bagé, possibilitando que a cidade expandisse em todas as direções, mantendo o núcleo central original. Além do Arroio, o percurso ferroviário foi um dos condicionantes que atraíram a urbanização e influenciaram o traçado.

Figura 21 - Expansão dos traçados da cidade de Bagé, RS.



Fonte: Autor (2024) a partir dos mapas feitos por Neutzling (2009).

## 4.2 Mapeamento de inundações

Por meio de modelagem urbana e do uso de SIG, juntamente dos dados de sensoriamento remoto, existe a possibilidade de identificação, mapeamento e análise das áreas de risco de inundação (Opolot, 2013). Os modelos digitais de elevação (MDE), quando inseridos em modelos hidrológicos, possibilitam o provisionamento da

direção e o fluxo do escoamento da água. As diferentes metodologias têm como base a combinação de informações de aspectos geológicos, geomorfológicos e de uso do solo, sendo a cartografia de extrema importância na gestão dos riscos e elaboração dos mapas de inundação.

O zoneamento do mapa de inundação possibilita determinar graus de risco e possibilitar o melhor controle do espaço, através das leis de proteção e ocupação do solo, através de diretrizes normativas e legais. Para Veyret (2007), o caráter objetivo do risco só é atingido após o zoneamento correto das áreas de maior impacto das enchentes e inundações.

As áreas de inundação têm conexão direta com as áreas a serem renaturalizadas, pois compartilham do mesmo espaço: o corpo d'água. Além disso, as áreas de renaturalização principais são aquelas áreas em que existam conflitos socioespaciais entre urbanização e rios, sendo necessário identificar as características desses lugares e indicar alternativas para reduzir os problemas de inundações, além de garantir a sustentabilidade e qualidade das águas.

Para isso, a pesquisa estudou dois métodos de realizar a modelagem hidráulica e mapeamento de inundações, que servirão de embasamento para as próximas etapas do trabalho. A seguir estão os conceitos do Modelo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*) e do Método de análise hierárquica (AHP).

A escolha destes métodos está ligada aos dados de entrada, onde ambos não necessitam de imagens de satélite de áreas inundadas, ou a busca de dados externos, como pesquisas de campo. O método AHP utiliza dados socioespaciais e ambientais da área de estudo para fazer uma análise pareada, enquanto o modelo HAND utiliza apenas o modelo digital de elevação disponibilizado por diversos satélites.

### 4.3 Modelo HAND

O Modelo HAND foi desenvolvido por Rennó *et al.* (2008), onde busca simular as áreas mais suscetíveis a inundações. O HAND utiliza a diferença entre a altura extraída do modelo digital de elevação e a rede de drenagem para calcular as alturas relativas que estão relacionadas com a profundidade do lençol freático e a topografia do terreno.

Através da normalização das curvas de nível extraídas do MDE (modelo digital de elevação), a partir da distância vertical mais próxima da linha de drenagem, permite

traçar a superfície de inundação utilizando apenas a topografia digital, sem utilizar a calibração com os parâmetros fluviométricos.

A qualidade do dado de entrada é muito importante para o resultado, pois a resolução espacial do MDE, segundo Momo *et al.* (2016) altera o detalhamento das áreas de inundação delineadas pelo modelo.

Goerl *et al.* (2017) demonstraram que o HAND é uma ferramenta promissora para o mapeamento, especialmente em áreas onde há poucos dados hidrológicos disponíveis. Na cidade de Igrejinha/RS, o modelo encontrou boa correlação com os pontos históricos de inundações. Hu e Demir (2021) testaram o modelo HAND em duas cidades no estado de Iowa, nos Estados Unidos e concluíram que o modelo é preciso e rápido. Speckhann *et al.* (2018) aplicaram o HAND na bacia do Rio Itajaí, no Brasil e declaram que a ferramenta é efetiva para o planejamento das cidades e a prevenção de desastres.

#### 4.4 Método AHP

O método AHP, constituído por Saaty (1977) busca a criação de uma escala de importância entre todos os fatores analisados e, logo em seguida, encaixá-los em uma matriz de relacionamento que fará a comparação pareada. Através da síntese dos valores dos agentes de decisão, o método é capaz de determinar uma medida global para cada alternativa, priorizando-a (Galli *et al.*, 2007). Os fatores, segundo Santos *et al.* (2010), que influenciam diretamente no nível da água alcançado por uma inundação e independem dos níveis de precipitação são: altitude, declividade, uso da terra e tipo do solo.

Magalhães *et al.* (2011) sintetizaram justificativas para cada um dos itens, sendo eles: a altitude tem importância pois, quanto maior, menor a probabilidade de inundação devido as ações da lei da gravidade, que é capaz de direcionar a água para as áreas mais baixas; a declividade influencia no acúmulo de água no terreno, onde áreas planas são mais suscetíveis do que áreas escarpadas; o uso e ocupação da terra influencia no escoamento superficial e na infiltração de água pluvial. Áreas mais impermeáveis acumulam mais água do que solos com cobertura florestal que são menos compactados; por fim, o tipo de solo também implica no escoamento superficial e infiltração da água.

Com os mapas prontos de cada fator, se executa o cálculo algébrico do RIG (Risco de inundação) onde é obtida uma imagem *raster* referentes as áreas de risco de inundações, que posteriormente pode ser convertida para polígonos capazes de medir e delimitar as diferentes áreas de inundações.

Apesar de Magalhães *et al.* (2011) demonstrarem ser um método satisfatório para o mapeamento de risco de inundação, o autor declara que o resultado sofre influência direta do pesquisador ao atribuir notas e pesos em cada fator.

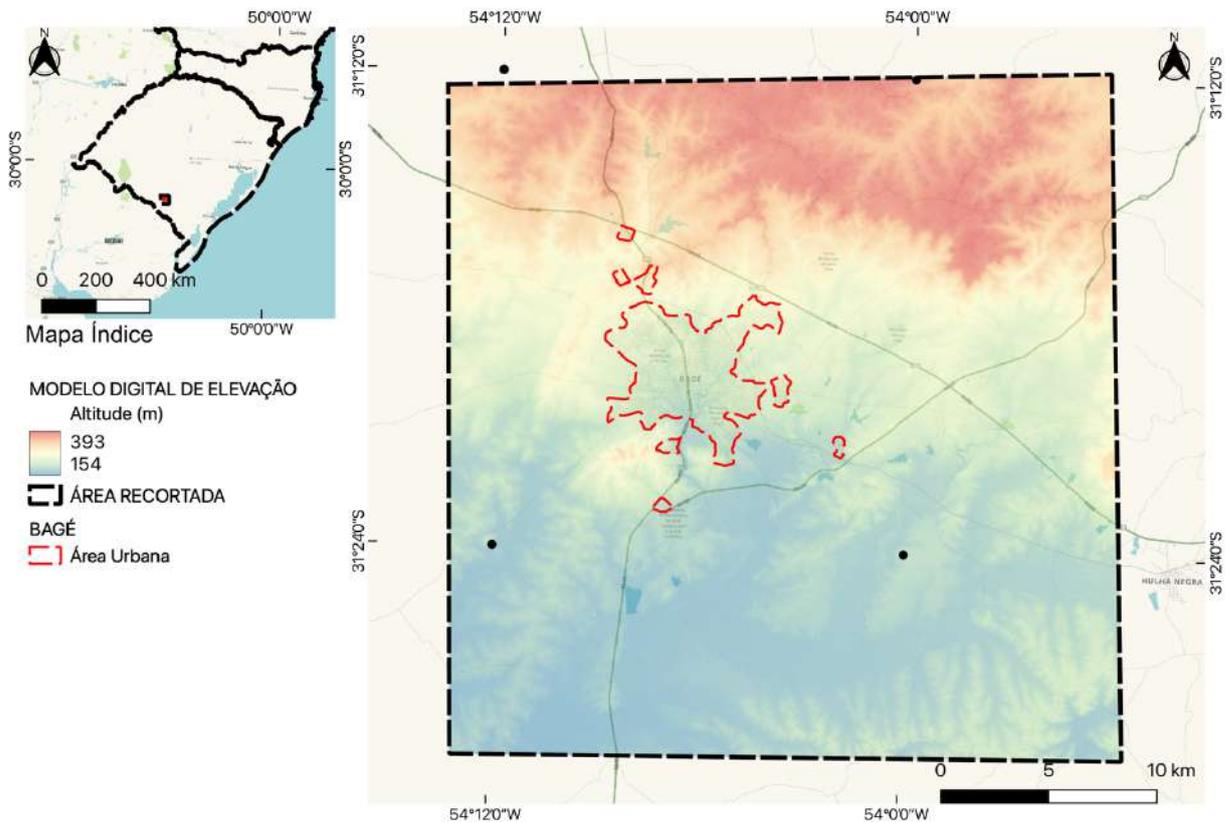
Para o trabalho, o mapeamento de inundações utilizando o modelo AHP foi descartado, devido à incerteza dos resultados, tendo em vista que os pesos são escolhidos pelo aplicador do método, ao contrário do modelo Hand que utiliza a altura acima da linha de drenagem mais próxima, presente nos dados do modelo digital de elevação, mostrando resultados mais confiáveis. Junto a isso, a cidade de Bagé não tem dados históricos sobre inundações na zona urbana que permitam a realização da pesquisa, sendo necessário a modelagem e simulação de áreas inundáveis no Município para responder às perguntas do trabalho.

#### 4.5 Aplicação do modelo HAND

A primeira etapa é a busca pelo Modelo Digital de Elevação que servirá como base para a geração de todos os dados do Modelo HAND. É possível obter este dado de diferentes maneiras, sendo que para este trabalho a busca pelo MDE (Modelo digital de elevação) ocorreu através do satélite Alos Palsar, disponibilizado pela *Alaska Satellite Facility*, com resolução de 12,5m x 12,5m.

Com o arquivo original do MDE, utilizando o Qgis, recorta-se a imagem (Figura 22) para obter apenas a área de estudo. No caso de Bagé, foi delimitado um espaço maior que a área urbana, tendo em vista que podem ocorrer discrepâncias nas bordas do modelo HAND.

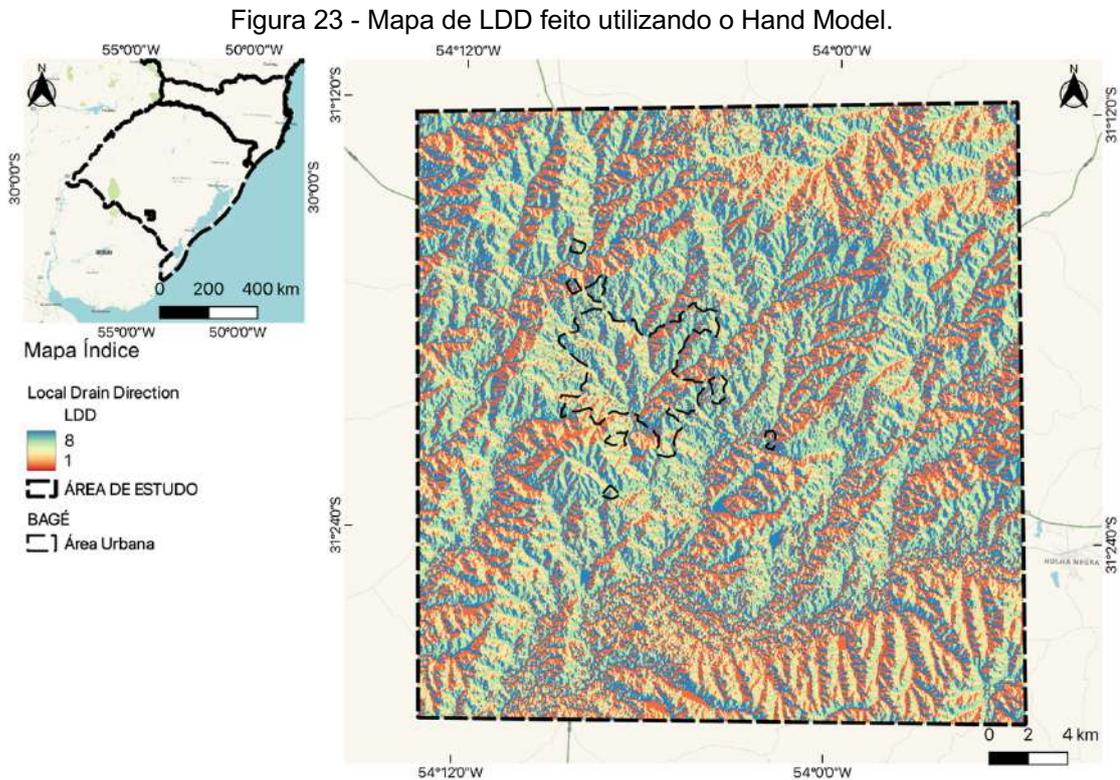
Figura 22 - MDE recortado para a região de Bagé,RS.



Fonte: produzido pelo Autor (2024) utilizando o MDE disponibilizado pelo satélite Alos Palsar (2011), acesso em 2023.

Agora que o arquivo MDE está pronto, basta adicionar a imagem ao Hand Model (Nobre, 2018), versão 0.8.2 via sistema operacional *macOS*. Com o arquivo adicionado, é necessário fazer a correção do MDE e a direção do fluxo de drenagem. Momo *et al.* (2016) conta que para cada ponto da grade define-se a direção do fluxo da água. O que comanda esse processo é a direção de escoamento superficial através do método *Deterministic Eight-Neighbors*, onde a regra é que a maior declividade atribui a direção do fluxo. A direção tem por princípio a força gravitacional, para que a água sempre siga para o ponto mais baixo. O próprio *Hand Model* executa o comando de cálculo da grade de pontos chamada LDD (*Local Drain Direction*, ou em português direção do fluxo de drenagem). Entretanto, a correção do MDE é necessária pois a imagem pode conter sumidouros, que ocorrem quando a célula da grade tem altitude menor ou igual ao menor dos oito vizinhos próximos. Isso pode ocorrer por ruídos, incoerência ou imperfeições nos dados altimétricos do arquivo. A regularização dos valores pode ocorrer de diversos modos, sendo os principais denominados *Fill* (preencher) ou *Breach* (cavar). O programa realiza esse comando junto do LDD,

resultando em um arquivo denominado DEMC. O resultado do mapa LDD calculado a partir do MDE recortado consta na Figura 23.



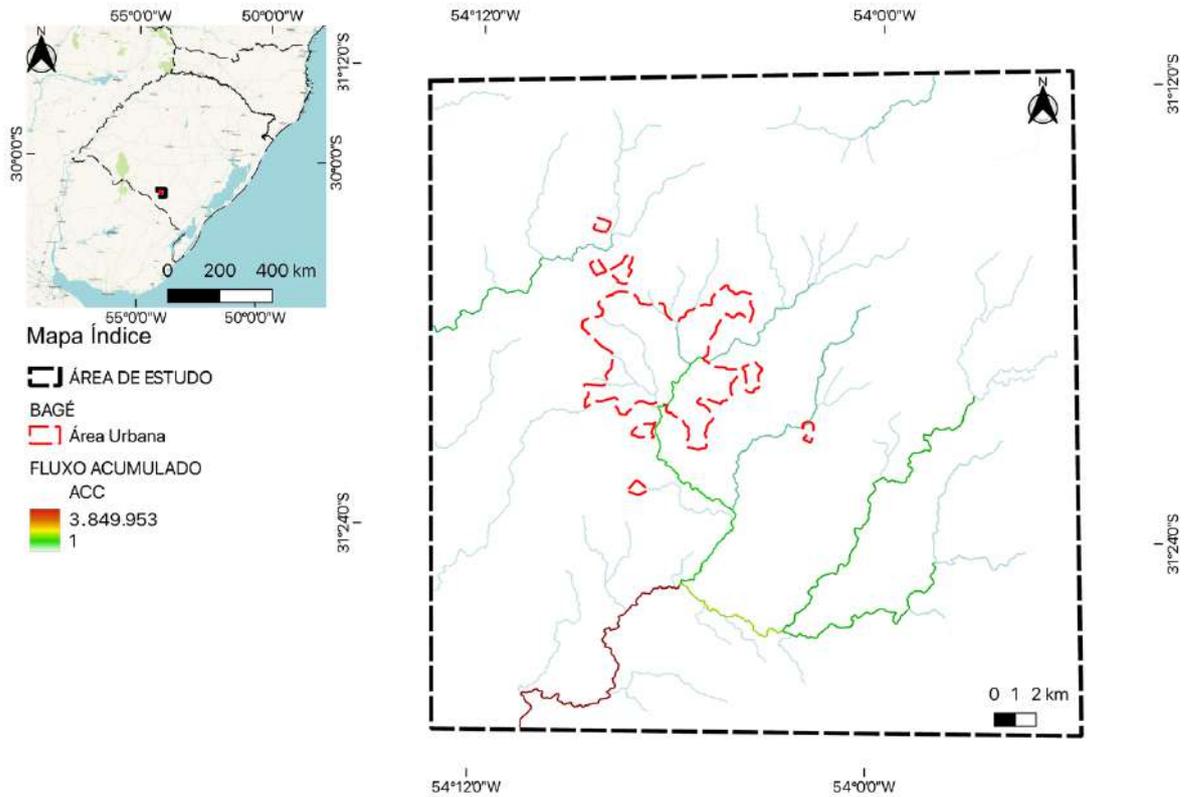
Fonte: produzido pelo Autor (2024) utilizando o MDE disponibilizado pelo satélite Alos Palsar, acesso em 2023, aplicado ao programa Hand Model.

O próximo passo é o cálculo e obtenção do mapa de fluxo acumulado (Figura 24, com linhas finas mostrando o fluxo) feito a partir do mapa de direção de fluxo de drenagem. Com estes mapas se obtêm a hidrografia sintética de referência. Para gerar a rede de drenagem da cidade de Bagé/RS, precisamos de três arquivos já obtidos, sendo eles o DEMC (o modelo digital de elevação corrigido), LDD (a direção do fluxo de drenagem) e ACC (fluxo acumulado). Dessa forma, para cada célula são calculados os valores acumulados dos fluxos recebidos, onde as células maiores contêm maior concentração de fluxo acumulado. É necessário escolher um valor de limiar mínimo que irá identificar as células onde se iniciam os cursos d'água, ou seja, a definição da rede de drenagem parte de uma área de contribuição maior que o limiar definido.

O valor do limiar impacta diretamente no restante do processo, já que quanto maior o valor do limiar, menos células da grade são encontradas, reduzindo a densidade da drenagem. Com isso, apenas os principais cursos d'água são

calculados. Quanto menor o valor, mais detalhamento na rede de drenagem é considerado (MOMO *et al.*, 2016).

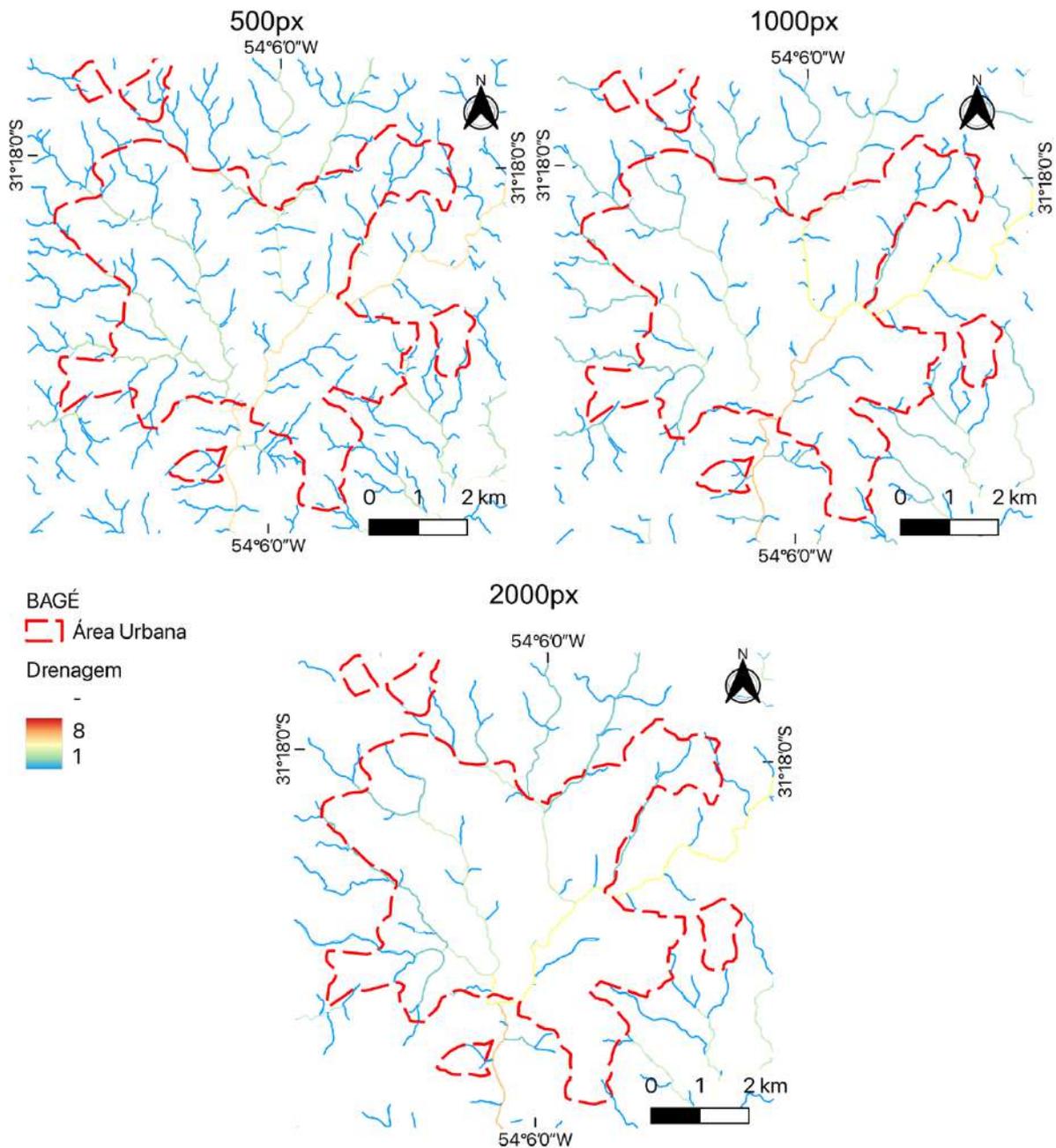
Figura 24 - Mapa de fluxo acumulado para Bagé,RS.



Fonte: produzido pelo Autor (2024) utilizando o MDE disponibilizado pelo satélite Alos Palsar, acesso em 2023, aplicado ao programa Hand Model.

Com os mapas de MDE recortado (Figura 22), LDD (Figura 23) e da rede de drenagem, se obtém o Modelo HAND para a área de estudo. No caso da pesquisa, foram gerados três mapas de rede de drenagem (Figura 25), sendo o primeiro com o limiar de rede de 500px (0,95km<sup>2</sup>), o segundo com o limiar 1000px (1,90km<sup>2</sup>) e o terceiro com limiar 2000px (3,80km<sup>2</sup>), de modo a identificar quais os resultados trariam informações mais adequadas para a área de trabalho desta pesquisa.

Figura 25 - Diferença de limiares de cálculo de rede de drenagem para a cidade de Bagé, RS.



Fonte: produzido pelo Autor (2024) utilizando o MDE disponibilizado pelo satélite Alos Palsar, acesso em 2023, aplicado ao programa Hand Model.

#### 4.5.1 Validação do Modelo Hidráulico por dados históricos

Para a validação do Modelo *HAND*, é necessário um estudo a partir de fatos históricos, relatos de moradores, imagens ou estudo de campo em pontos distintos das áreas de inundação criadas pelo *HAND*.

Dados históricos podem ser buscados em pelo menos três modos, a saber:

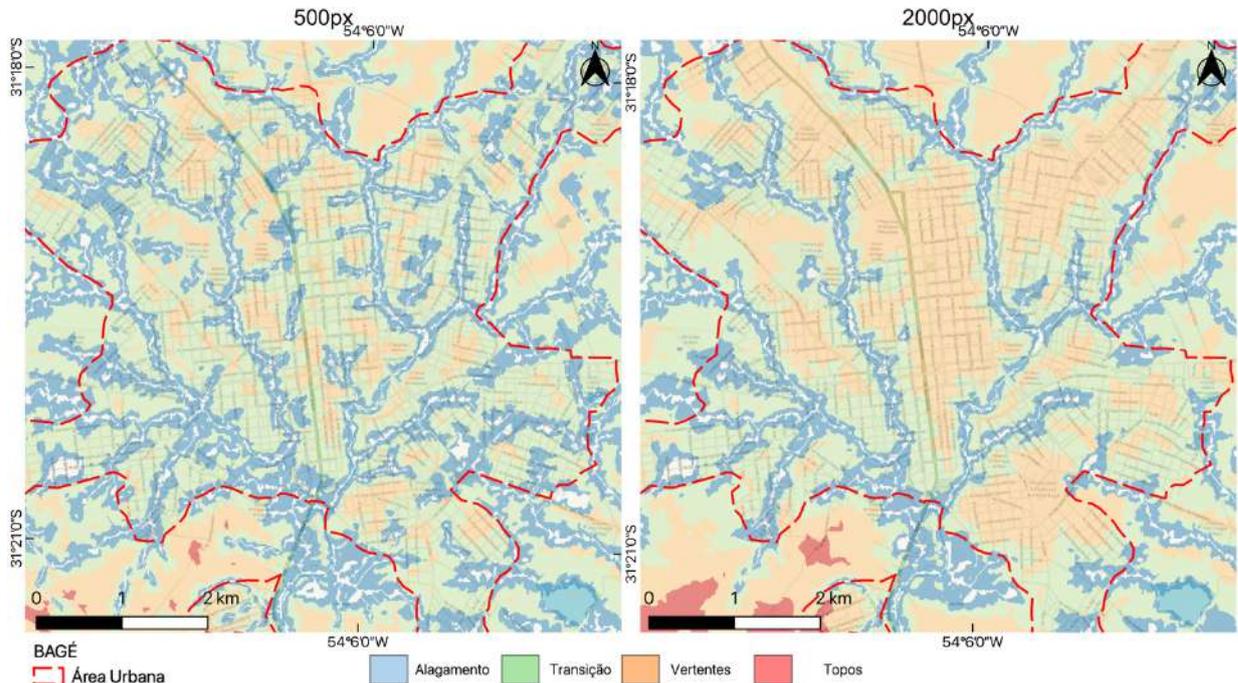
- através da pesquisa online sobre “inundações” na área de estudo, devem aparecer imagens e relatos em sites jornalísticos do Município;
- por coleta de dados históricos através de museus, bibliotecas e jornais, da época em que as inundações ocorreram;
- pela busca por relatos de moradores próximos às possíveis áreas de inundação, que consigam confirmar locais onde o modelo indicou que haveria enchentes. Além disso, pode ser realizada coleta de dados em campo das cotas de inundação ou marcações em construções possivelmente atingidas pela água.

No trabalho, foi utilizado o primeiro modo de validação, através da pesquisa online sobre inundações na cidade de Bagé/RS, sendo encontradas imagens e vídeos que mostrassem os pontos de inundação. Inserindo os dados obtidos e fazendo a sobreposição do mapa de inundação com os pontos marcados em ambiente SIG, é possível verificar similaridades com as classificações e irregularidades, que serão corrigidas para completar a validação do modelo Hand.

Além da validação, é realizada a reclassificação do mapa para determinar o nível limite a ser analisado. Primeiramente foi utilizada uma adaptação da classificação de Silva *et al.* (2013) em 4 atributos renomeados, sendo: alagamento (até 5 metros), transição (entre 5 e 15 metros), vertentes (entre 15 e 50 metros) e topos (maior que 50 metros). A reclassificação foi feita no Qgis utilizando o comando “reclassify by table” onde foram preenchidos 4 valores: 1 (em azul), 2 (em verde), 3 (em laranja), 4 (em vermelho) referentes as 4 classes apresentadas por Silva *et al.* (2013). O resultado da reclassificação está na Figura 26.



Figura 27 - Diferença de limiar na área central de Bagé, RS.

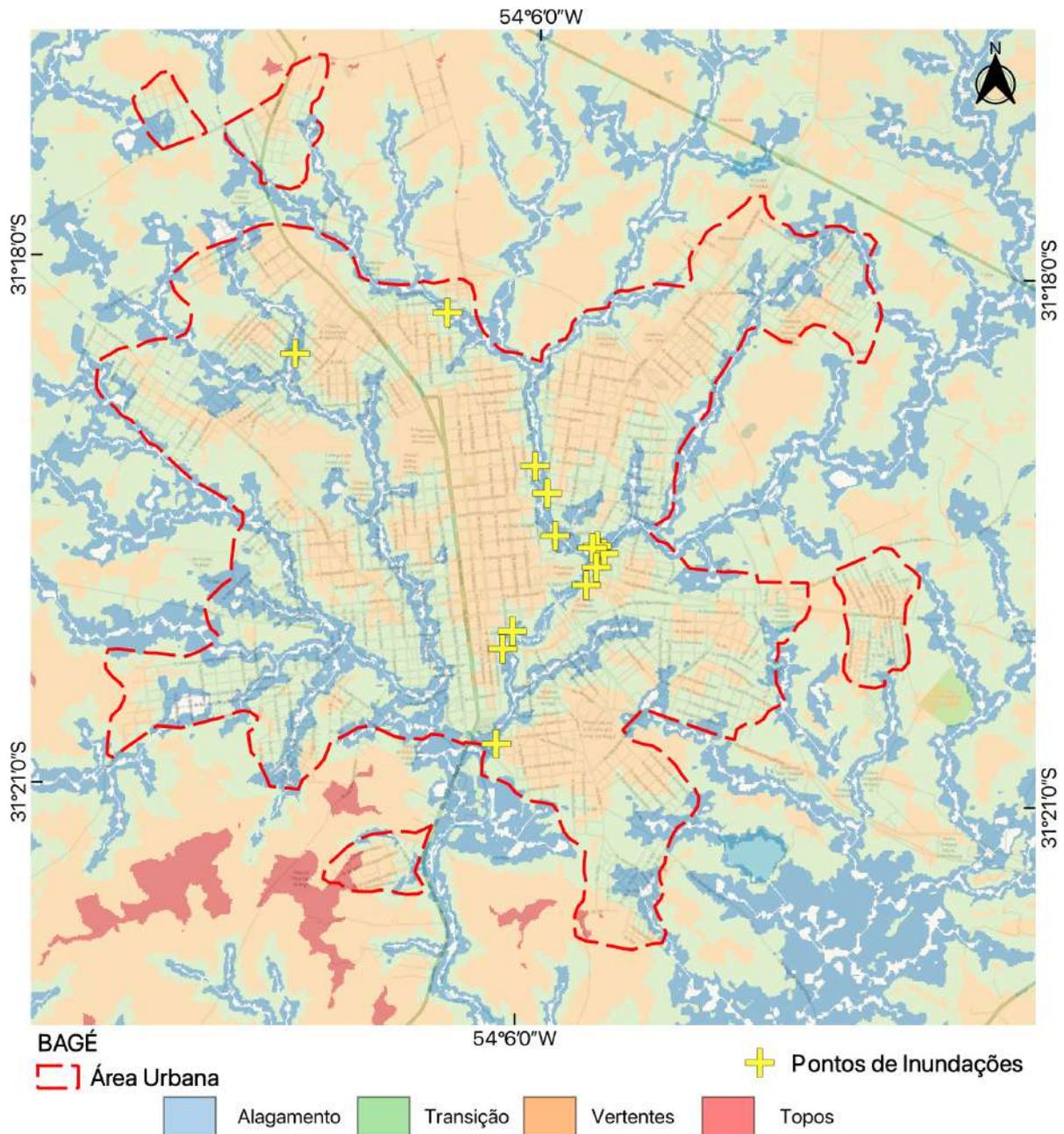


Fonte: produzido pelo Autor (2023) utilizando o MDE disponibilizado pelo satélite Alos Palsar, acesso em 2023, aplicado ao programa Hand Model.

Para continuar a validação do modelo, foi criado um arquivo *shapefile* de pontos, onde foram demarcados pontos de enchentes e inundações ocorridas na cidade de Bagé. Os relatos foram obtidos através de vídeos online feito por moradores do Município. Os arquivos fotográficos foram demarcados como pontos na cidade (Figura 28). Ao todo, foram obtidas 13 demarcações em diferentes locais da área urbana.

Viegas (2009) gravou um vídeo e postou no Youtube mostrando 2 pontos de inundação, Farias (2009) mostrou a enchente de 2009 na cidade de Bagé em 7 localidades diferentes, F. (2009) gravou a inundação atingindo uma ponte na rua Walter Dias da Costa. Marques (2009) mostrou o momento em que a água atinge a ponte próxima a catedral da cidade.

Figura 28 - Pontos de enchentes e inundações.



Fonte: produzido pelo Autor (2023) utilizando o MDE disponibilizado pelo satélite Alos Palsar, acesso em 2023, aplicado ao programa Hand Model.

Dos treze pontos demarcados no mapa, apenas dois pontos estão em áreas consideradas de “transição” entre 5 e 15 metros de altitude referente a linha de drenagem mais próxima, sendo que os outros onze pontos demarcados no mapa estão em áreas de alagamento entre 0 e 5 metros de altitude.

A princípio de teste, a reclassificação inicial foi refeita, desta vez utilizando 5 classes, a partir do proposto por Silva *et al.* (2013). O primeiro com altitude entre 0 e 5 metros, o segundo entre 5 e 10 metros, o terceiro entre 10 e 15 metros, o quarto

entre 15 e 50 metros, e o último entre 15 e 110 metros, sempre em referência à linha de drenagem mais próxima.

A Figura 29 mostra os pontos (em amarelo) que estão na área de transição e, com a reclassificação, foi possível delimitar ainda mais o mapa de inundação da cidade de Bagé, RS, para destacar apenas as áreas que tenham tido pontos de inundação.

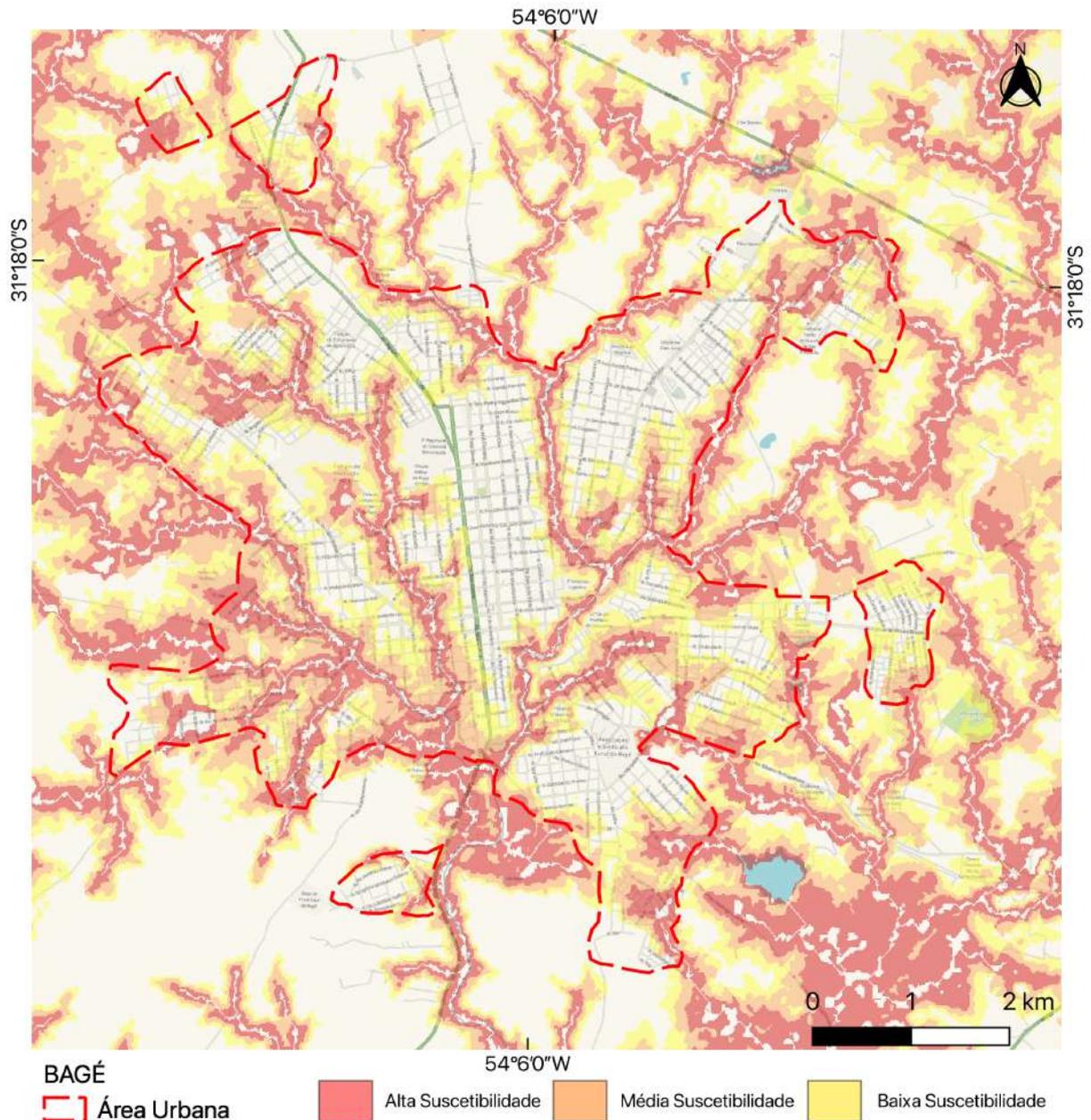
Figura 29 - Diferença da reclassificação pelo proposto por Silva et al. (2013)



Fonte: produzido pelo Autor (2023) utilizando o MDE disponibilizado pelo satélite Alos Palsar, acesso em 2023, aplicado ao programa Hand Model.

Com isso, foi obtido o mapa de suscetibilidade a inundação da cidade de Bagé, RS (Figura 30). O mapa contém três classes, sendo elas em alta suscetibilidade (em vermelho), média suscetibilidade (em laranja) e baixa suscetibilidade (em amarelo).

Figura 30 - Mapa de suscetibilidade a inundações para a cidade de Bagé, RS.



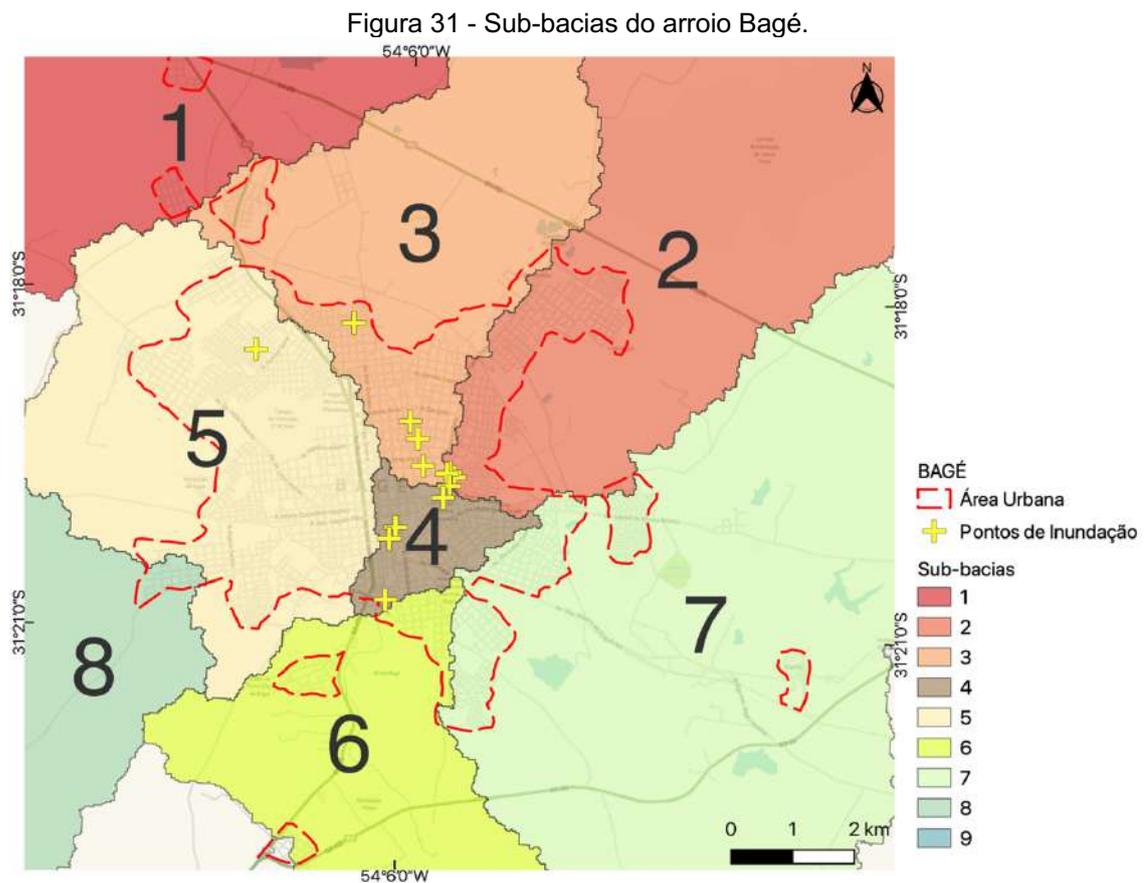
Fonte: produzido pelo Autor (2024) utilizando o MDE disponibilizado pelo satélite Alos Palsar, acesso em 2023, aplicado ao programa Hand Model.

Como os pontos coletados na etapa da validação do Modelo HAND estão concentrados principalmente na área de alta suscetibilidade e o ponto mais extremo está concentrado na área de média suscetibilidade, estas duas serão consideradas como as principais áreas com potencial de renaturalização, assumindo que isso ocorre no entorno dos cursos d'água urbanos, com área delimitada pela suscetibilidade à inundação, conforme está indicado nessa pesquisa.

#### 4.6 Delimitação das sub-bacias do Arroio Bagé

Após a delimitação da área de estudo pela cidade de Bagé, RS, os autores Zhao et al. (2007) declaram que o limite ideal para o planejamento da restauração do rio deve estar concentrado na escala de bacias e sub-bacias, por esse motivo, estão delimitadas aqui as sub-bacias do Arroio Bagé, as quais serão utilizadas para a análise no próximo capítulo.

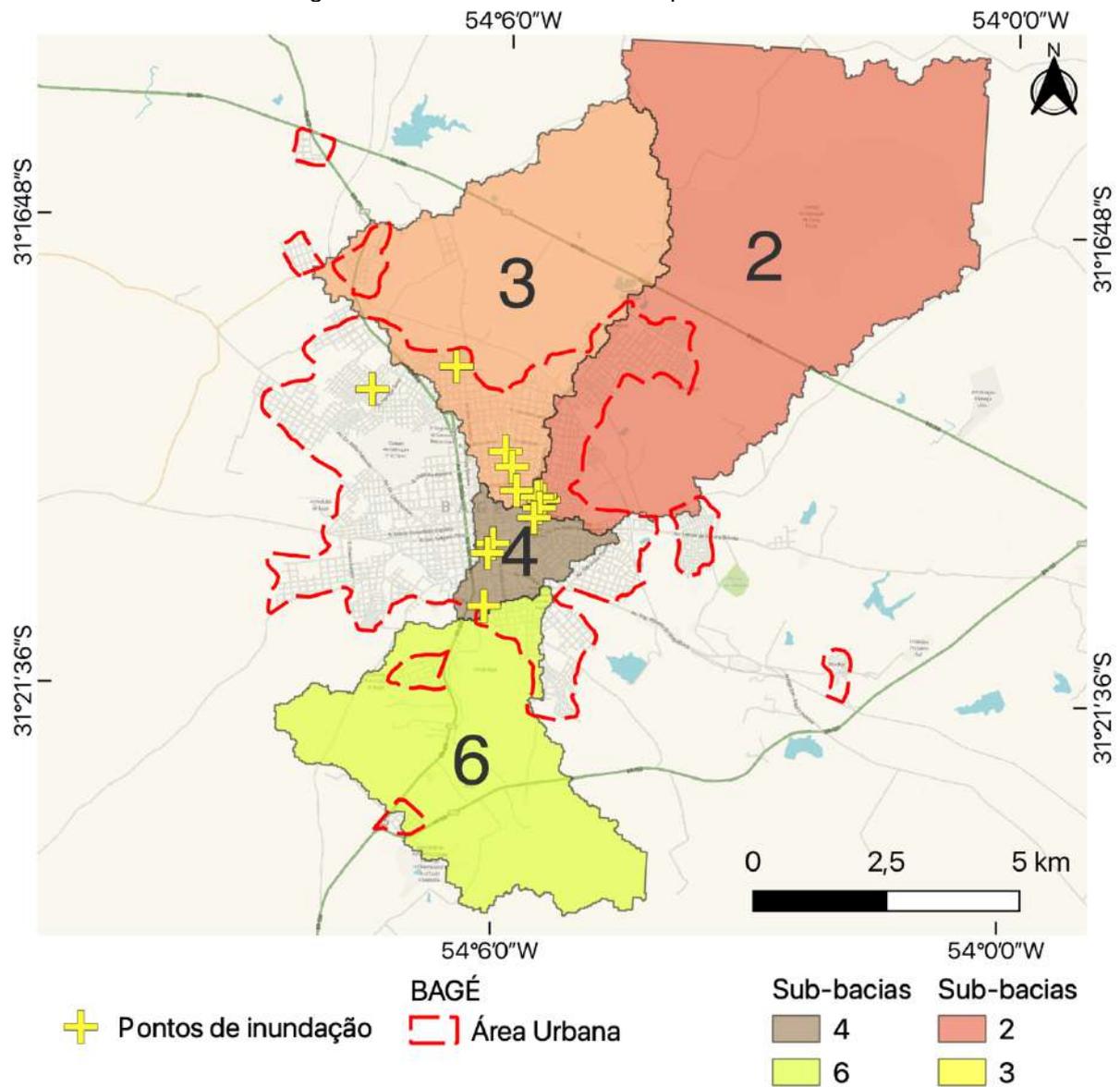
Para o processo de demarcação das sub-bacias do arroio (Figura 31) foi utilizado o programa Global Mapper, onde a partir do Modelo Digital de Elevação, extraíram-se as sub-bacias com área próxima de 1500 hectares. Do total de sub-bacias identificadas na área urbana, foram escolhidas quatro unidades, denominadas de 2, 3, 4 e 6, na Figura 32, adiante. A escolha das sub-bacias se deu a partir da maior incidência de pontos de inundação registrados.



Com 4.596 hectares de abrangência, a sub-bacia 2 é a maior, onde 469,61 hectares (10,21%) estão na área urbana. A sub-bacia 3 abrange 2.502 hectares, onde

612,03 hectares (24,46%) estão na área urbana. A sub-bacia 4 abrange 372 hectares e se encontra totalmente na área urbana. Por fim, a sub-bacia 6 abrange 2.131 hectares, onde 188,34 hectares (8,83%) estão na área urbana.

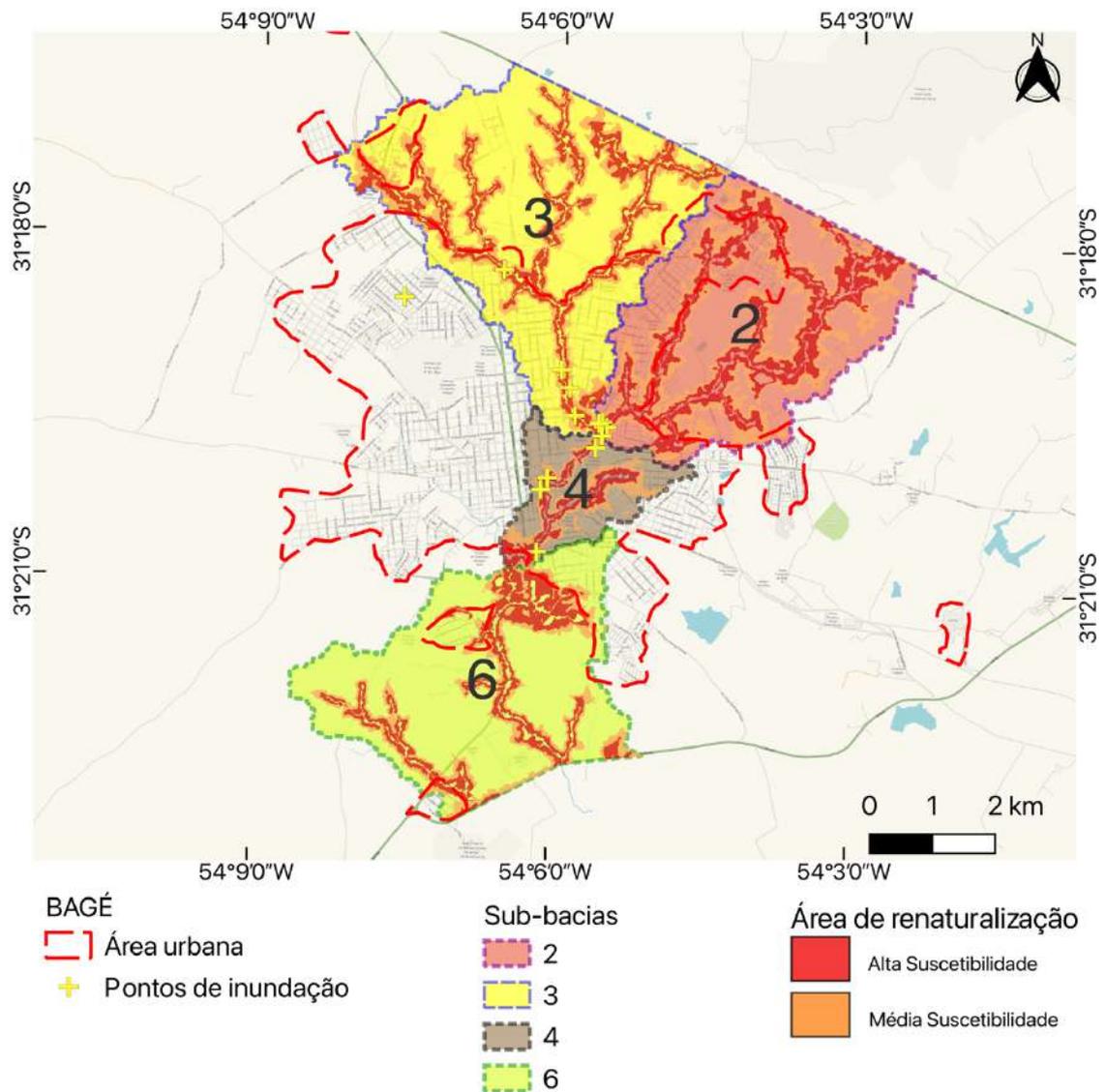
Figura 32 - Sub-bacias escolhidas para a análise.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024).

Para delimitar ainda mais a área de estudo, foram utilizadas as rodovias BR-293 e BR-153 como limites das áreas das sub-bacias 2 e 3 (BR-293) e sub-bacia 6 (BR-153). Desse modo, a Figura 33 mostra as áreas de estudo.

Figura 33 - Sub-bacias e área de inundação.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024).

No próximo capítulo, serão coletadas e analisadas as características urbanas e ambientais, utilizando as demarcações das sub-bacias e das áreas de inundação na cidade de Bagé, RS, para responder as questões de pesquisa e os resultados esperados.

## **5 Análise das características urbanas e ambientais em áreas de inundação de sub-bacias do Arroio Bagé**

Este capítulo aplica os métodos apresentados no dois capítulos anteriores, a fim de responder às questões de pesquisa e atingir os objetivos propostos na introdução, que tratam resumidamente de identificar as características urbanas e ambientais em áreas de inundação em cursos d'água urbanos, considerando que essas áreas parecem ser fundamentais em processos de renaturalização.

São nove características urbanas e ambientais utilizadas para a análise, sendo as urbanas: parcelamento do solo, uso do solo, índices urbanos, população, infraestrutura viária, áreas construídas e espaços livres. E as ambientais: altitude e declividade. A primeira característica é o parcelamento do solo, que inclui o estudo dos lotes e busca a identificação de estratos dessas parcelas, por dimensão, verificando a ocorrência de concentrações de lotes maiores e menores. Em processos de renaturalização, a presença de lotes maiores pode garantir maior quantidade de espaços livres para o restauro dos corpos de água. É esperado encontrar dominância de lotes urbanizados de tamanho pequeno e médio, como é usual nas áreas urbanas de cidades de fronteira do Brasil com o Uruguai. Ao mesmo tempo, são também esperadas glebas não loteadas, de tamanho maior, as quais podem ser fundamentais em processos de renaturalização.

A segunda característica é o uso do solo, que inclui as funções variadas dos lotes e busca a identificação das classes de uso do solo, verificando a predominância de usos, pois para cada tipo pode ser concebida uma estratégia de integração, em processos de renaturalização. Também interessa identificar a presença de usos capazes de atrair a urbanização, como comércio, equipamentos comunitários e institucionais. É esperada a presença dominante de usos habitacionais, o que implica em especial atenção a sua integração aos processos de renaturalização, observando suas dimensões e as possibilidades de ação em unidades pequenas.

A terceira característica são os índices urbanos, que inclui estudos de taxa de ocupação e índice de aproveitamento, buscando verificar os valores praticados nas áreas de inundação, pois a presença de estoques construídos, representada pelo índice de aproveitamento, pode operar como atração de novas construções, o que pode ser um problema, em tentativas de implementar algum processo de renaturalização. Com relação à taxa de ocupação, a pesquisa vai estudar a

disponibilidade de áreas não cobertas por edificações, sendo importante a presença de espaços de recuos e pátios internos.

A quarta característica é a população, que inclui a quantificação, de forma estimada, de habitantes presente nestas áreas. A presença de população em áreas ribeirinhas é controversa, pois as atividades urbanas nestes locais podem ser uma causa da degradação ambiental, que posteriormente pode demandar intervenções como a renaturalização. Por outro lado, as pessoas podem vir a ser fundamentais para garantir que a renaturalização obtenha sucesso, ao assumir comportamentos compatíveis com a natureza, ao demandar melhorias ambientais e ao empreender as ações necessárias para renaturalizar. Ao observar a distribuição populacional em áreas urbanizadas, mediante os setores censitários do IBGE, no caso das cidades médias de fronteira do Brasil com o Uruguai, podem ser esperadas concentrações de população associadas a conjuntos habitacionais e áreas com privilégios locais, que normalmente incluem baixo valor do solo e elevada acessibilidade urbana. No caso da renaturalização de rios urbanos, isso pode auxiliar a identificar prioridades e a indicar a necessidade de políticas para áreas de risco de inundações.

A quinta característica é a infraestrutura viária, que inclui os tipos de revestimentos de pavimentação viária, buscando identificar a quantidade de área destinada ao sistema viário e os tipos de revestimento da pavimentação utilizados, verificando sua participação na impermeabilização do solo urbano. É esperado encontrar um sistema viário menos consolidado e com pavimentação precária, nas bordas da cidade e nos bairros com população empobrecida, implicando na viabilidade da renaturalização em áreas de transição entre áreas urbanas e rurais, assim como importantes possibilidades de trabalhar em áreas com população de baixa renda.

A sexta característica é a topografia, que inclui a altitude e a declividade e busca verificar a caracterização da topografia, o que pode indicar o padrão topográfico das áreas de renaturalização. Considerando as características geomorfológicas regionais e típicas do Bioma Pampa, o esperado é o predomínio de topografia ondulada, sendo raras as áreas de declive acentuado. Nesse cenário, as áreas de inundação aparecem vinculadas ao leito maior dos rios, sendo as maiores inclinações esperadas nas bordas dos leitos menores.

A sétima característica é a área construída, que inclui a projeção das edificações em lotes urbanos, sendo de interesse à pesquisa encontrar relações de

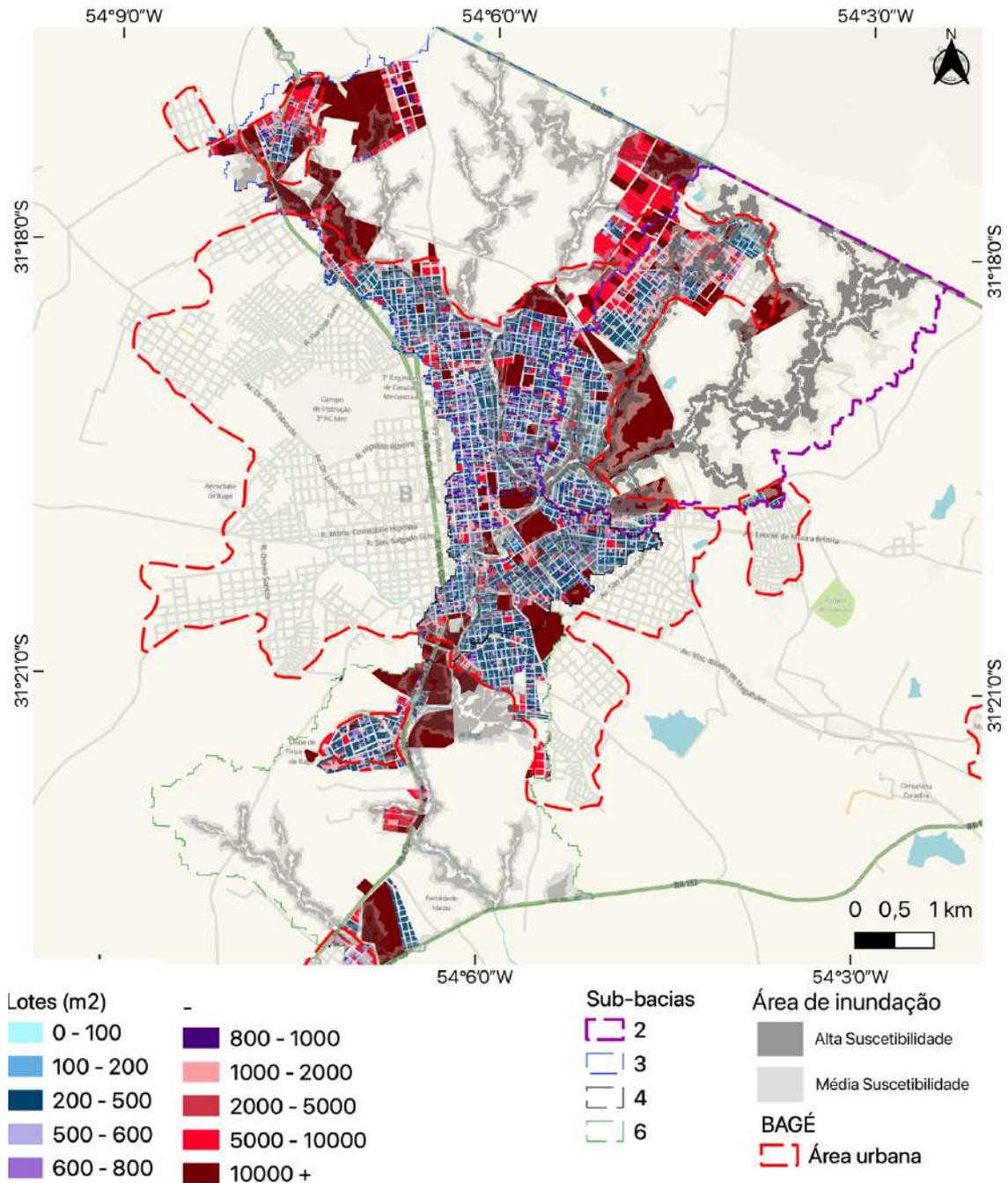
áreas construídas com não construídas, pois a presença de menores quantidades de área construída podem ser consideradas um potencial para realizar processos de renaturalização, uma vez que as edificações tradicionais recobrem o solo e tendem a impedir a presença mútua com a natureza. É esperado encontrar áreas de concentração e de rarefação de áreas construídas, sendo que a maior ocorrência pode estar diretamente relacionada com as possibilidades de acesso e com as dificuldades para edificar no local.

A oitava e última característica são os espaços livres, que incluem lotes vacantes, sistema viário público, vazios urbanos, áreas destinadas à agricultura, pecuária ou mineração e se busca identificar a presença de espaços livres em áreas de inundação, pois esses espaços são fundamentais para aproveitamento com áreas integradas à renaturalização, sendo que sua presença no leito maior dos rios pode operar como acumulação temporária de água, como lugar de presença e recuperação do ambiente natural, como possibilidade para a vegetação e a fauna associada prosperarem, assim como para eventual uso como espaços de lazer urbano. É esperado encontrar importante quantidade de espaços livres, porém localizados fora dos lugares de maior centralidade urbana, onde se intensificam os usos que atraem a urbanização. Nesse cenário, as possibilidades de renaturalização aumentam, no caso de rios urbanos, do centro para as periferias, sendo que nas bordas pode aparecer uma importante oportunidade, posto que ocorre, ao mesmo tempo, a presença de urbanização e de espaços livres.

### 5.1 Parcelamento do solo

Como início do processo de análise das características urbanas e ambientais, aqui estão os mapas de parcelamento do solo presentes nas quatro sub-bacias escolhidas para o estudo nas áreas de inundação do arroio Bagé. A Figura 34 mostra o mapa geral de parcelamento do solo, seguido pelos gráficos de quantificação de lotes por metragem quadrada, divididos por alta (Figura 35) e média (Figura 36) suscetibilidade de inundação. Posteriormente estão os mapas de cada sub-bacia. O mapa foi classificado em 10 classes referentes a área de cada lote. A área de estudo são as áreas de alta e média suscetibilidade a inundação dentro de cada sub-bacia, analisando primeiramente os dados disponíveis de toda a sub-bacia (disponibilizados por Silva *et al.* 2021) e após fazendo o recorte para as áreas suscetíveis.

Figura 34 - Mapa de parcelamento do solo presente nas quatro sub-bacias do Arroio Bagé.

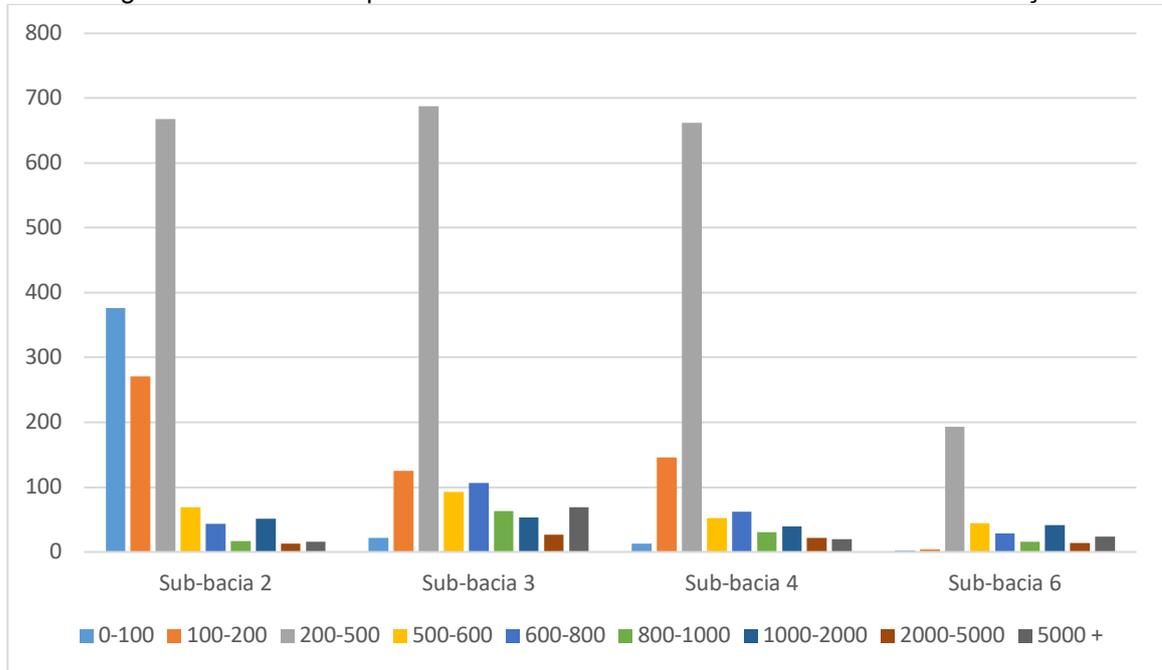


Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Com o mapa geral de parcelamento do solo nas quatro sub-bacias estudadas, é possível analisar a presença de lotes menores que 1.000m<sup>2</sup> nas regiões mais centrais da área urbana de Bagé/RS, enquanto lotes maiores que 1.000m<sup>2</sup> estão nas bordas urbanas. Estes lotes maiores oferecem maiores possibilidades para o

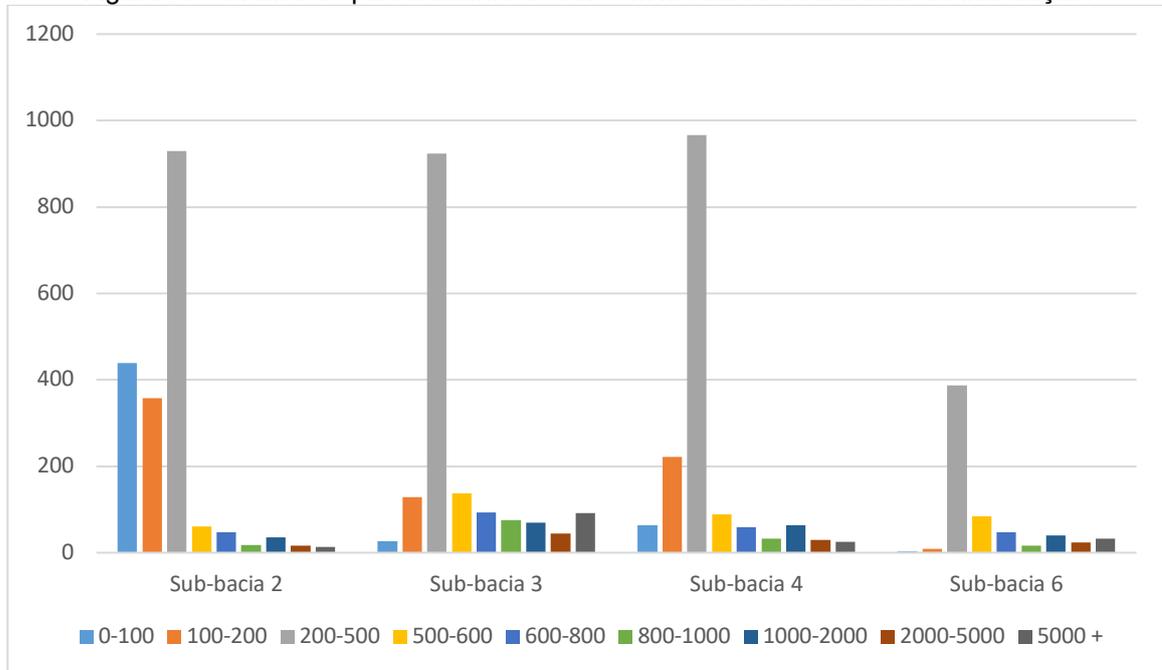
processo de renaturalização do Arroio Bagé pela maior presença de espaços livres. A seguir estão os gráficos de lotes em alta e média suscetibilidade de inundação.

Figura 35 - Gráfico de parcelamento do solo em alta suscetibilidade de inundação.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024).

Figura 36 - Gráfico de parcelamento do solo em média suscetibilidade de inundação.

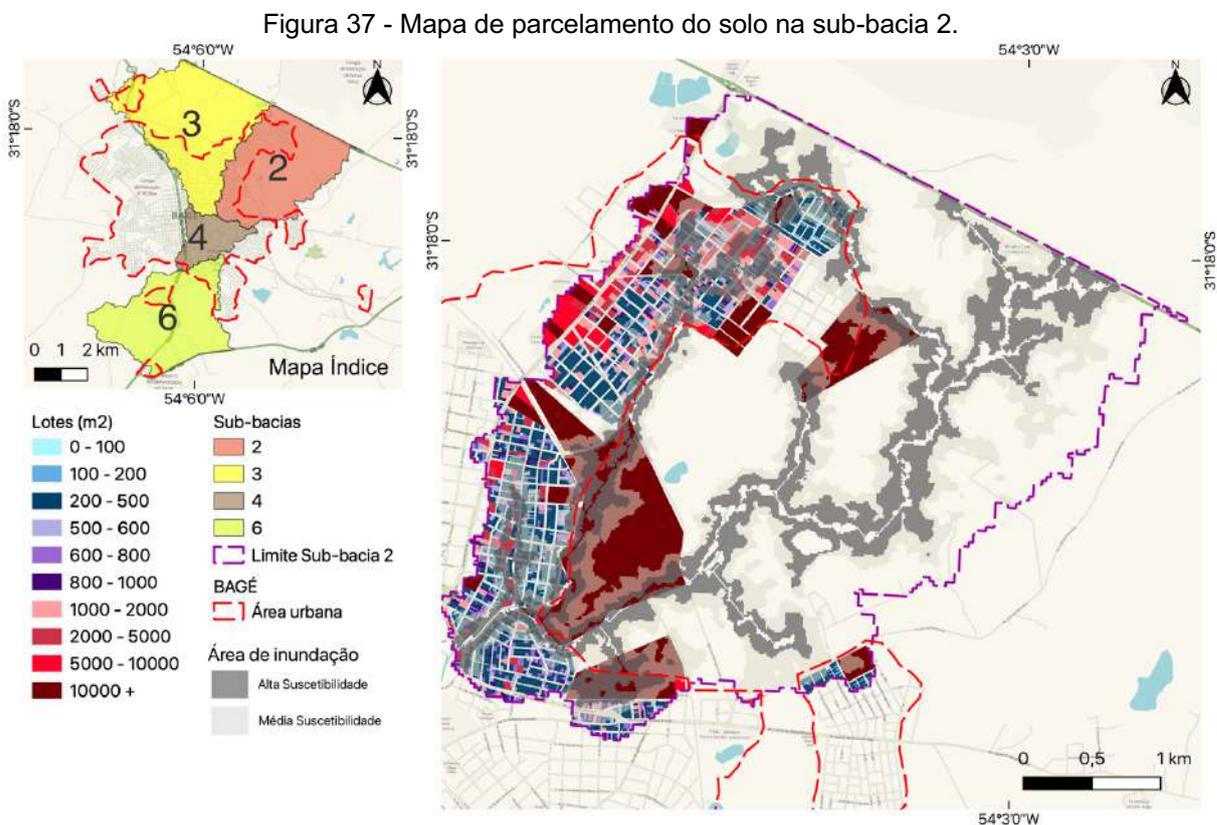


Fonte: elaborado pelo Autor (2024).

Analisando os gráficos de parcelamento do solo para alta e média suscetibilidade de inundação, destaca-se a predominância de lotes entre 200m<sup>2</sup> e 500m<sup>2</sup> nas áreas suscetíveis. Além disso, na sub-bacia 2, maiores quantidades de lotes de até 200m<sup>2</sup>, quando comparados as demais sub-bacias, o que poderia significar maior dificuldade para a renaturalização pela maior fragmentação do uso do solo. Já na sub-bacia 3, a presença de lotes maiores que 5.000m<sup>2</sup> é predominante, oferecendo maior espaço livre para renaturalização.

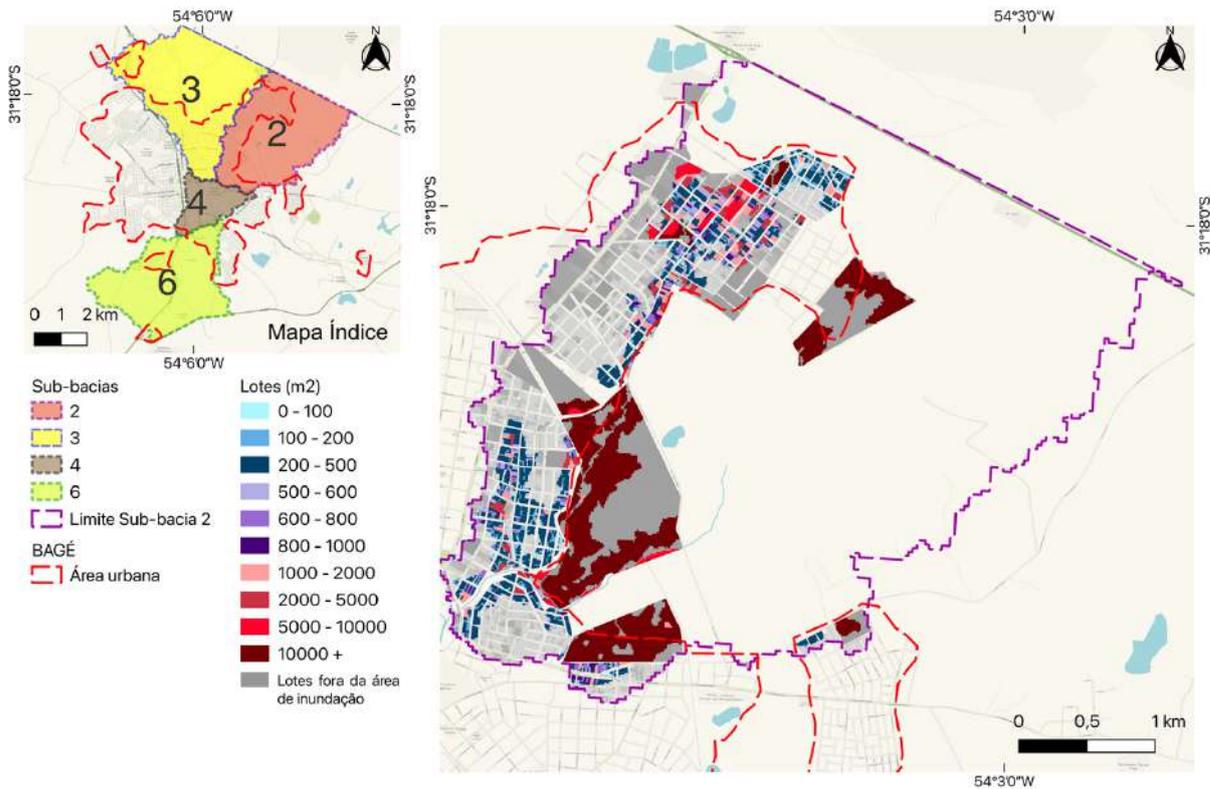
Após a visão geral do parcelamento do solo nas quatro sub-bacias do arroio Bagé e a visão em gráficos, agora estarão dispostas separadamente cada sub-bacia, possibilitando a análise detalhada.

A Figura 37 mostra os lotes categorizados por diferentes cores (relacionadas ao tamanho dos lotes em metros quadrados) delimitados pelas áreas de inundação na sub-bacia 2 e a Figura 38 mostra os lotes coloridos apenas que estão dentro de áreas inundáveis.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Figura 38 - Mapa de parcelamento do solo em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 2.



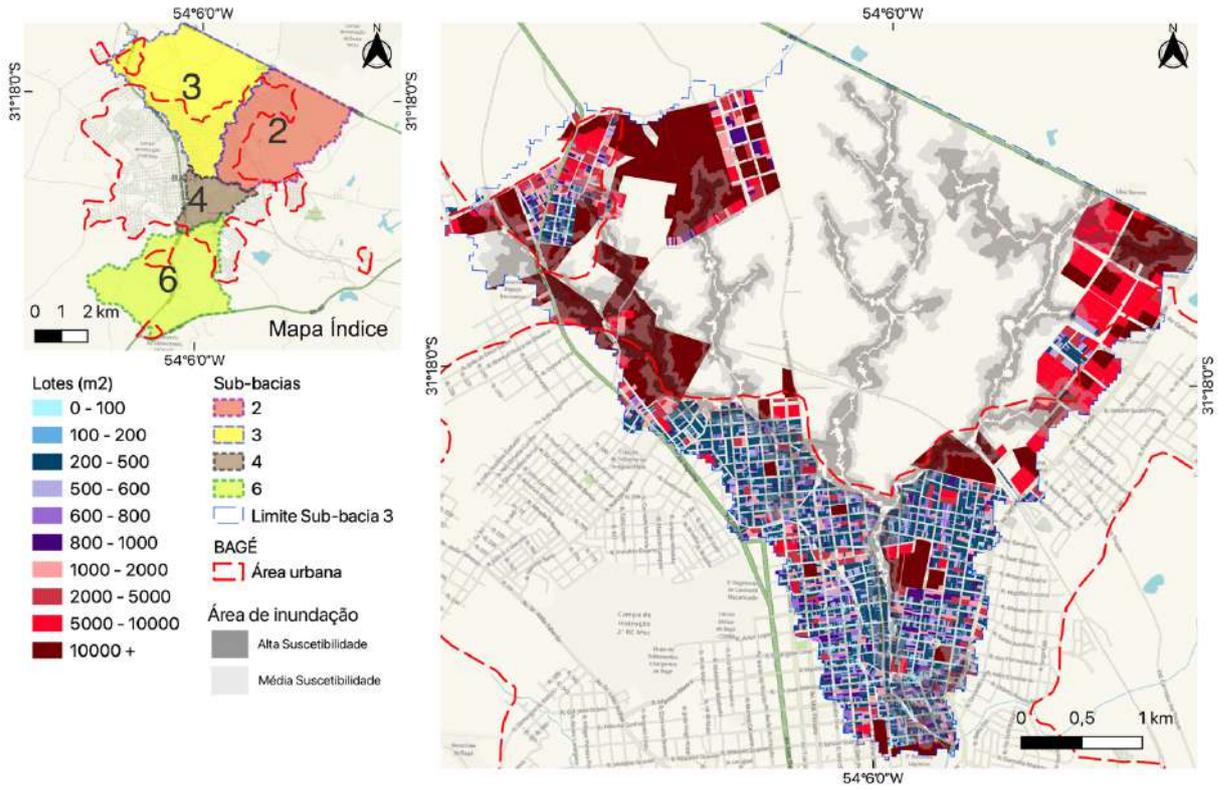
Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

A área interna aos limites da sub-bacia 2 utilizada para a análise é de 4.596 ha ou 45,96km<sup>2</sup>. A partir deste mapa é possível calcular a quantidade de lotes atingidos pelas áreas de inundação, bem como o tipo de uso de cada lote atingido.

O total de lotes presente na sub-bacia 2 são 4.927, onde 3.422 lotes (69,45%) estão dentro das áreas de inundação, sendo 1.470 lotes (29,83%) na área de alta suscetibilidade e 1.952 (39,61%) na média suscetibilidade.

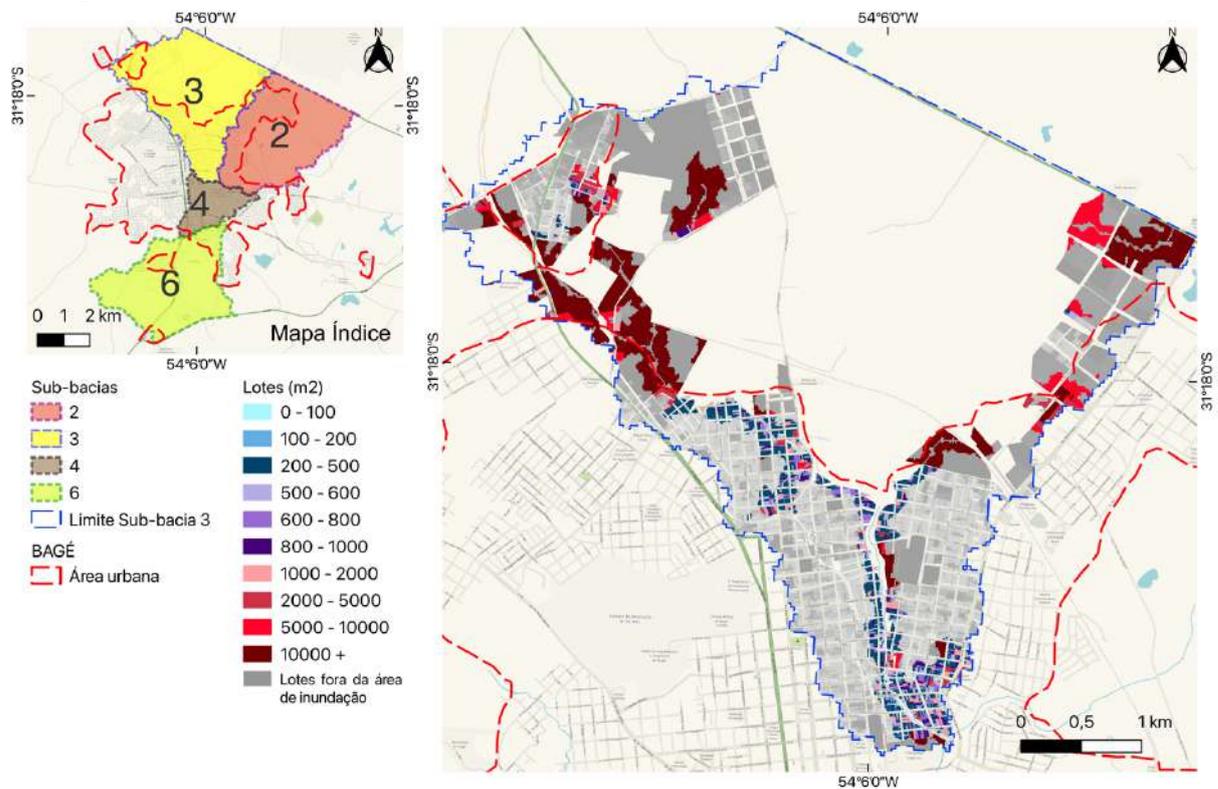
A Figura 39 mostra os lotes categorizados por diferentes cores (relacionadas ao tamanho dos lotes em metros quadrados) delimitados pelas áreas de inundação na sub-bacia 3 e a Figura 40 mostra os lotes coloridos apenas que estão dentro de áreas inundáveis.

Figura 39 - Mapa de parcelamento do solo na sub-bacia 3.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

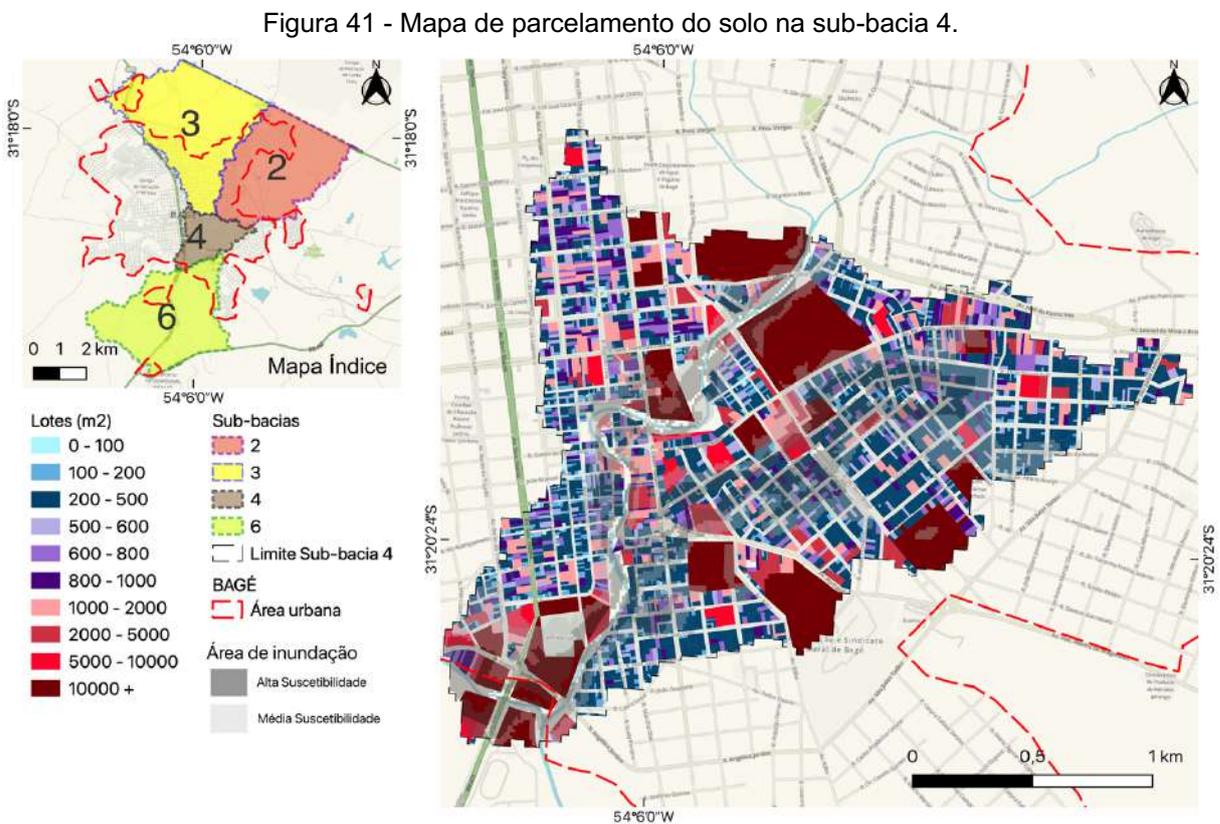
Figura 40 - Mapa de parcelamento do solo em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 3.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

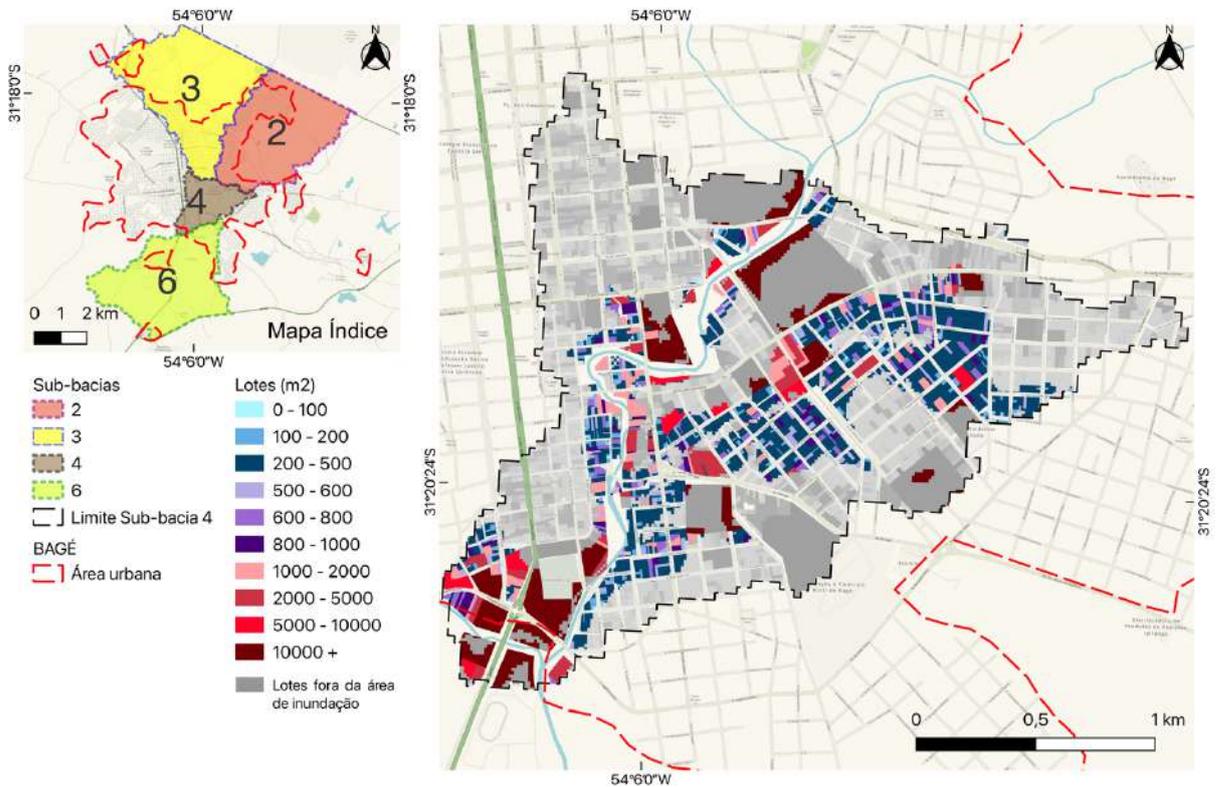
A área interna aos limites da sub-bacia 3 utilizada para a análise é de 2.502 ha ou 25,02 km<sup>2</sup>. De 7099 lotes presentes nesta sub-bacia, 2.942 lotes (41,44%) estão dentro das áreas de inundação, sendo 1.318 lotes (18,57%) na área de alta suscetibilidade e 1.624 (22,87%) na média suscetibilidade.

A Figura 41 mostra os lotes categorizados por diferentes cores (relacionadas ao tamanho dos lotes em metros quadrados) delimitados pelas áreas de inundação na sub-bacia 4 e a Figura 42 mostra os lotes coloridos apenas que estão dentro de áreas inundáveis.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Figura 42 - Mapa de parcelamento do solo em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 4.

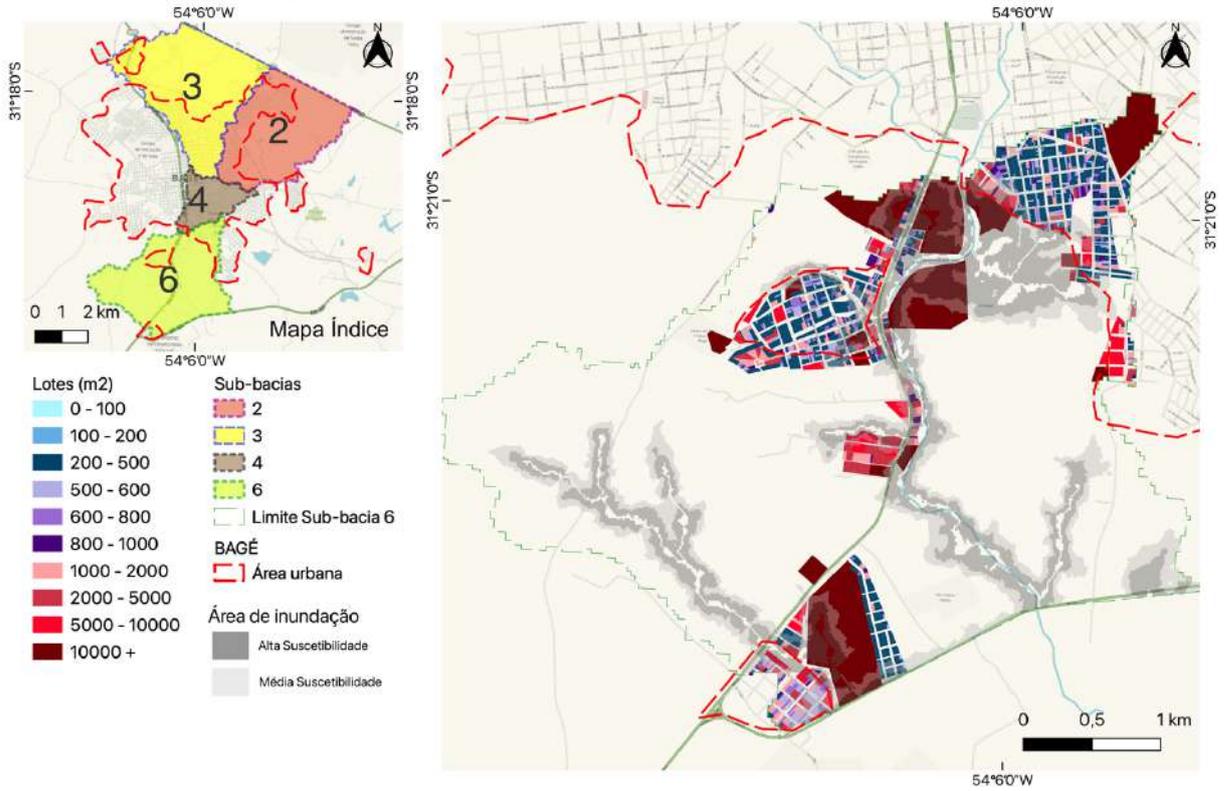


Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

A área interna aos limites da sub-bacia 4 utilizada para a análise é de 372,24 ha ou 3,72 km<sup>2</sup>. De 4.956 lotes presentes na sub-bacia, 2.668 lotes (53,83%) estão dentro das áreas de inundação, sendo 1.089 lotes (21,97%) na área de alta suscetibilidade e 1.579 (31,86%) na média suscetibilidade.

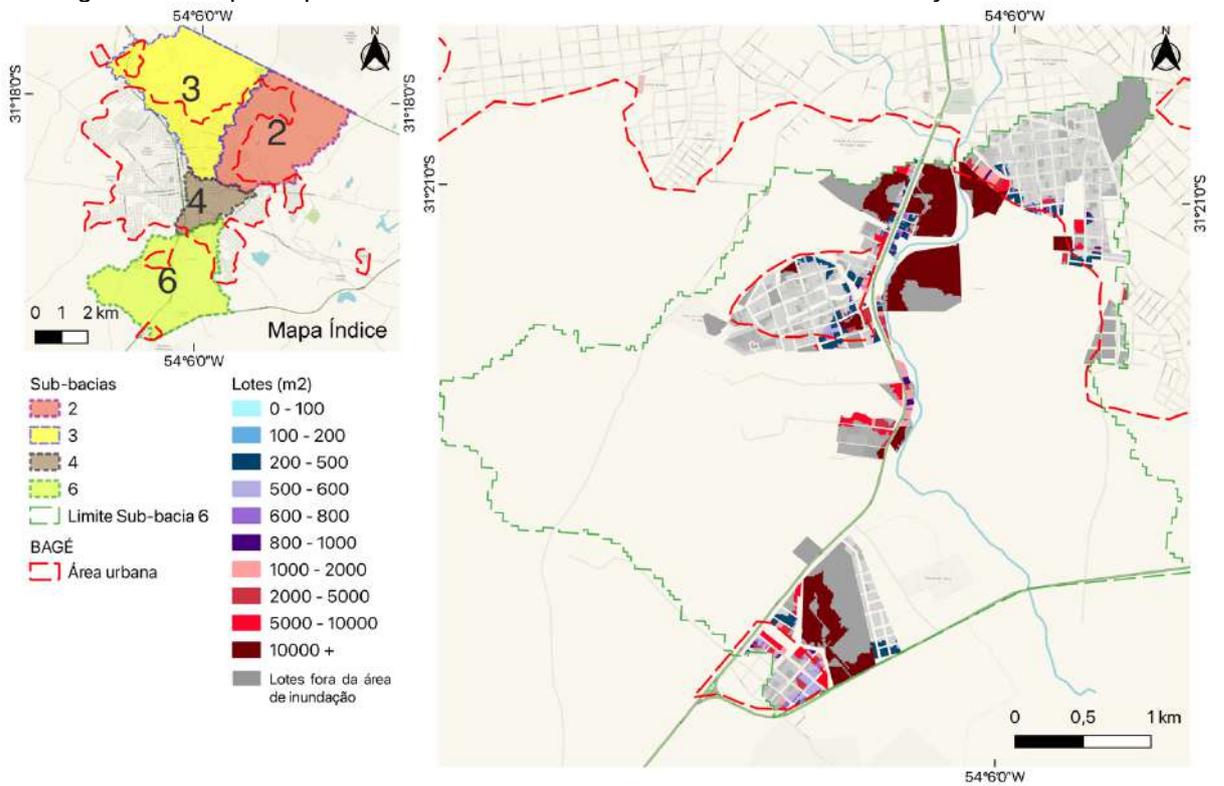
A Figura 43 mostra os lotes categorizados por diferentes cores (relacionadas ao tamanho dos lotes em metros quadrados) delimitados pelas áreas de inundação na sub-bacia 6 e a Figura 44 mostra os lotes coloridos apenas que estão dentro de áreas inundáveis.

Figura 43 - Mapa de parcelamento do solo na sub-bacia 6.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Figura 44 - Mapa de parcelamento do solo em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 6.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

A área interna aos limites da sub-bacia 6 utilizada para a análise é de 2.131,67 ha ou 21,31 km<sup>2</sup>. De 2.690 lotes presentes nesta sub-bacia, 1.050 lotes (39,03%) estão dentro das áreas de inundação, sendo 391 lotes (14,53%) na área de alta suscetibilidade e 659 (24,49%) na média suscetibilidade.

A sub-bacia com maior área de suscetibilidade a inundações é a sub-bacia 2, onde 69% dos lotes estão em áreas suscetíveis. Nessa sub-bacia, está a Avenida Santa Tecla, uma via de grande importância por ser a entrada da cidade e exercer atração a urbanização para a área. A proximidade com a linha de drenagem do arroio Bagé é um dos fatores que contribuem para a alta suscetibilidade à inundação dos lotes nessa área.

Ao noroeste da sub-bacia 3, há lotes maiores destinados a indústrias e uso rural. Se esses lotes forem subdivididos em lotes menores, especialmente para uso residencial, poderá haver um aumento no número de lotes em áreas suscetíveis a inundações e, conforme a cidade se expande, existe também a possibilidade do aumento no parcelamento do solo no nordeste da sub-bacia, que hoje é ocupada por lotes maiores de uso industrial.

A sub-bacia 4, por ser a menor e mais central, tem 53% de seus lotes em áreas suscetíveis a inundação, sendo uma área pouco provável de receber o processo de renaturalização pela falta de espaço disponível nas margens e a sub-bacia 6 tem o menor número de lotes suscetíveis (39%) devido ao parcelamento ser feito em uma área alta, onde atualmente é o bairro Tiarajú.

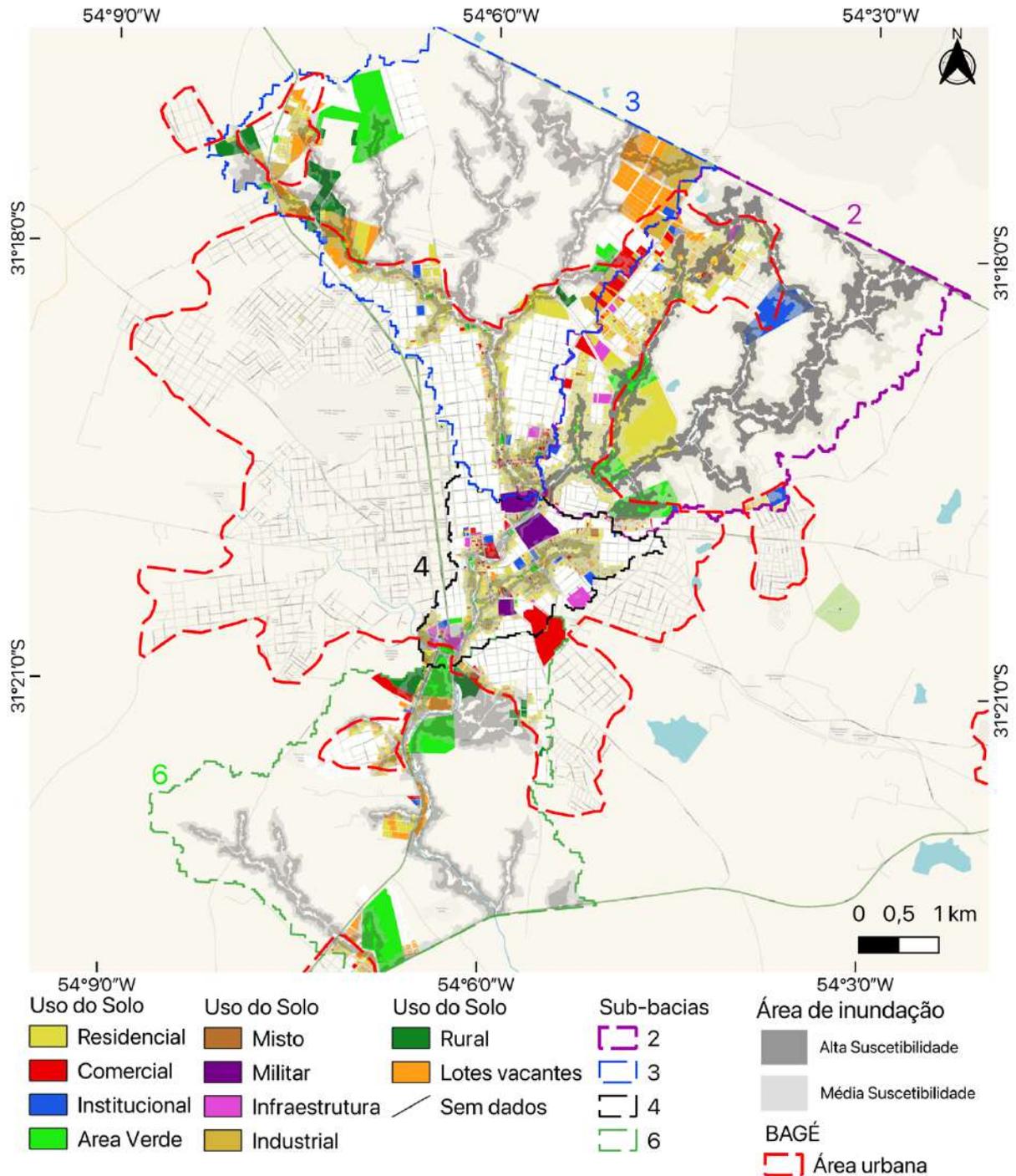
Em todas as sub-bacias nota-se que os lotes maiores estão nas bordas, principalmente nas sub-bacias 2, 3 e 6, onde as bordas mais distantes ao centro da cidade contam com lotes maiores que 2.000m<sup>2</sup>. Esses lotes maiores têm grande possibilidade de utilização para o processo de renaturalização, pelo maior espaço disponível quando comparado aos demais lotes.

## 5.2 Uso e ocupação do solo

Aqui estão os mapas de uso e ocupação do solo presentes nas quatro sub-bacias escolhidas para o estudo nas áreas de inundação do arroio Bagé. Como forma de organização, primeiro está disposto o mapa geral de uso do solo na Figura 45, seguido por dois gráficos da quantificação de lotes, divididos por alta (Figura 46) e média (Figura 47) suscetibilidade de inundação. A área de estudo são as áreas de

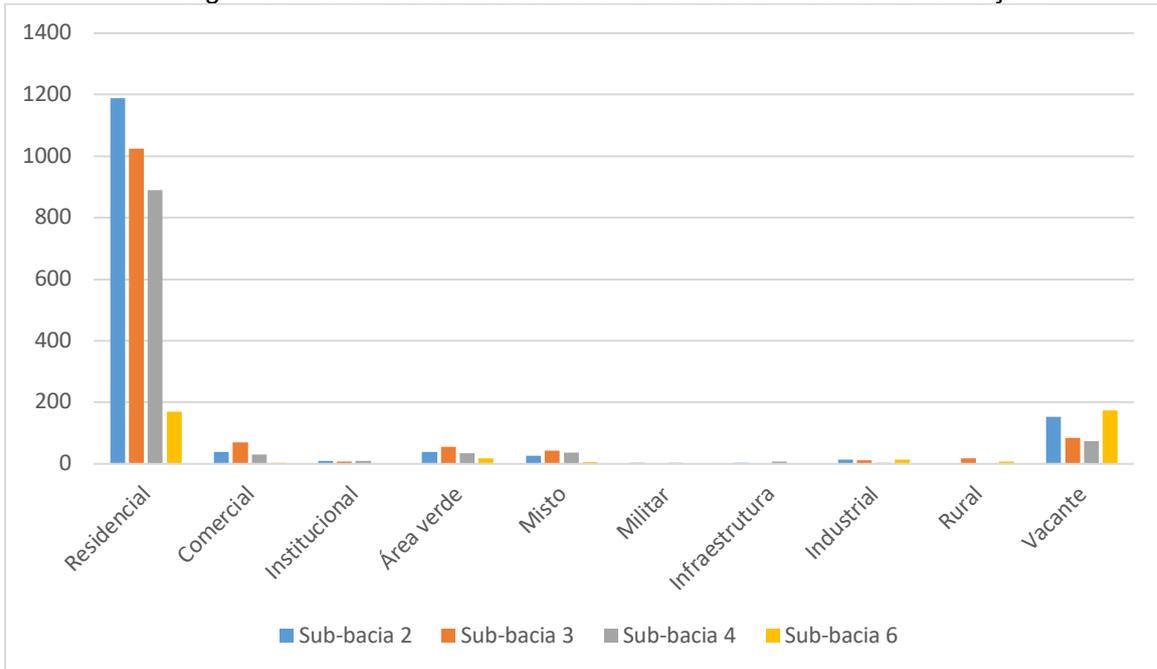
alta e média suscetibilidade a inundação dentro de cada sub-bacia, analisando primeiramente os dados disponíveis de toda a sub-bacia (lotes georreferenciados disponibilizados por Silva *et al.* 2021 e tipologia de uso feita pelo Autor, em lotes próximos e dentro das áreas de inundação), após fazendo o recorte para as áreas suscetíveis.

Figura 45 - Mapa de uso do solo presente nas quatro sub-bacias do Arroio Bagé.



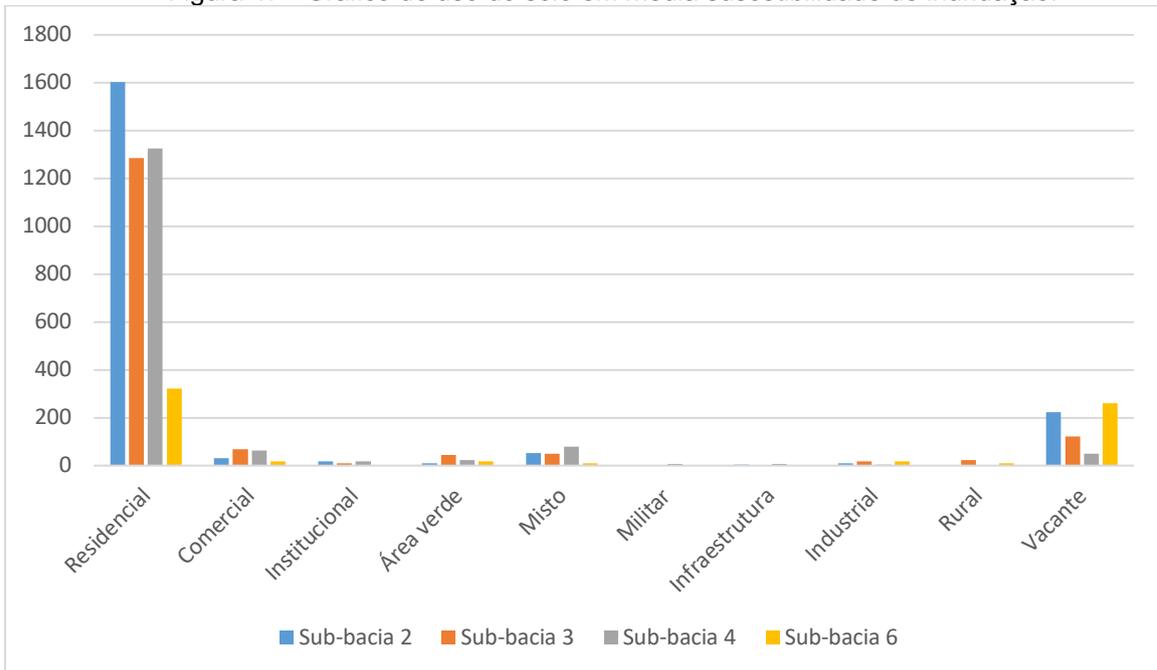
Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva *et al.* (2021).

Figura 46 - Gráfico de uso do solo em alta suscetibilidade de inundação.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024).

Figura 47 - Gráfico de uso do solo em média suscetibilidade de inundação.

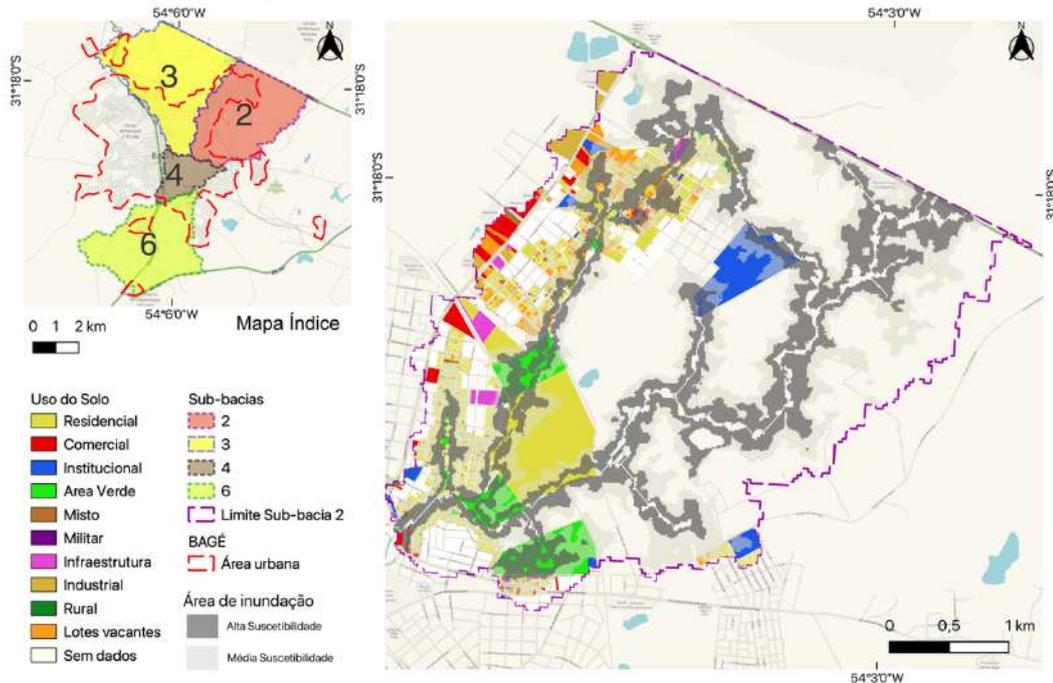


Fonte: elaborado pelo Autor (2024).

A partir destes gráficos de alta e média suscetibilidade, destaca-se a predominância (77,43%) de lotes de uso residencial em relação aos demais usos, seguido pelos lotes vacantes em segunda posição, com 11,30% de predominância referente aos demais, totalizando 1.140 lotes vacantes.

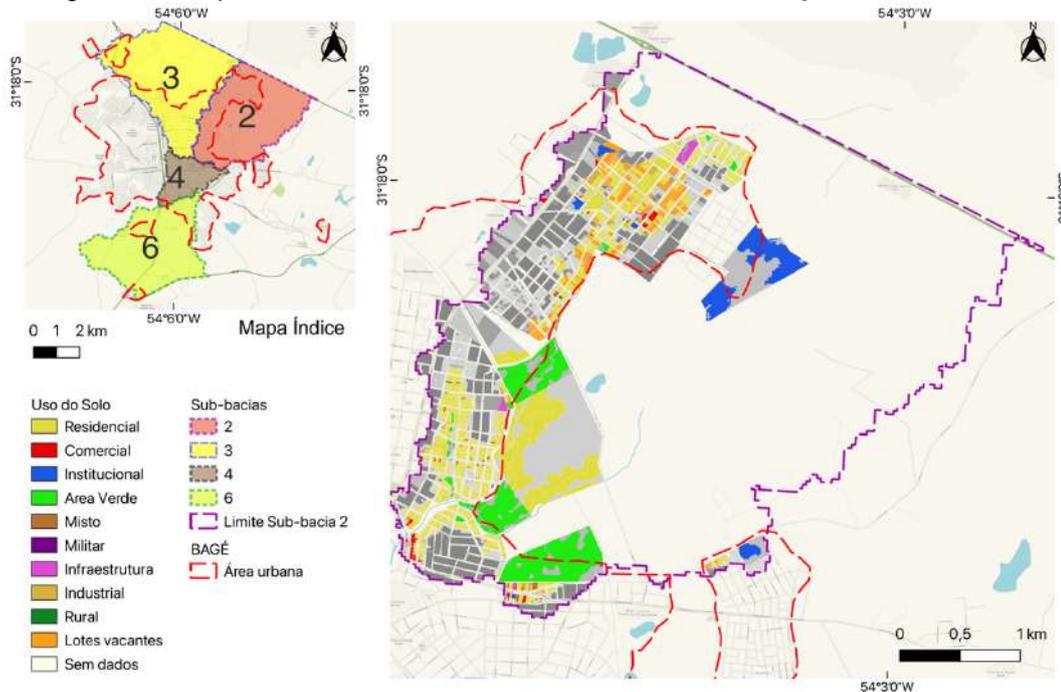
Após a visão geral do uso do solo nas quatro sub-bacias do arroio Bagé, agora estarão dispostas separadamente cada sub-bacia, possibilitando a análise detalhada. A Figura 48 mostra os lotes com as respectivas cores de uso do solo delimitados pelas áreas de inundação na sub-bacia 2 e a Figura 49 mostra os lotes coloridos apenas que estão dentro de áreas inundáveis.

Figura 48 - Mapa de uso do solo na sub-bacia 2.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Figura 49 - Mapa de uso do solo em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 2.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Sabendo que a área interna aos limites da sub-bacia 2 utilizada para a análise é de 4.596 ha ou 45,96km<sup>2</sup>, o total de lotes são 4.927, onde 3.422 lotes (69,45%) estão dentro das áreas de inundação.

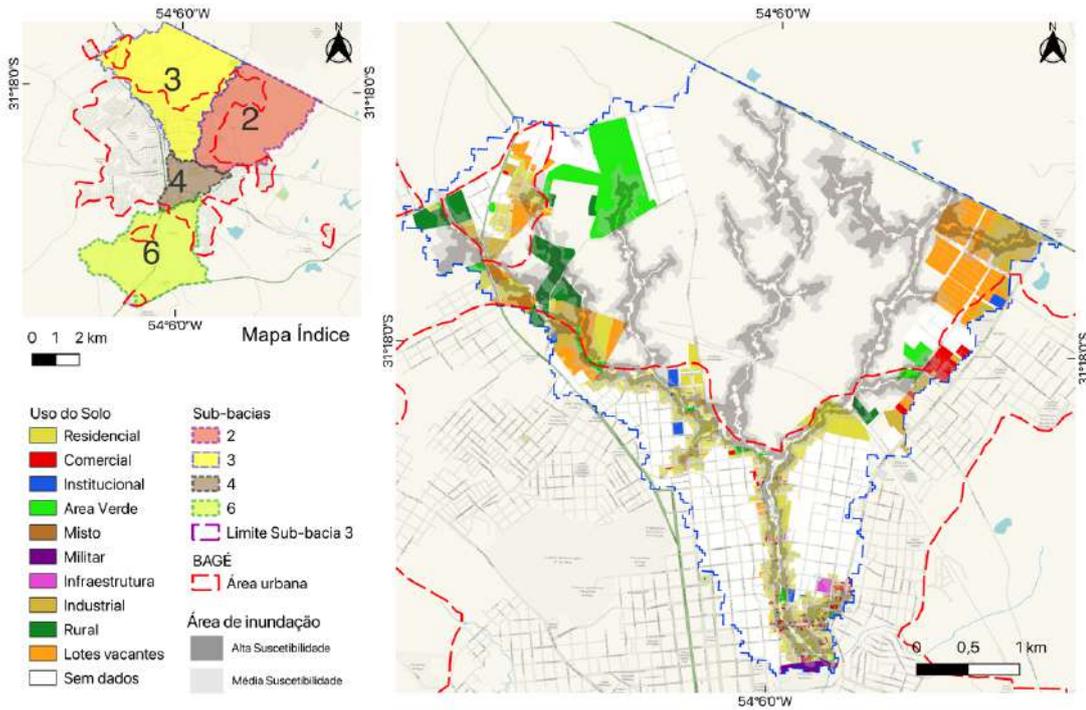
Em alta suscetibilidade estão 1.188 lotes residenciais (80,81%), 153 lotes vacantes (10,40%), 38 lotes de comércio (2,58%), 38 lotes de áreas verdes (2,58%), 26 lotes de uso misto (1,76%), 13 lotes de uso industrial (0,88%), 10 lotes institucionais (0,68%), 4 lotes de uso militar (0,52%) e 3 lotes de uso para infraestrutura (0,20%).

Na média suscetibilidade estão 1.602 lotes residenciais (82,06%), 222 lotes vacantes (11,37%), 52 lotes de uso misto (2,66%), 32 lotes comerciais (1,64%), 18 lotes institucionais (0,92%), 11 lotes de áreas verdes (0,56%), 11 lotes de uso industrial (0,56%) e 4 lotes para infraestrutura (0,20%).

É possível perceber maior quantidade de usos residenciais ocupando os lotes (acima de 80% das áreas de inundação). Contudo, 12,40% das áreas loteadas são consideradas de uso verde ou estão vazias, possibilitando utilizar estes espaços remanescentes para renaturalizar. Os lotes vacantes aumentam as possibilidades para o processo de renaturalização, em meio aos centros urbanos, por não conter edificações ou solo impermeável, garantindo que estes espaços vulneráveis sejam utilizados como áreas de renaturalização. Se estiverem próximos de áreas verdes, existe a possibilidade de integração destas áreas, para maximizar os espaços livres e áreas verdes para a natureza e lazer para a população.

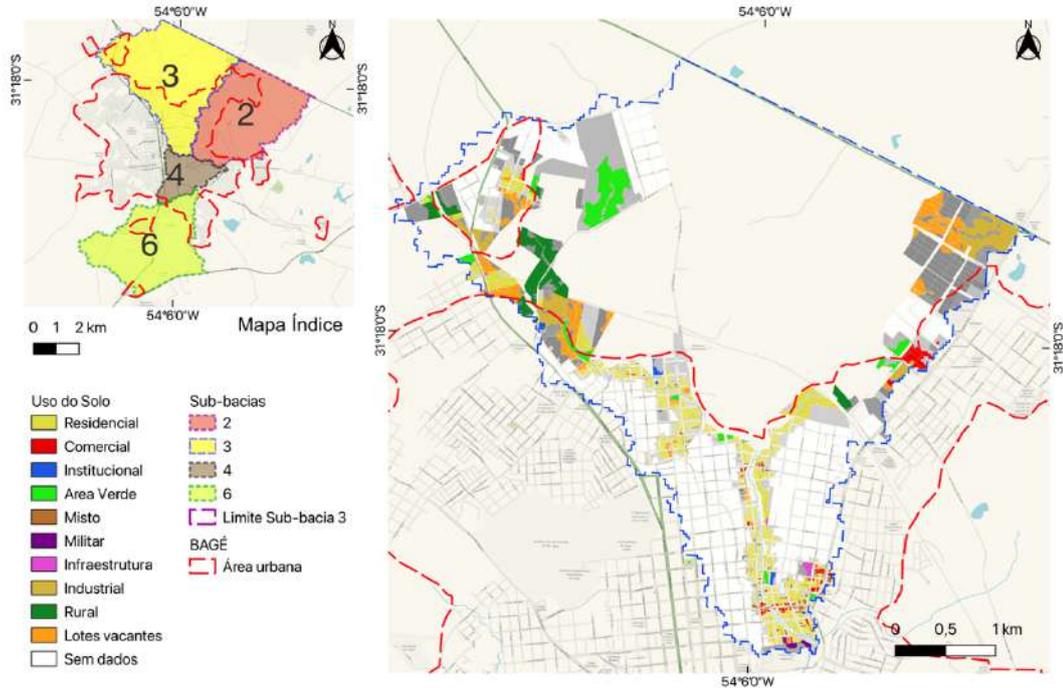
A Figura 50 mostra os lotes com as respectivas cores de uso do solo delimitados pelas áreas de inundação na sub-bacia 3 e a Figura 51 mostra os lotes coloridos apenas que estão dentro de áreas inundáveis.

Figura 50 - Mapa de uso do solo na sub-bacia 3.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Figura 51 - Mapa de uso do solo em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 3.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Sabendo que a área interna aos limites da sub-bacia 3 utilizada para a análise é de 2.502 ha ou 25,02 km<sup>2</sup>. De 7099 lotes presentes nesta sub-bacia, 2.942 lotes (41,44%) estão dentro das áreas de inundação.

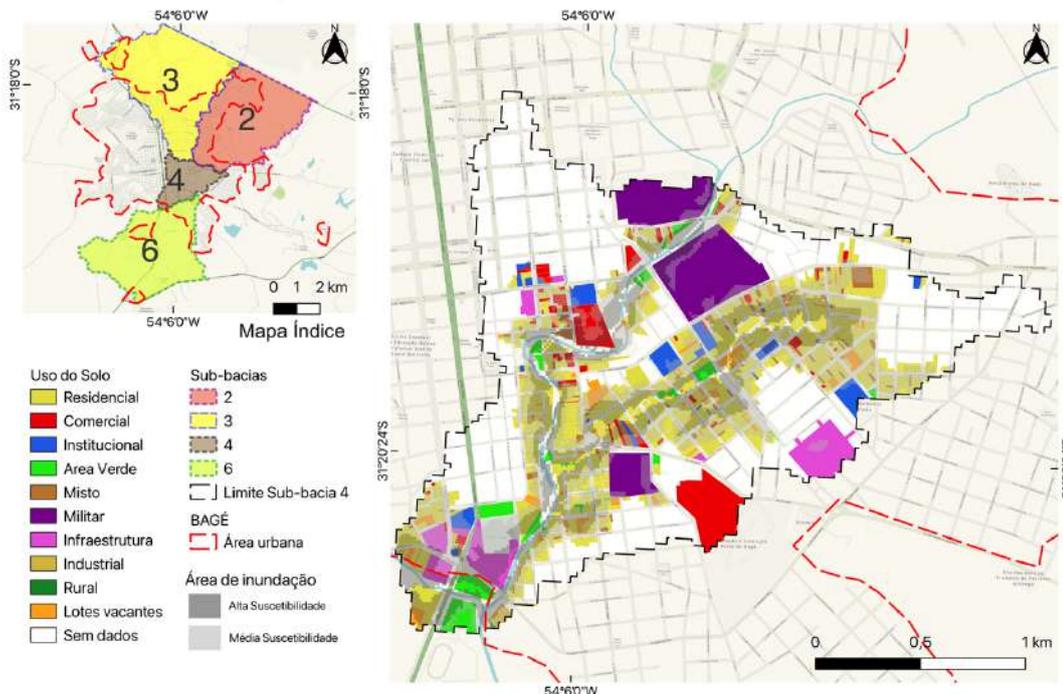
Em alta suscetibilidade estão 1.025 lotes residenciais (77,76%), 85 lotes vacantes (6,45%), 70 lotes de comércio (5,31%), 56 lotes de áreas verdes (4,24%), 43 lotes de uso misto (3,26%), 18 lotes rurais (1,36%), 12 lotes de uso industrial (0,91%), 7 lotes institucionais (0,53%), 1 lote de uso para infraestrutura (0,07%) e 1 lote de uso militar (0,07%).

Na média suscetibilidade estão 1.285 lotes residenciais (79,12%), 123 lotes vacantes (7,57%), 69 lotes comerciais (4,24%), 49 lotes de uso misto (3,01%), 44 lotes de áreas verdes (2,71%), 22 lotes de uso rural (1,35%), 17 lotes de uso industrial (1,04%), 11 lotes institucionais (0,67%), 3 lotes para infraestrutura (0,18%) e 1 lote de uso militar (0,06%).

Existe uma redução na quantidade de lotes vacantes e de áreas verdes, quando comparado à sub-bacia 2. Provavelmente isso ocorre devido à diferença de tamanho (a sub-bacia 3 tem 54,43% do tamanho da sub-bacia 2), além da concentração de zona urbana ao sul, onde uma parte da área de inundação situa-se.

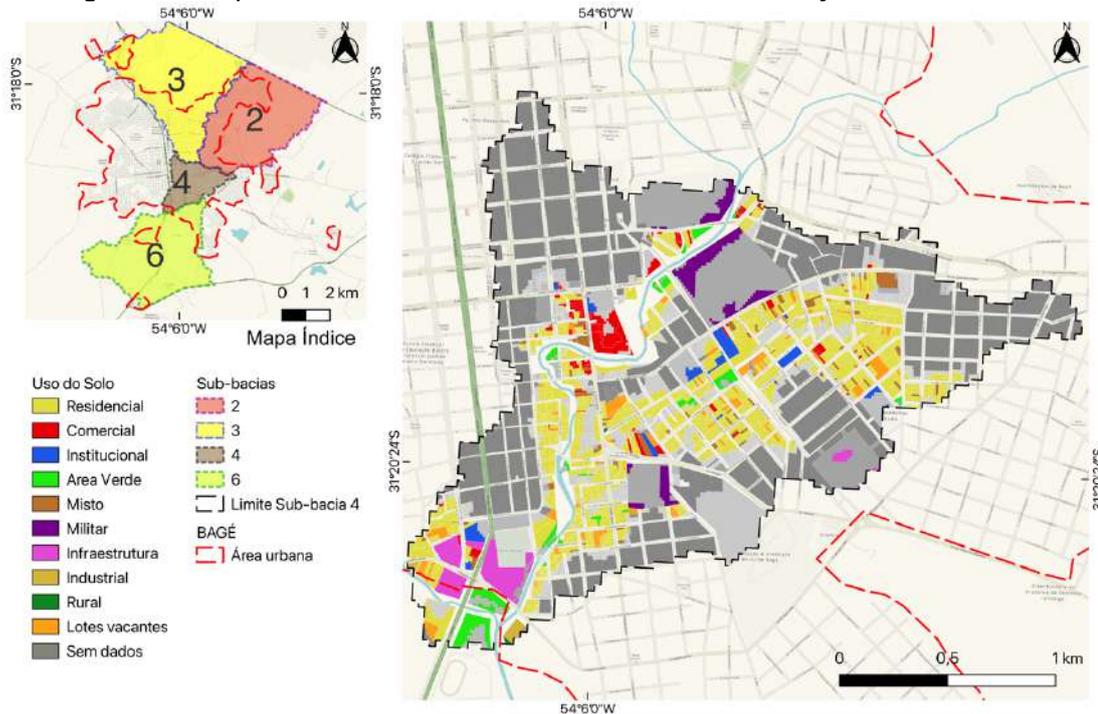
A Figura 52 mostra os lotes com as respectivas cores de uso do solo delimitados pelas áreas de inundação na sub-bacia 4 e a Figura 53 mostra os lotes coloridos apenas que estão dentro de áreas inundáveis.

Figura 52 - Mapa de uso do solo na sub-bacia 4.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Figura 53 - Mapa de uso do solo em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 4.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Sabendo que a área interna aos limites da sub-bacia 4 utilizada para a análise é de 372,24 ha ou 3,72 km<sup>2</sup>. De 4.956 lotes presentes na sub-bacia, 2.668 lotes (53,83%) estão dentro das áreas de inundação.

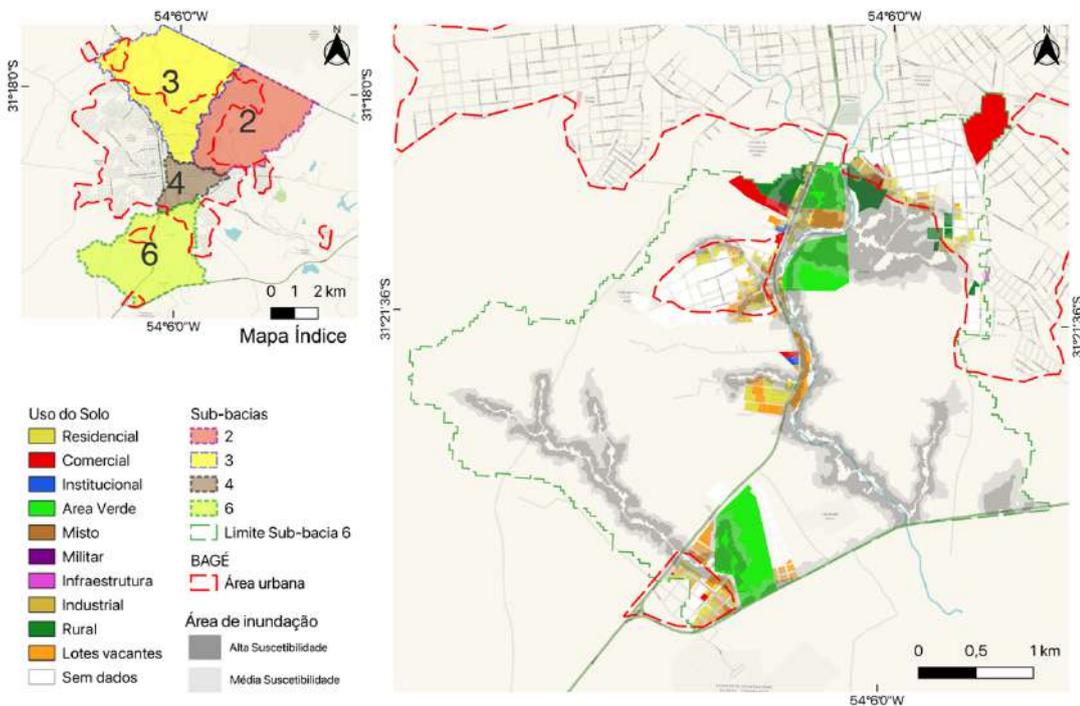
Em alta suscetibilidade estão 890 lotes residenciais (81,72%), 73 lotes vacantes (6,70%), 31 lotes de comércio (2,84%), 34 lotes de áreas verdes (3,12%), 36 lotes de uso misto (3,30%), 1 lote rural (0,09%), 4 lotes de uso industrial (0,36%), 9 lotes institucionais (0,82%), 7 lotes de uso para infraestrutura (0,64%) e 4 lotes de uso militar (0,36%).

Na média suscetibilidade estão 1.326 lotes residenciais (83,97%), 79 lotes de uso misto (5,00%), 62 lotes comerciais (3,92%), 50 lotes vacantes (3,16%), 24 lotes de áreas verdes (1,52%), 17 lotes institucionais (1,07%), 8 lotes de uso militar (0,50%), 7 lotes para infraestrutura (0,44%), 5 lotes de uso industrial (0,31%) e 1 lote de uso rural (0,06%).

Dentre as quatro sub-bacias, a de número 4 é a mais urbanizada, situando-se ao centro da cidade de Bagé. Quando as áreas de inundação atingem mais lotes, por ser uma área efetivamente urbanizada, poucos lotes estão vacantes ou são de uso exclusivo de áreas verdes, sendo um ambiente desfavorável para o processo de renaturalização pela falta de espaço.

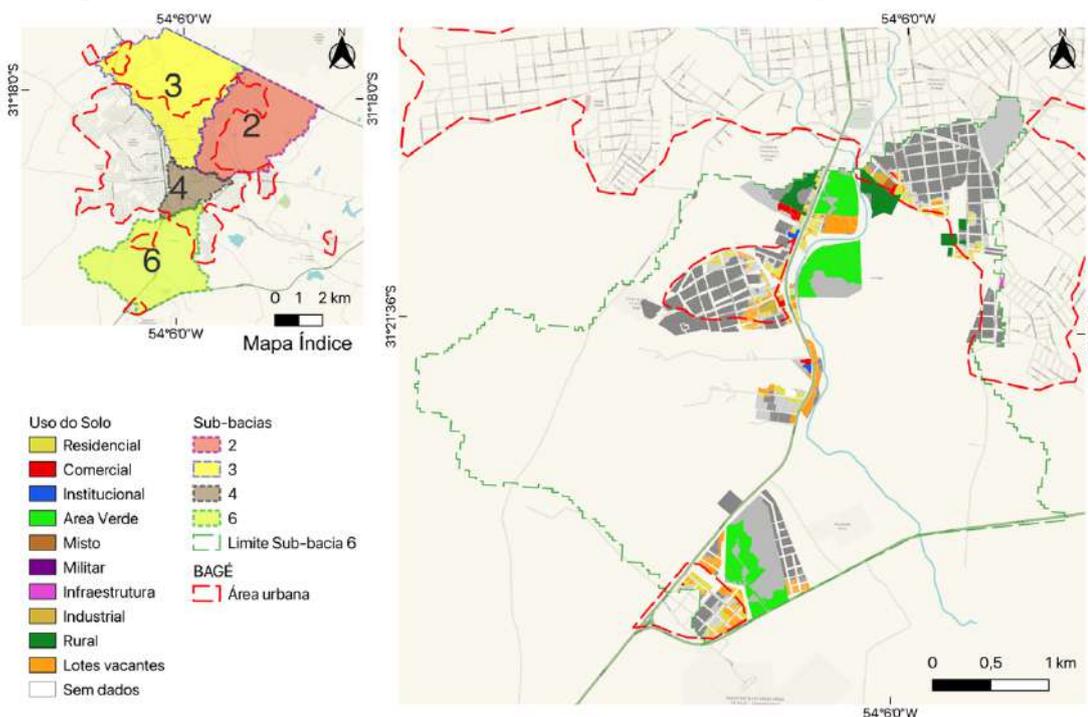
Por fim, a Figura 54 mostra os lotes com as respectivas cores de uso do solo delimitados pelas áreas de inundação na sub-bacia 6 e a Figura 55 mostra os lotes coloridos apenas que estão dentro de áreas inundáveis.

Figura 54 - Mapa de uso do solo na sub-bacia 6.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Figura 55 - Mapa de uso do solo em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 6.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Sabendo que a área interna aos limites da sub-bacia 6 utilizada para a análise é de 2.131,67 ha ou 21,31 km<sup>2</sup>. De 2.690 lotes presentes nesta sub-bacia, 1.050 lotes (39,03%) estão dentro das áreas de inundação.

Em alta suscetibilidade estão 173 lotes vacantes (44,24%), 170 lotes residenciais (43,47%), 17 lotes de áreas verdes (4,34%), 14 lotes de uso industrial (3,58%), 8 lotes rurais (2,04%), 5 lotes de uso misto (1,27%), 3 lotes de comércio (0,76%) e 1 lote de uso institucional (0,25%).

Na média suscetibilidade estão 323 lotes residenciais (49,01%), 261 lotes vacantes (39,60%), 18 lotes de áreas verdes (2,73%), 18 lotes de uso industrial (2,73%), 17 lotes comerciais (2,57%), 10 lotes de uso misto (1,51%), 9 lotes de uso rural (1,36%), 2 lotes institucionais (0,30%) e 1 lote para infraestrutura (0,15%).

De todas as sub-bacias estudadas, a de número 6 é a com mais lotes vacantes ou de uso exclusivo para áreas verdes. Isso ocorre pelo fato de ser um espaço com pouca expansão urbana, tendo em vista que a cidade tem se expandido para o lado norte, nas sub-bacias 2 e 3, além de que a área é pouco urbanizada e relativamente longe do centro da cidade. Por outro lado, as sub-bacias 2 e 3 são áreas de acesso a cidade, contendo muitos lotes de uso industrial, além de atrativos à urbanização, como a Universidade Federal do Pampa (na sub-bacia 2) e novos loteamentos, tanto privados como de interesse social (sub-bacia 3). A sub-bacia 4, por ser ao centro, está numa área antiga da cidade e bem consolidada, contendo poucos lotes vacantes e áreas verdes disponíveis.

Outro item perceptível pela comparação das sub-bacias 2, 3 e 6, foi a presença de lotes de uso variados, próximos as bordas da área urbana. No caso da sub-bacia 2 e 3, nas bordas situadas ao norte, nota-se a presença de indústrias, já na sub-bacia 6, nota-se a presença de áreas verdes e lotes vacantes, espaços de grande importância para o processo de renaturalização. Também é notória a forte presença de usos habitacionais nas áreas de inundação, o que reduz os espaços livres do lote, implicando na alteração de recuos de ajardinamento e áreas permeáveis, principalmente nos pátios das residências.

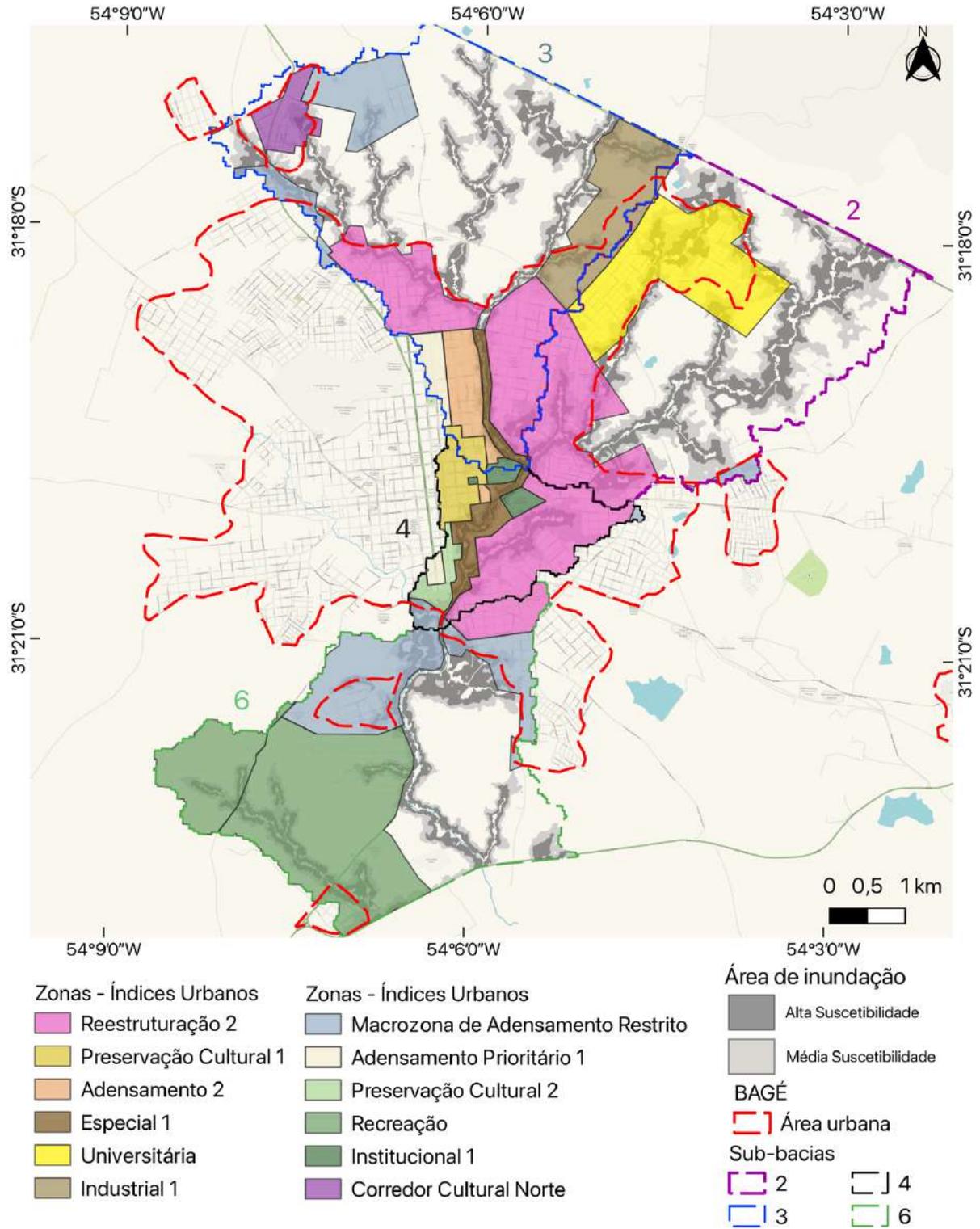
Por fim, é sugerido que seja feito um estudo da agregação dos lotes vacantes, que conforme dito no início da análise desta característica, pois são a segunda tipologia de uso mais presente nas áreas de inundação do Arroio Bagé, sendo importantes para manter a permeabilidade do solo, para reter água e para abrigar vegetação e fauna associada, podendo ser desenvolvido planos e projetos dedicados

à realização de funções de interesse comunitário, como é o caso de hortas urbanas coletivas ou individuais e de áreas de lazer.

### 5.3 Índices urbanos

O Plano Diretor da cidade de Bagé, desenvolvido e aprovado pela lei complementar nº25/2007, demarcou macrozonas em toda a área urbana, onde em cada macrozona foram dispostas zonas com os índices urbanos para construção. A Figura 56, na página a seguir, contém o mapa geral das zonas urbanas dentro das sub-bacias estudadas neste trabalho. A área de estudo são as áreas de alta e média suscetibilidade a inundação dentro de cada sub-bacia, analisando primeiramente os dados disponíveis de toda a sub-bacia (disponibilizados por Silva *et al.* 2021) e após fazendo o recorte para as áreas suscetíveis.

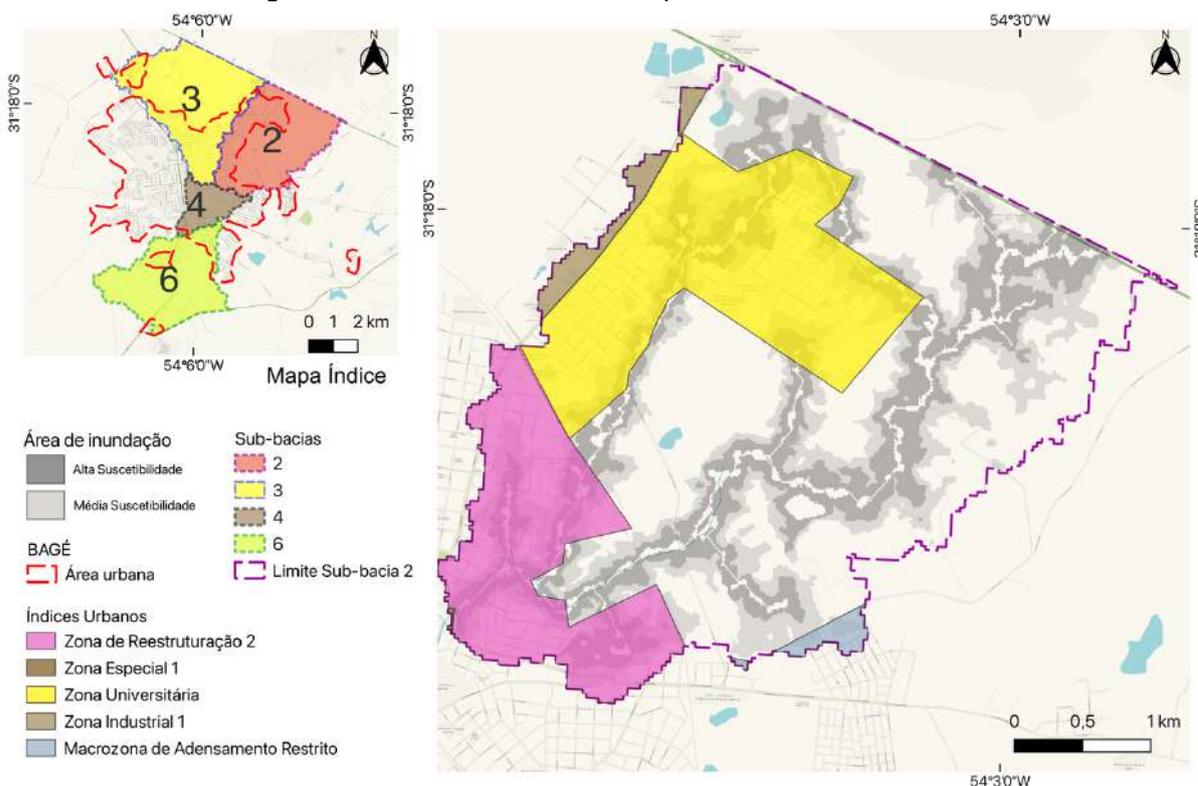
Figura 56 - Zonas urbanas em quatro sub-bacias do Arroio Bagé.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas do Plano Diretor da cidade de Bagé.

Na sub-bacia 2 estão dispostas quatro zonas e uma macrozona (Figura 57), sendo as zonas de reestruturação, especial, universitária e industrial, além da macrozona de adensamento restrito.

Figura 57 - Zonas do Plano Diretor presentes na sub-bacia 2.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas do Plano Diretor da cidade de Bagé.

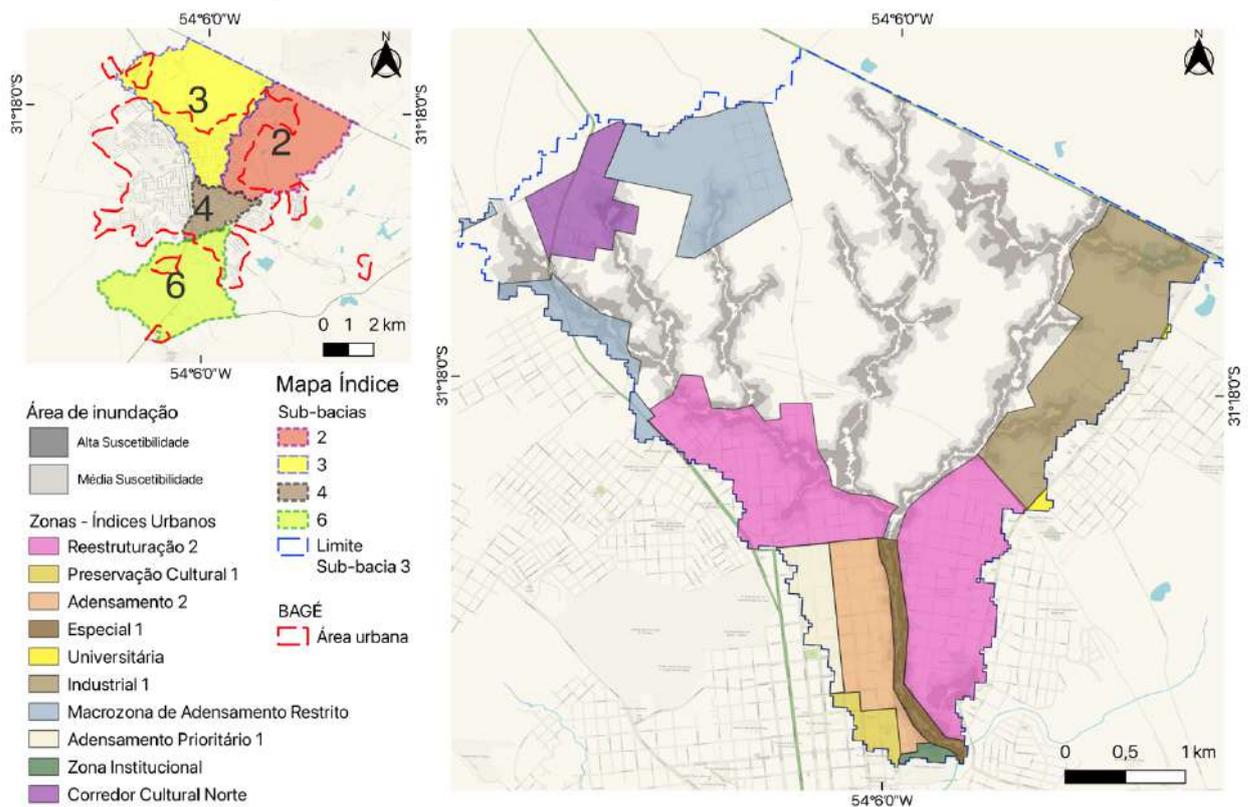
A zona de reestruturação tem os seguintes índices urbanos: índice de aproveitamento 1,5 ideal e 3,0 máximo, taxa de ocupação máxima de 66,6% e altura máxima permitida de 18,0 metros. A Zona Universitária reduz os índices, onde o índice de aproveitamento máximo passa a ser 1,0 e a taxa de ocupação máxima passa a ser de 50%, porém não conta com altura máxima permitida estabelecida. A Macrozona de Adensamento Restrito tem índices próximos da Zona Universitária, porém a taxa de ocupação é maior, chegando a 66,6%. A Zona Industrial tem taxa de ocupação máxima em 66,6%, mas não conta com índices de aproveitamento e altura máxima permitida estabelecidos. Por fim, a Zona Especial 1 (quase inexistente na sub-bacia 2, ao sudoeste na borda inferior da Zona de Reestruturação 2) não permite construções, tendo seus índices urbanos igual a zero. Esta zona está dentro da macrozona ambiental, que busca elaborar projetos de revitalização para os arroios, promover a qualificação e preservação ambiental e proibir a construção de qualquer natureza nas margens do arroio.

É possível perceber que a maior parte das áreas de inundação estão nas zonas de reestruturação (abrange 216 hectares) e universitária (abrange 303 hectares), com índices acima de 50% para taxa de ocupação. A zona especial

presente no mapa é quase inexistente (abrange 0,47 hectares) e se localiza ao sudoeste do mapa (mais ao centro da cidade). Contudo, uma das áreas de maior expansão populacional, a zona universitária, ignora as áreas de inundação e, através da Universidade Federal do Pampa, novos loteamentos estão surgindo em mais áreas ao redor desta zona.

Na sub-bacia 3 estão dispostas oito zonas, uma Macrozona e um Corredor (Figura 58), sendo as Zonas de Reestruturação, Preservação Cultural, Adensamento, Especial, Universitária, Industrial, Adensamento Prioritário e Institucional, além da Macrozona de Adensamento Restrito e o Corredor Cultural Norte.

Figura 58 - Zonas do Plano Diretor presentes na sub-bacia 3.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas do Plano Diretor da cidade de Bagé.

Além das zonas mencionadas anteriormente, outras zonas estão presentes na sub-bacia 3. O Corredor Cultural Norte tem índice de aproveitamento máximo de 1, taxa de ocupação máxima de 66,6% e altura máxima de 6 metros. A Zona de Preservação Cultural se localiza no centro da cidade, e conta com índice de aproveitamento ideal 1 e 2,5 máximo, taxa de ocupação máxima de 66,6% (podendo chegar a 80% se for construída uma garagem no pavimento térreo) e altura máxima

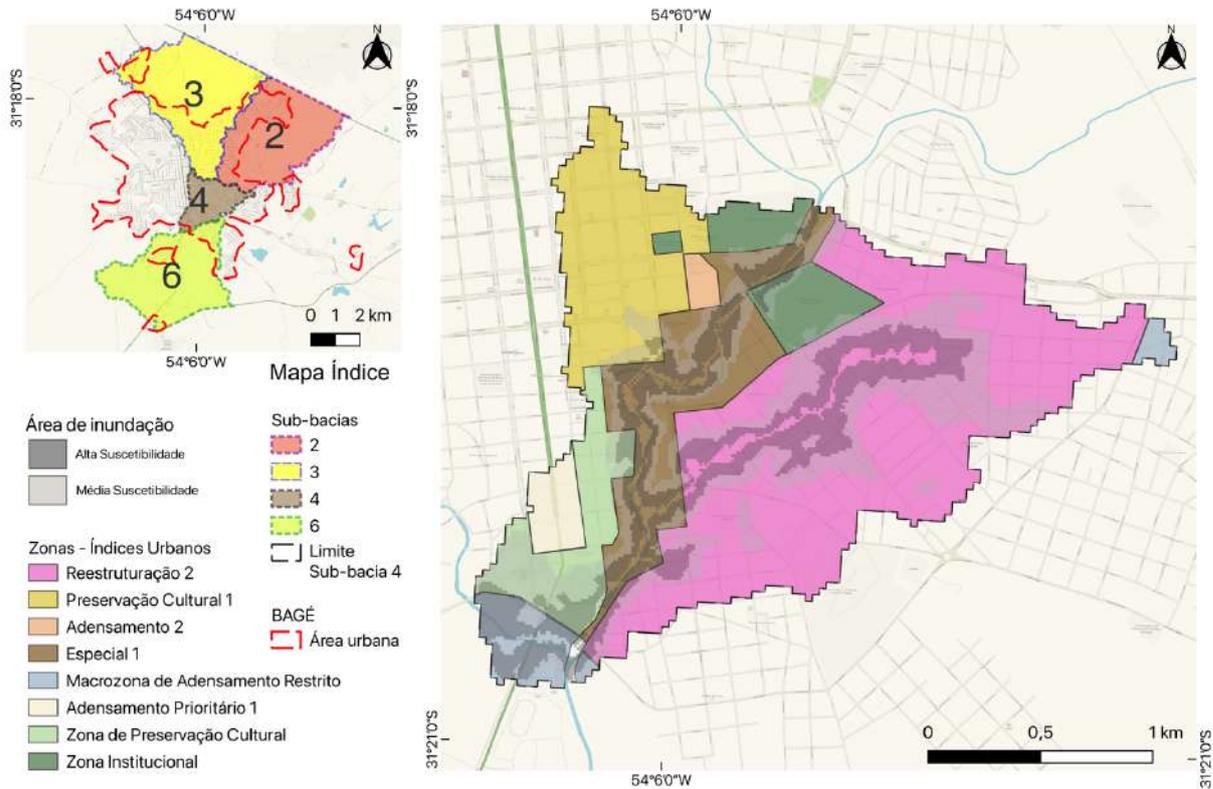
de 16 metros. A Zona de Adensamento 2 aumenta os índices, onde o índice de aproveitamento ideal passa a ser 1,5 e 3,0 máximo, a taxa de ocupação permanece a mesma da Zona de Preservação Cultural, porém a altura máxima passa a ser de 18 metros. A Zona de Adensamento 1 aumenta o índice de aproveitamento máximo para 4,5 e a altura máxima que passa a ser de 24 metros. Por fim, a Zona Institucional se refere à presença dos quartéis militares, não contendo índices e taxas definidos.

Analisando o mapa principal presente na Figura 58, anteriormente, percebe-se que, referente às áreas de inundação, uma parte no centro da cidade é destinada à Zona Especial (abrange 25 hectares), que serve justamente para o propósito da renaturalização, sendo área nas margens dos arroios, a qual pode ser considerada Área de Preservação Permanente pela legislação. Essa área, quando demarcada diretamente no plano diretor, possibilita à Prefeitura ter maior controle espacial e reduz problemas futuros, como populações afetadas pelas inundações. Por outro lado, ao noroeste, as Zonas de Reestruturação (abrange 287 hectares) e Adensamento Restrito (abrange 433 hectares) avançam sobre as áreas de inundação, em locais de constante expansão da cidade. Justamente nestes locais a Zona Especial deveria ser prolongada, para assegurar a não-ocupação das áreas inundáveis. Ao noroeste, a Zona Industrial (abrange 169 hectares) sobrepõe as áreas inundáveis, as quais ficam vulneráveis para construção de indústrias, sem valores de índice de aproveitamento definidos.

Na sub-bacia 4 estão dispostas sete Zonas e uma Macrozona (Figura 59), sendo as Zonas de Reestruturação, Preservação Cultural 1 e 2, Adensamento Prioritário 1 e 2, Especial e Institucional, além da Macrozona de Adensamento Restrito.

A Zona de Preservação Cultural 2 tem índice de aproveitamento máximo 1, taxa de ocupação máxima de 80%, altura máxima de 6 metros e cota ideal de 500m<sup>2</sup>. Esta é a única zona que tem um índice para cota ideal, que determina o número máximo de economias residenciais e comerciais que podem ser construídas no terreno, bastando dividir a área total do terreno pelo valor de cota ideal.

Figura 59 - Zonas do Plano Diretor presentes na sub-bacia 4.

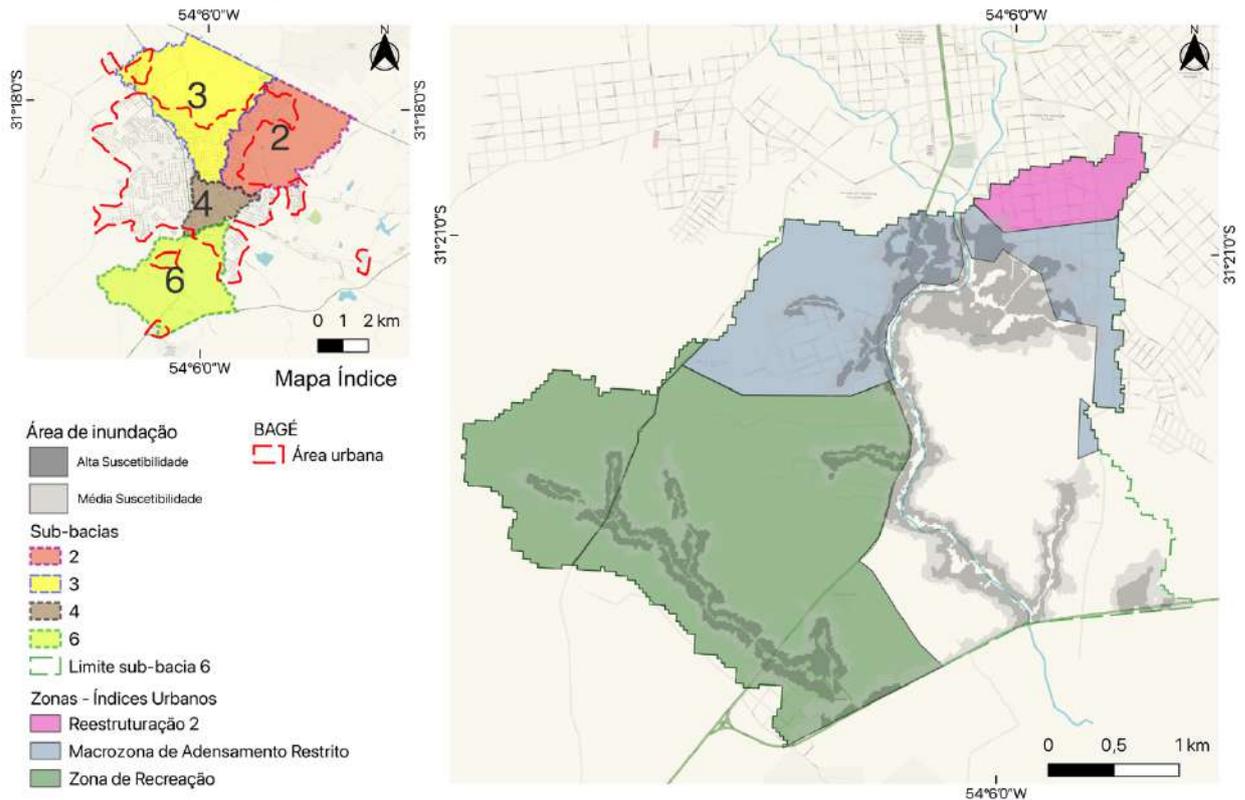


Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas do Plano Diretor da cidade de Bagé.

Conforme mencionado na sub-bacia 3 (Figura 58), uma parte importante das áreas de inundação na sub-bacia 4 (Figura 59) está assegurada pela delimitação da Zona Especial (abrange 55 hectares), porém outra parte da área está localizada na Zona de Reestruturação (abrange 187 hectares), com índices de aproveitamento que chegam a 3 e taxa de ocupação máxima de 66,6%, tornando-se um problema para o processo de renaturalização, tendo em vista que grande parte já se encontra urbanizada.

Na sub-bacia 6 estão dispostas duas Zonas e uma Macrozona (Figura 60), sendo as Zonas de Reestruturação e Recreação, além da Macrozona de Adensamento Restrito. A Zona de Recreação tem índice de aproveitamento ideal de 0,5 e taxa de ocupação de 50%.

Figura 60 - Zonas do Plano Diretor presentes na sub-bacia 6.



Fonte: Autor (2024) a partir dos mapas do Plano Diretor da cidade de Bagé.

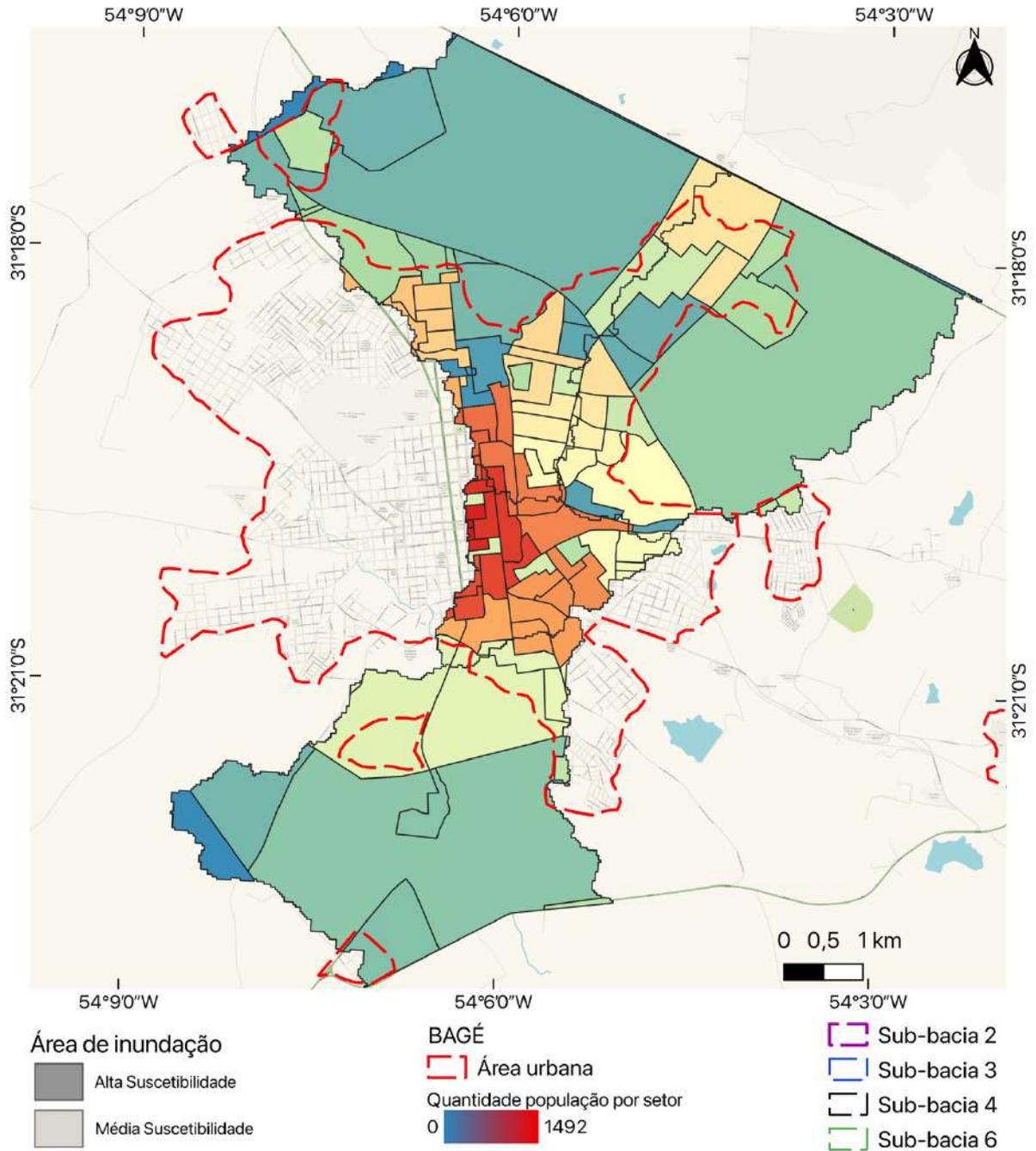
Por estar localizada numa região com predominância de propriedades rurais e distante dos acessos principais da cidade, ao norte, é uma área pouco urbanizada. Grande parte da área de inundação está na zona de Adensamento Restrito (abrange 257 hectares) e fora dos limites urbanos do Município, onde não contém demarcação de zonas. Outra parte se encontra na zona de recreação (abrange 607 hectares), onde contém poucas residências e um clube recreativo para os moradores da cidade.

Conclui-se que a presença de uma zona específica (Zona Especial) para assegurar as áreas suscetíveis a inundação na cidade de Bagé abrange poucas áreas nas sub-bacias 2 (quase inexistente), 3 e 4, quando comparada com outras zonas que abrangem maior superfície, como as Zonas de Reestruturação e Adensamento Restrito. Para o futuro, é interessante repensar o Plano Diretor para incluir as áreas de inundação como Zonas Especiais, garantindo a permanência de espaços livres necessários para a renaturalização do Arroio Bagé.

#### 5.4 População

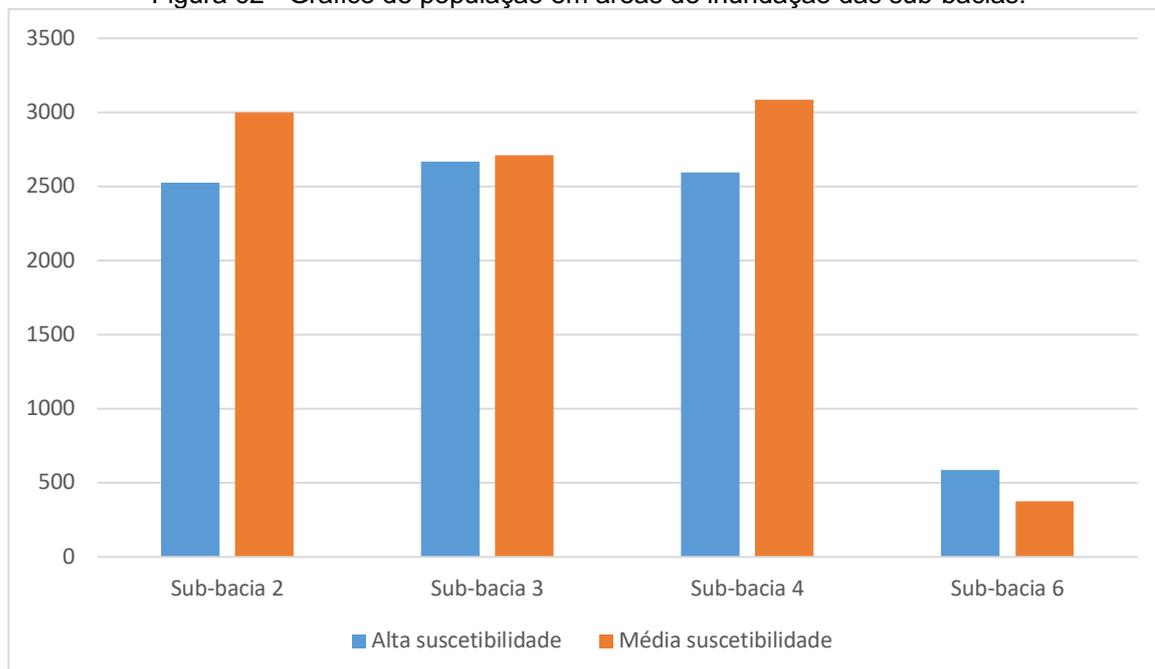
Com os dados do IBGE (2010) foi possível mensurar a população residente nas sub-bacias 2, 3, 4 e 6, além de mensurar a quantidade de habitantes dentro das áreas de inundação. Como modo de organização, primeiro está disposto o mapa geral dos setores censitários (Figura 61) nas sub-bacias estudadas, seguido por um gráfico de quantidade de população dentro das áreas de inundações nas sub-bacias, divididos por alta e média suscetibilidade de inundação, na Figura 62. A área de estudo são as áreas de alta e média suscetibilidade a inundação dentro de cada sub-bacia, analisando primeiramente os dados disponíveis de toda a sub-bacia (disponibilizados por Silva *et al.* 2021) e após fazendo o recorte para as áreas suscetíveis.

Figura 61 - Setores censitários presentes nas quatro sub-bacias estudadas.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos dados disponibilizados pelo IBGE (2010).

Figura 62 - Gráfico de população em áreas de inundação das sub-bacias.



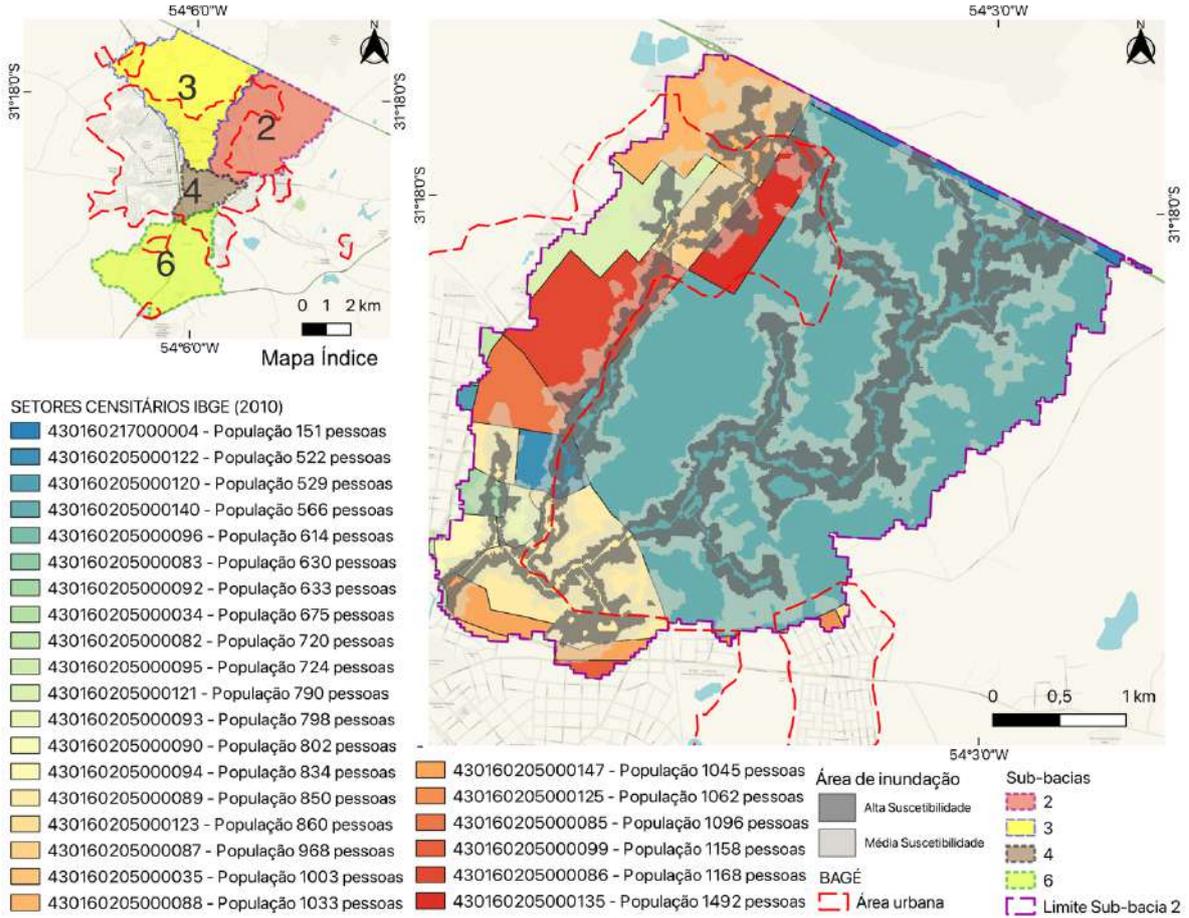
Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir de dados do IBGE (2010).

Com base no gráfico de população, dividido entre alta e média suscetibilidade de inundação nas sub-bacias analisadas, observa-se uma maior concentração populacional nas sub-bacias 2, 3 e 4 em comparação à sub-bacia 6. Esta última é uma região pouco habitada da cidade, com parte de sua área urbana localizada em altitudes mais elevadas, como será abordado no item 5.6. A sub-bacia 4, que possui o maior número de habitantes em áreas de média suscetibilidade (acima de 3.000), é a menor das sub-bacias, sendo também a mais densamente urbanizada.

Após a visão geral de população e o gráfico geral nas quatro sub-bacias do arroio Bagé, agora estarão dispostas separadamente cada sub-bacia, possibilitando a análise detalhada.

Na sub-bacia 2 (Figura 63) constam ao todo 11.569 habitantes, no qual 5.526 habitantes (47,76%) vivem em áreas de inundação. Desse valor, 2.526 pessoas (21,83%) residem em área de alta suscetibilidade, e 3.000 pessoas (25,93%) residem em área de média suscetibilidade.

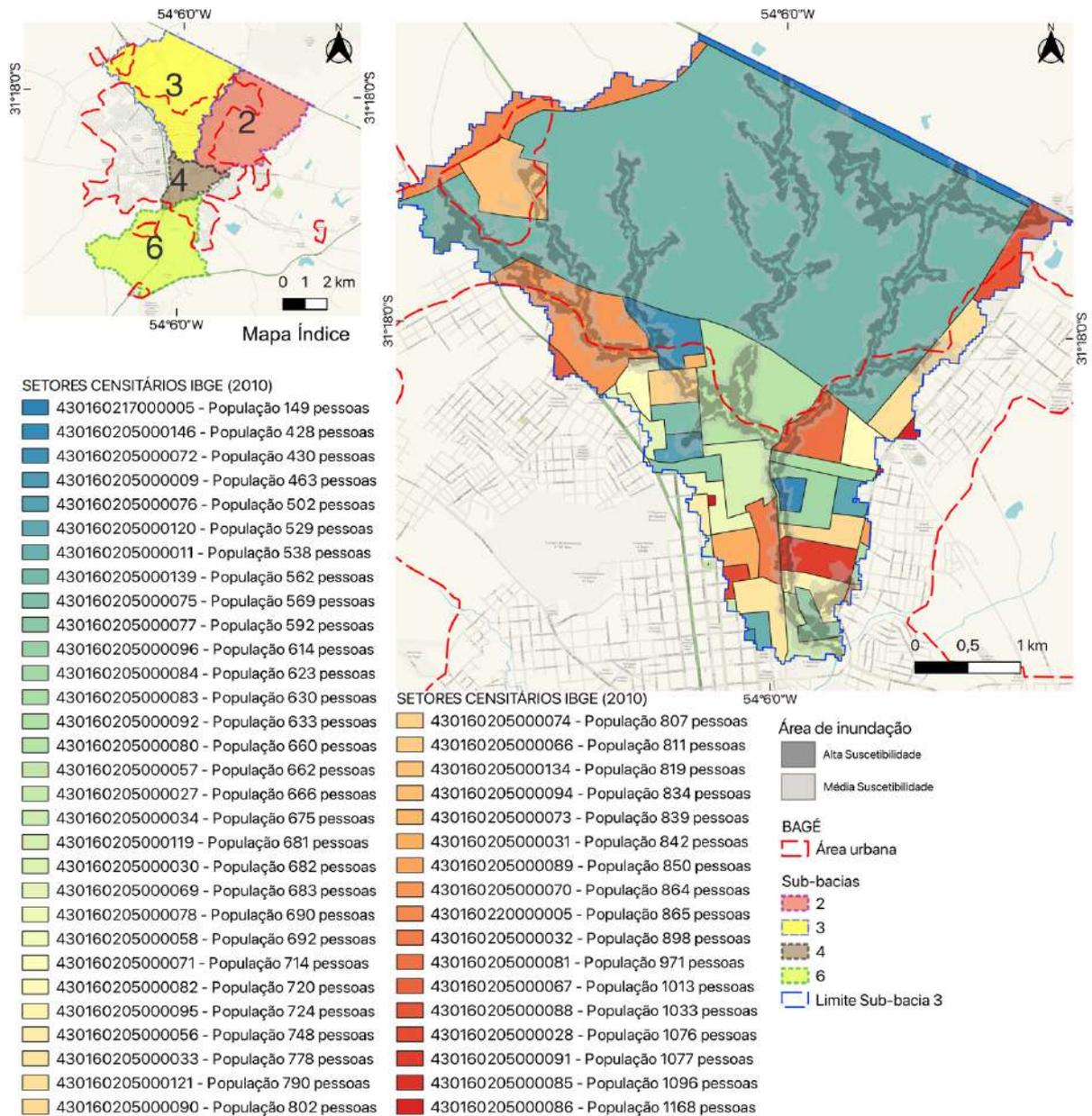
Figura 63 - Setores censitários presentes na sub-bacia 2.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir de dados do IBGE (2010).

Na sub-bacia 3 (Figura 64) constam ao todo 18.663 habitantes, no qual 5.382 habitantes (28,83%) vivem em áreas de inundação. Desse valor, 2.670 pessoas (14,30%) moram na área de alta suscetibilidade, e 2.712 pessoas (14,53%) na área de média suscetibilidade.

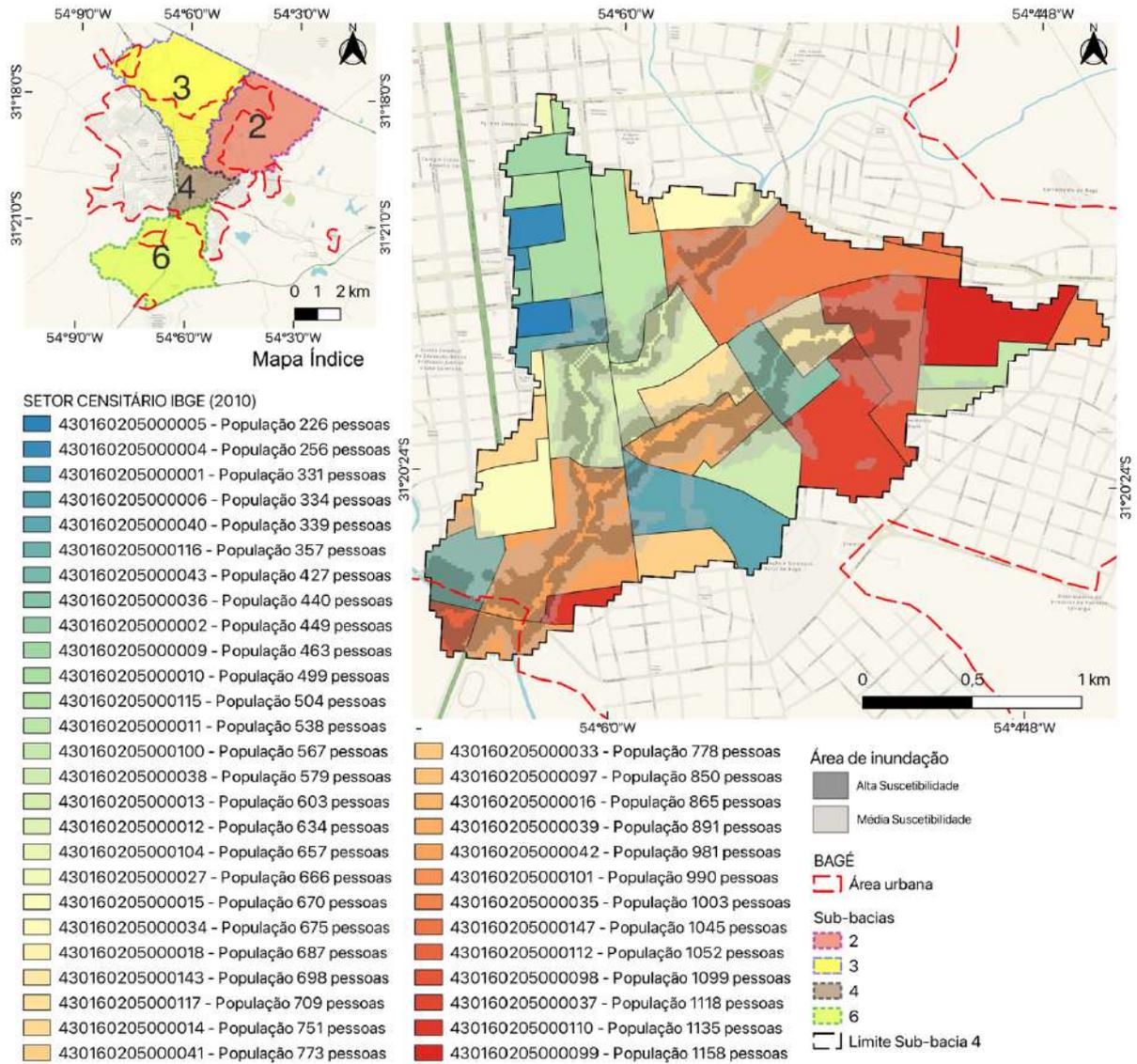
Figura 64 - Setores censitários presentes na sub-bacia 3.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir de dados do IBGE (2010).

Na sub-bacia 4 (Figura 65) constam ao todo 14.464 habitantes, no qual 5.678 habitantes (39,25%) vivem em áreas de inundação. Desse valor, 2.593 pessoas (17,92%) vivem na área de alta suscetibilidade, e 3.085 pessoas (21,33%) na área de média suscetibilidade.

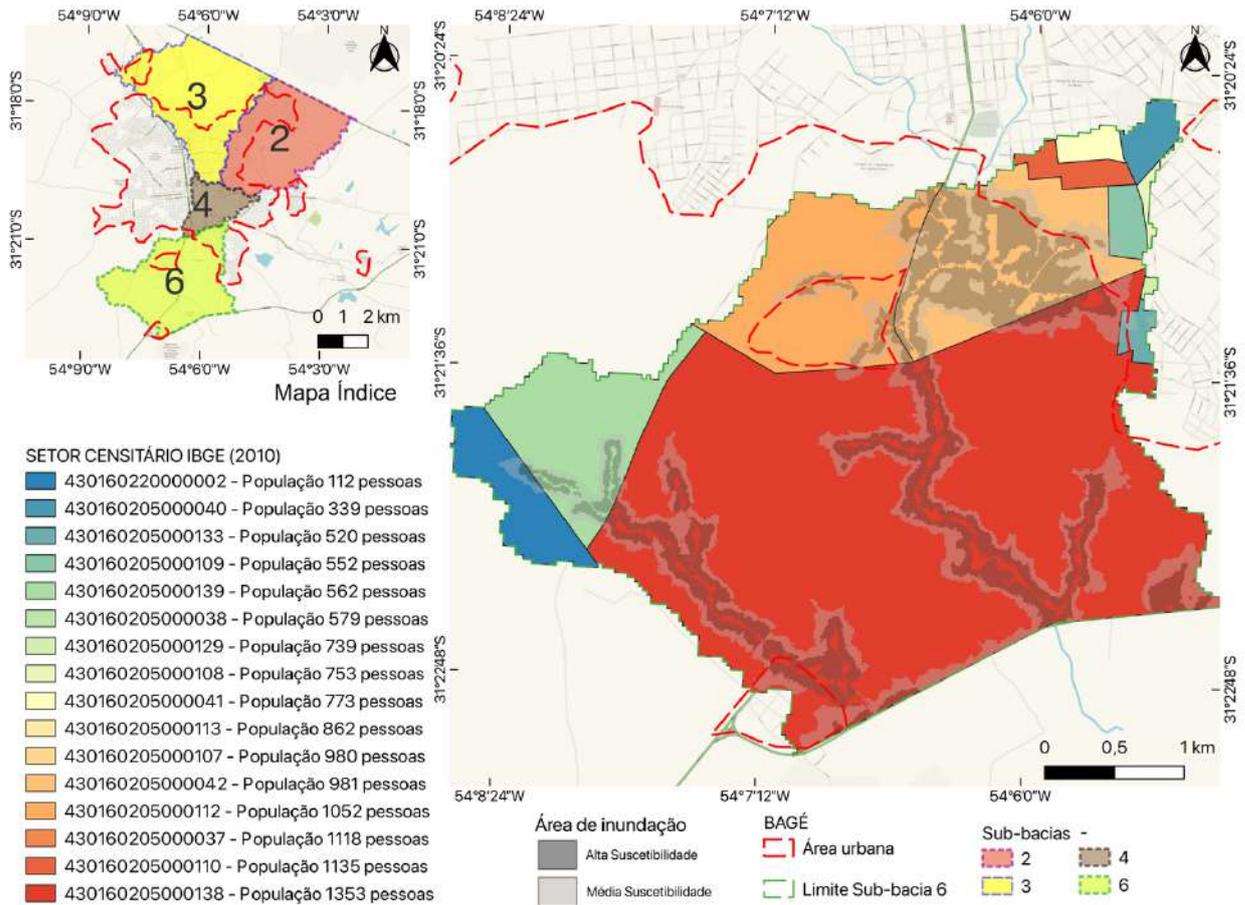
Figura 65 - Setores censitários presentes na sub-bacia 4.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir de dados do IBGE (2010).

Na sub-bacia 6 (Figura 66) constam ao todo 4.323 habitantes, no qual 961 habitantes (22,23%) vivem em áreas de inundação. Desse valor, 587 pessoas (13,57%) vivem na área de alta suscetibilidade, e 374 pessoas (8,66%) na área de média suscetibilidade.

Figura 66 - Setores censitários presentes na sub-bacia 6.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir de dados do IBGE (2010).

A sub-bacia 2 é a que mais contém habitantes nas áreas de inundação, 47,76% dos 11.569 moradores. Na direção sul/norte a linha de drenagem principal se divide em duas, onde a linha de drenagem oeste concentra mais urbanização por estar próxima da avenida Santa Tecla, uma das principais vias de acesso a cidade, já a linha de drenagem leste requer atenção, tendo em vista que a cidade está se expandindo naquela direção, atraída pela Universidade Federal do Pampa.

Nota-se um padrão nas sub-bacias 2, 3 e 4 em que as áreas de inundação de média suscetibilidade atingem mais habitantes do que a alta suscetibilidade. Apenas a sub-bacia 6 (ao sul) não condiz com o padrão, o que poderia estar relacionado ao número reduzido de habitantes neste lado da cidade de Bagé, já que existem áreas

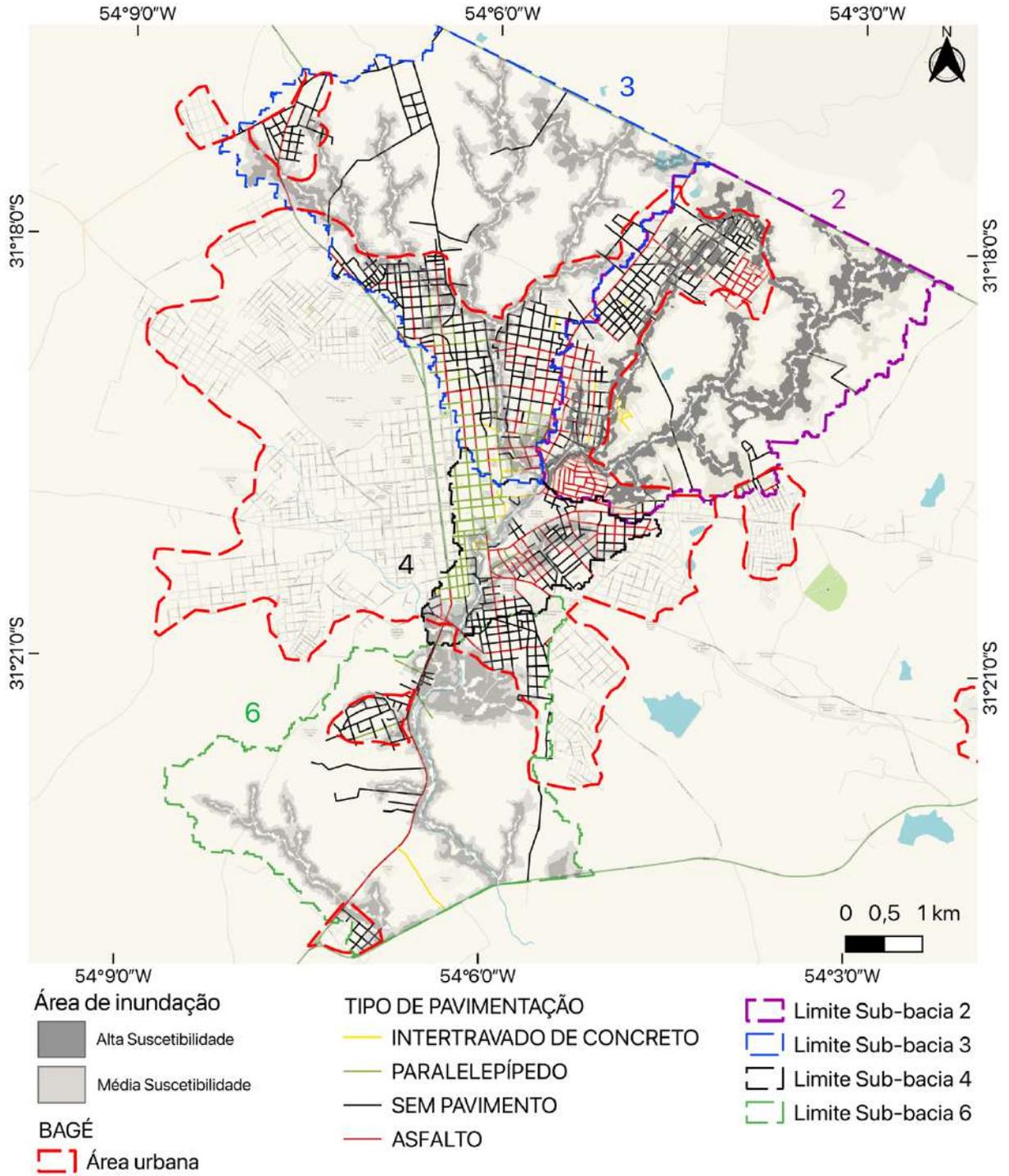
recreativas (Ginásio do Militão, Sede Campestre Clube Caixeiral e Clube Cantegril) e rurais instaladas.

Quando somados os habitantes de todas as áreas de renaturalização nas sub-bacias, são 17.547 pessoas (35,80%). Estes valores demonstram a importância da demarcação das áreas de inundação antes de possibilitar a construção de novos loteamentos urbanos e aumento de urbanização nestas áreas.

## 5.5 Infraestrutura viária

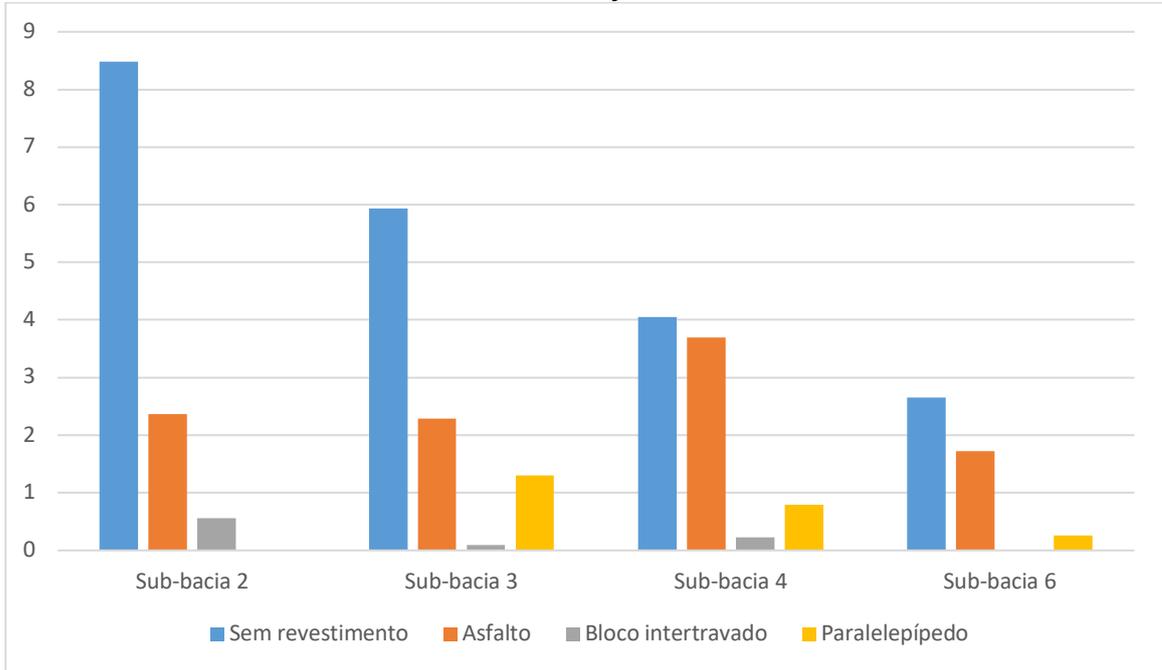
A Figura 67 contém o mapa geral de infraestrutura viária nas sub-bacias estudadas, sendo que a pavimentação viária inclui as camadas de subleito, reforço de subleito, sub-base e base de revestimento. Como modo de organização, após o mapa geral estão dois gráficos de tipo de revestimento de pavimentação viária, em quilômetros, divididos por alta (Figura 68) e média (Figura 69) suscetibilidade de inundação. Nessa pesquisa é observado, primeiramente, a presença de vias e o tipo de revestimento de pavimentação, com suas implicações no processo de renaturalização. A partir do mapa geral e dos gráficos será detalhado, nas figuras seguintes, cada sub-bacia e a quantificação (em quilômetros) do tipo de revestimento de pavimentação, para análise. As áreas de estudo são as áreas de alta e média suscetibilidade de inundação dentro de cada sub-bacia, analisando primeiramente os dados disponíveis de toda a sub-bacia (disponibilizados por Silva *et al.* 2021) e após fazendo o recorte para as áreas suscetíveis.

Figura 67 - Mapa geral de infraestrutura viária presente nas sub-bacias 2, 3, 4 e 6.



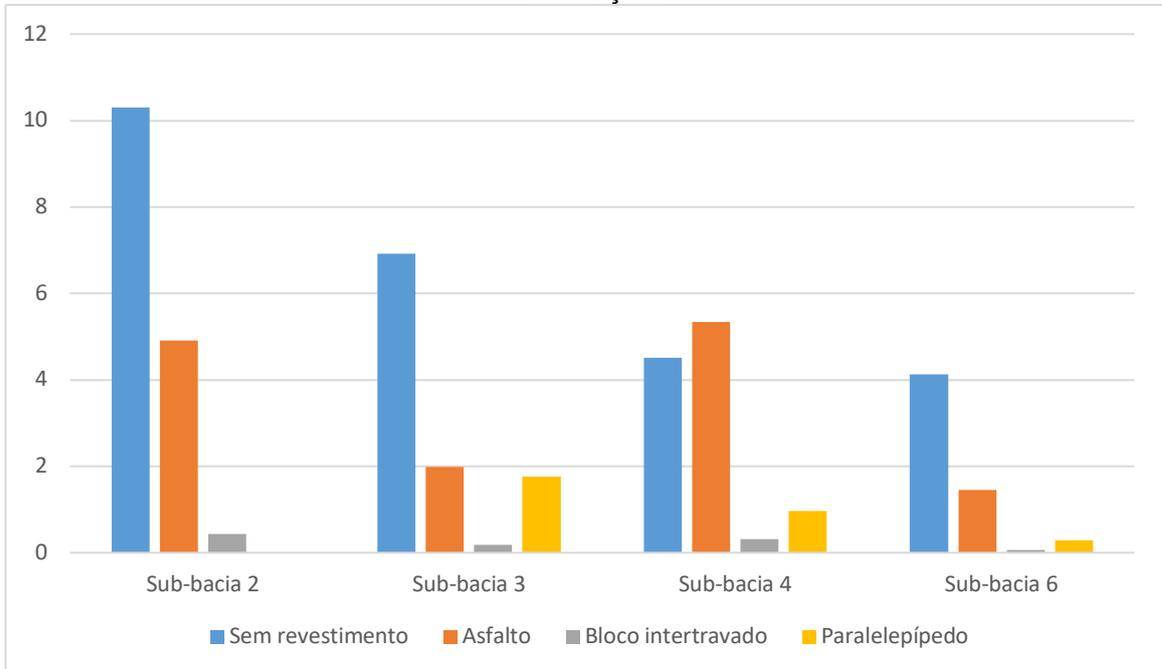
Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Figura 68 - Gráfico de tipo de revestimento de pavimentação viária em alta suscetibilidade de inundação.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Figura 69 - Gráfico de tipo de revestimento de pavimentação viária em média suscetibilidade de inundação.



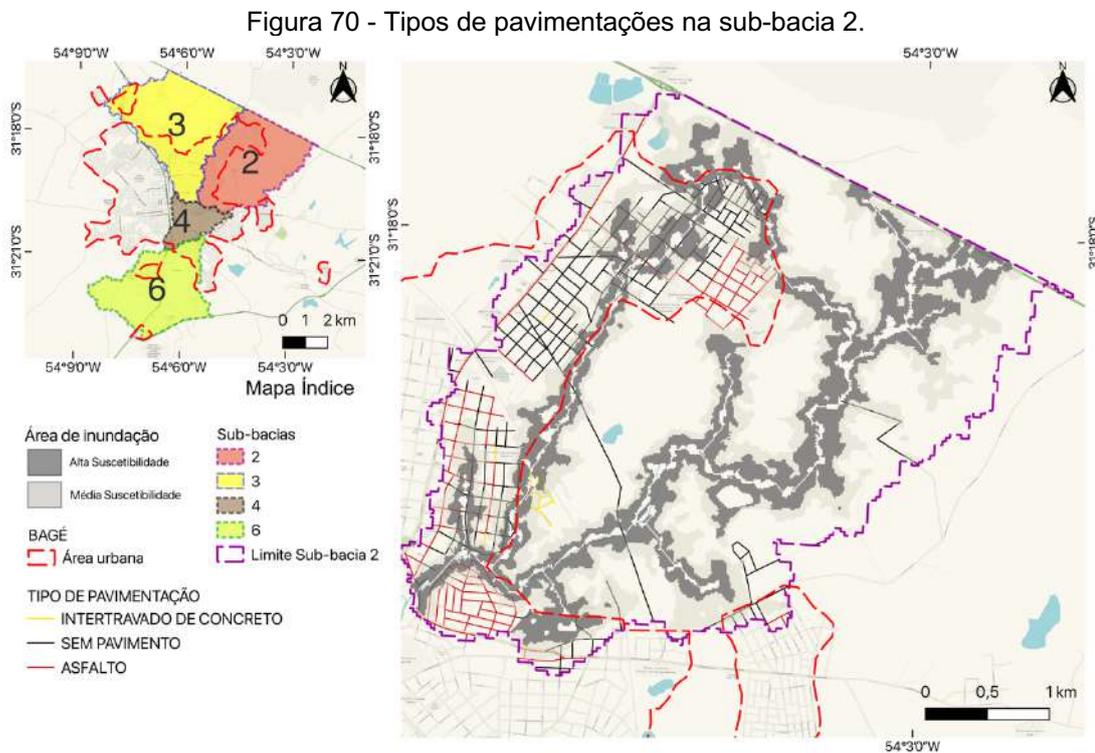
Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Analisando os gráficos acima, destaca-se a predominância de vias sem revestimento de pavimentação nas sub-bacias 2, 3 e 6, oferecendo maiores

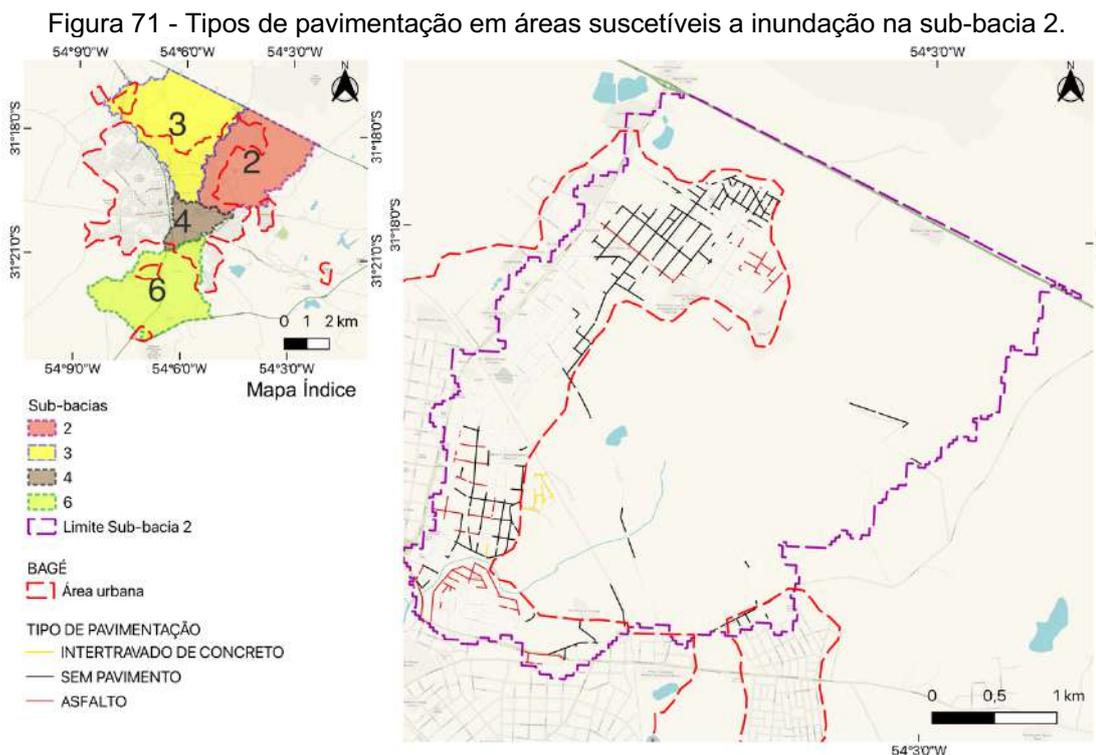
oportunidades para o processo de renaturalização, quando comparado a sub-bacia 4 que, no caso das áreas de média suscetibilidade de inundação, contém maior quantidade de vias asfaltadas.

Após a visão geral do tipo de revestimento de pavimentação viária e os gráficos divididos por alta e média suscetibilidade de inundação, agora estarão dispostas separadamente cada sub-bacia, possibilitando a análise detalhada.

Na Figura 70 estão delimitados as ruas construídas e os tipos de revestimentos de pavimentação, dentro dos limites da sub-bacia 2 e a Figura 71 mostra os tipos de revestimentos de pavimentação coloridos apenas que estão dentro de áreas inundáveis.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).



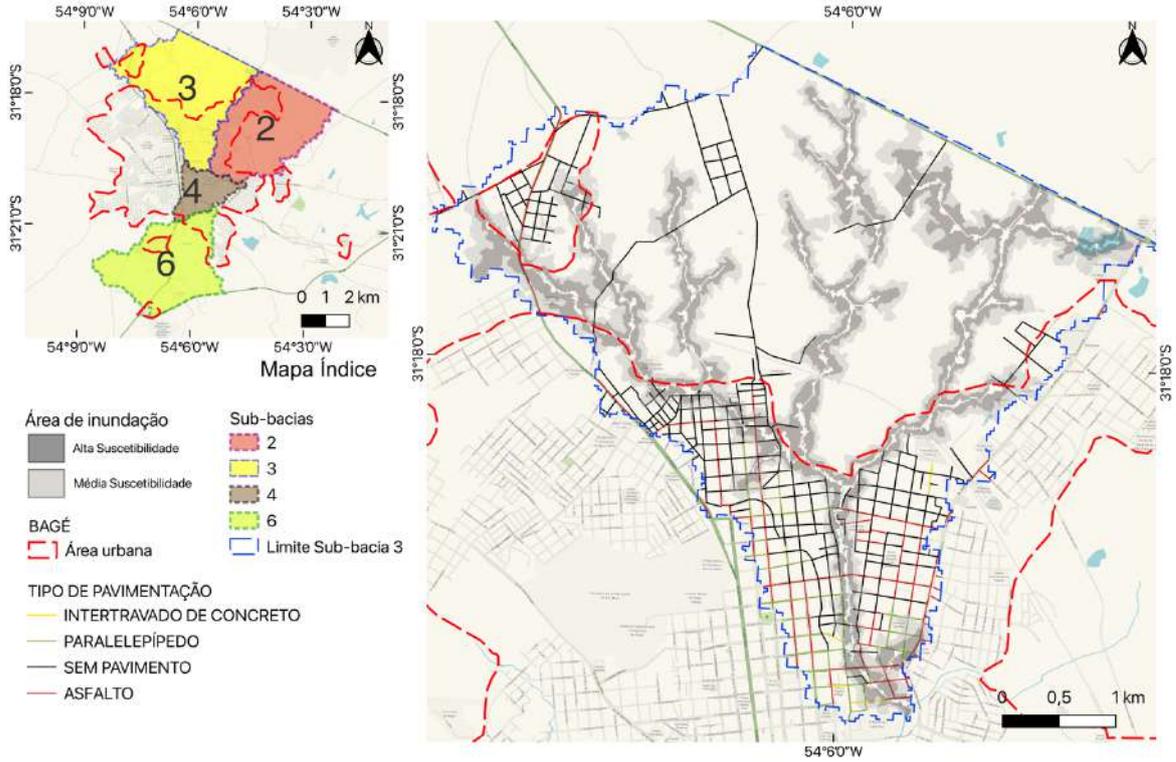
Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

A sub-bacia 2 contém 67,74km de ruas demarcadas, sendo 41,38km (61,10%) de vias sem revestimento de pavimentação, 24,37km (35,97%) de vias asfaltadas e 1,99km (2,93%) de vias com blocos intertravados de concreto. Deste total, 11,41km (16,84%) de vias demarcadas estão em áreas de alta suscetibilidade a inundação, sendo 8,48km (74,32%) de ruas sem revestimento de pavimentação, 2,37km (20,78%) de ruas asfaltadas e 0,56km (4,90%) de ruas com blocos intertravados de concreto. Em média suscetibilidade contém 15,65km (23,10%) de ruas demarcadas, sendo 10,30km (65,81%) de ruas sem revestimento de pavimentação, 4,91km (31,37%) de ruas asfaltadas e 0,44km (2,82%) de ruas com blocos intertravados de concreto.

Por ser uma área de expansão na cidade, muitas ruas não estão asfaltadas, contudo, já existem loteamentos e aproximadamente 5.526 habitantes residentes. Nas áreas de inundação ao leste do mapa, onde não constam loteamentos e infraestrutura, a demarcação da zona especial diretamente no plano diretor possibilitaria garantir o sucesso do processo de renaturalização do arroio.

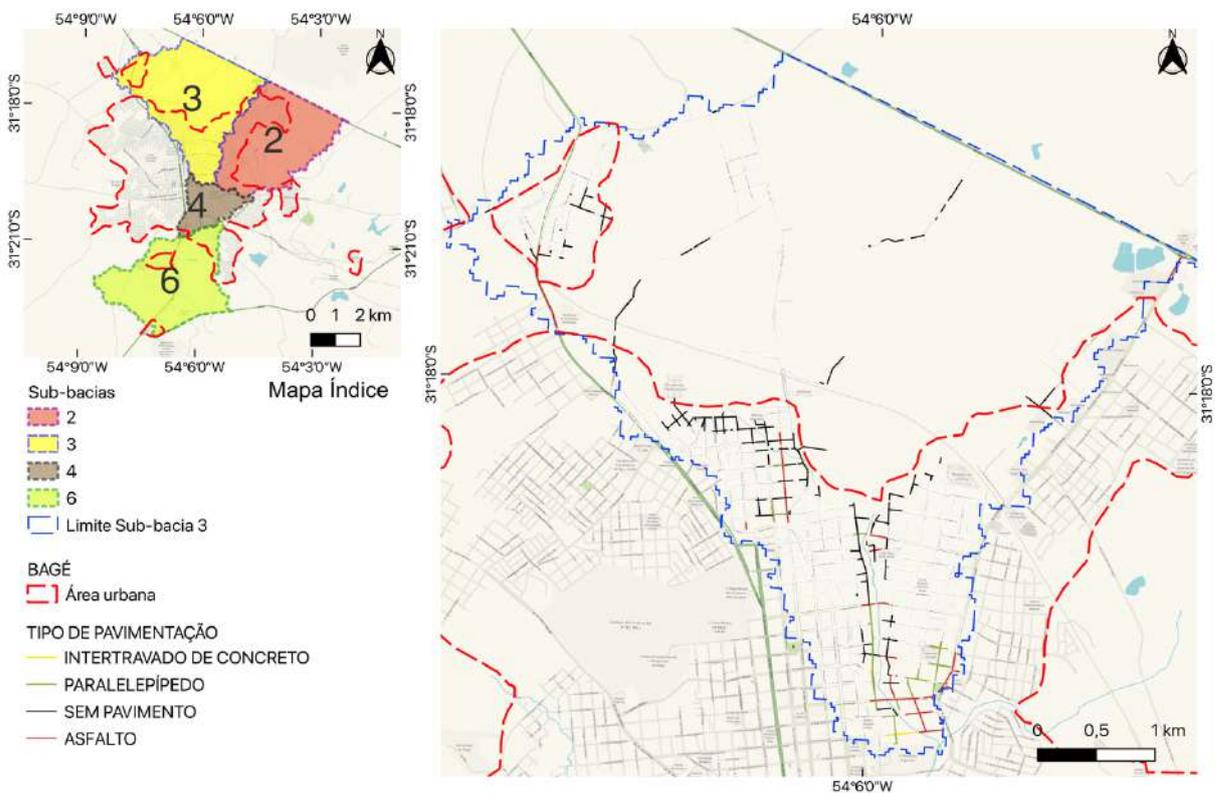
Na Figura 72 estão delimitados as ruas construídas e os tipos de revestimentos de pavimentação dentro dos limites da sub-bacia 3 e a Figura 73 mostra os tipos de revestimentos de pavimentação coloridos apenas que estão dentro de áreas inundáveis.

Figura 72 - Tipos de pavimentações na sub-bacia 3.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Figura 73 - Tipos de pavimentação em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 3.



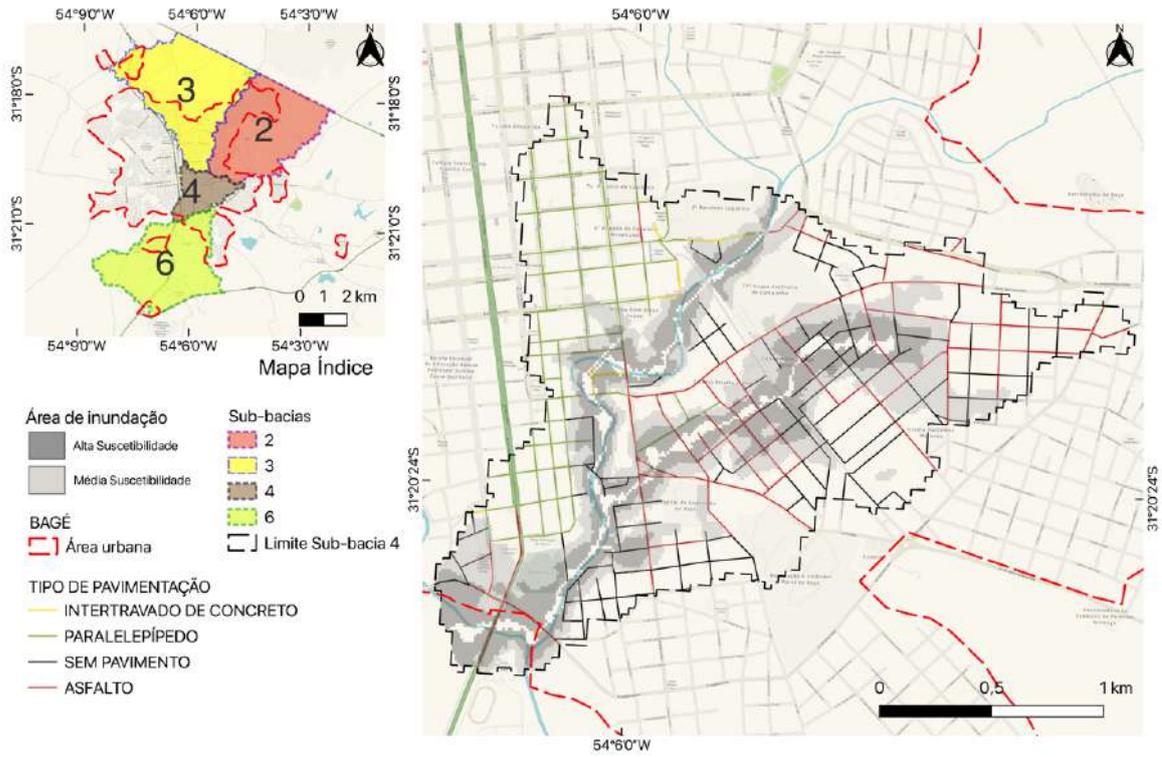
Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

A sub-bacia 3 contém 85,78km de ruas demarcadas, sendo 56,54km (65,91%) de vias sem revestimento de pavimentação, 18,20km (21,21%) de vias asfaltadas, 10,11km (11,80%) de vias com paralelepípedos e 0,93km (1,08%) de vias com blocos intertravados de concreto. Deste total, 9,61km (11,20%) de vias demarcadas estão em áreas de alta suscetibilidade a inundações, sendo 5,93km (61,70%) de ruas sem revestimento de pavimentação, 2,29km (23,83%) de ruas asfaltadas, 1,30km (13,52%) de ruas com paralelepípedos e 0,09km (0,95%) de ruas com blocos intertravados de concreto. Em média suscetibilidade contém 10,85km (12,65%) de ruas demarcadas, sendo 6,92km (63,77%) de ruas sem revestimento de pavimentação, 1,99km (18,34%) de ruas asfaltadas, 1,76km (16,22%) de ruas com paralelepípedos e 0,18km (1,67%) de ruas com blocos intertravados de concreto.

O mapa de infraestrutura viária da sub-bacia 3 demonstra que acima de 60% do total de vias não foram pavimentadas. Ao norte da sub-bacia, no espaço fora da área urbana, o plano diretor poderia demarcar as áreas de inundações para que novos loteamentos não se desenvolvam, assegurando que o processo de intervenção ocorra em sua totalidade.

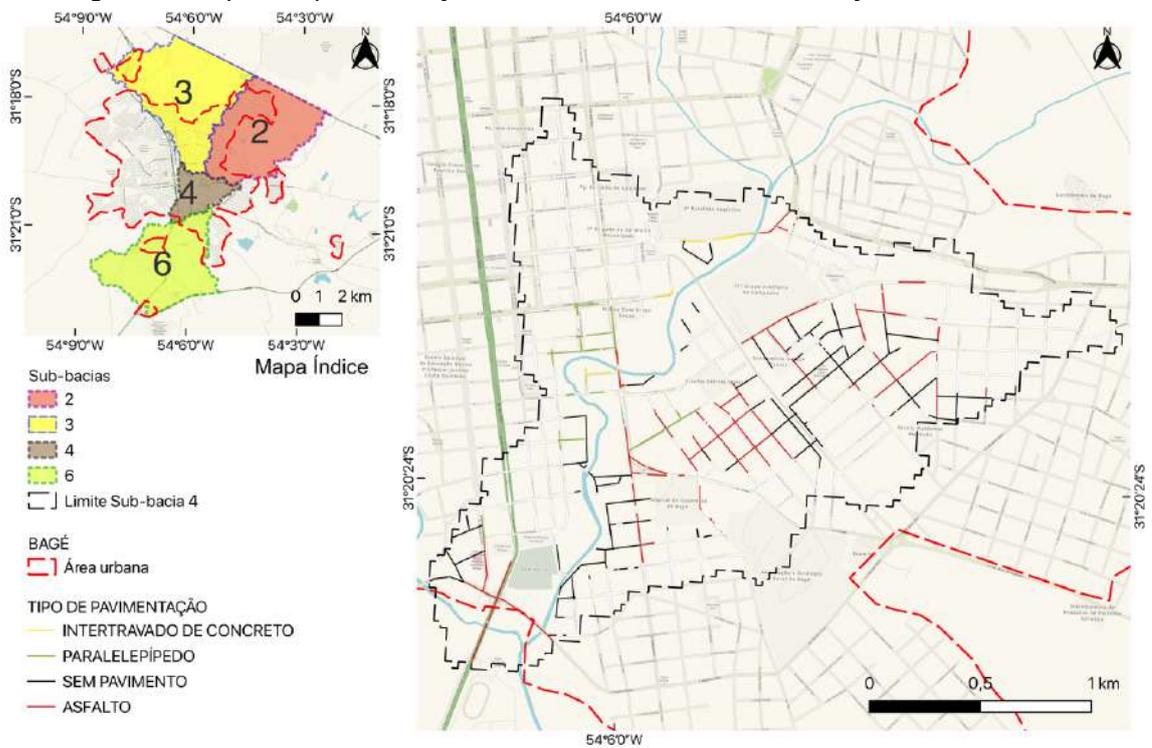
Na Figura 74 estão delimitados as ruas construídas e os tipos de revestimentos de pavimentação dentro dos limites da sub-bacia 4 e a Figura 75 mostra os tipos de revestimentos de pavimentação coloridos apenas que estão dentro de áreas inundáveis.

Figura 74 - Tipos de pavimentações na sub-bacia 4.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Figura 75 - Tipos de pavimentação em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 4.



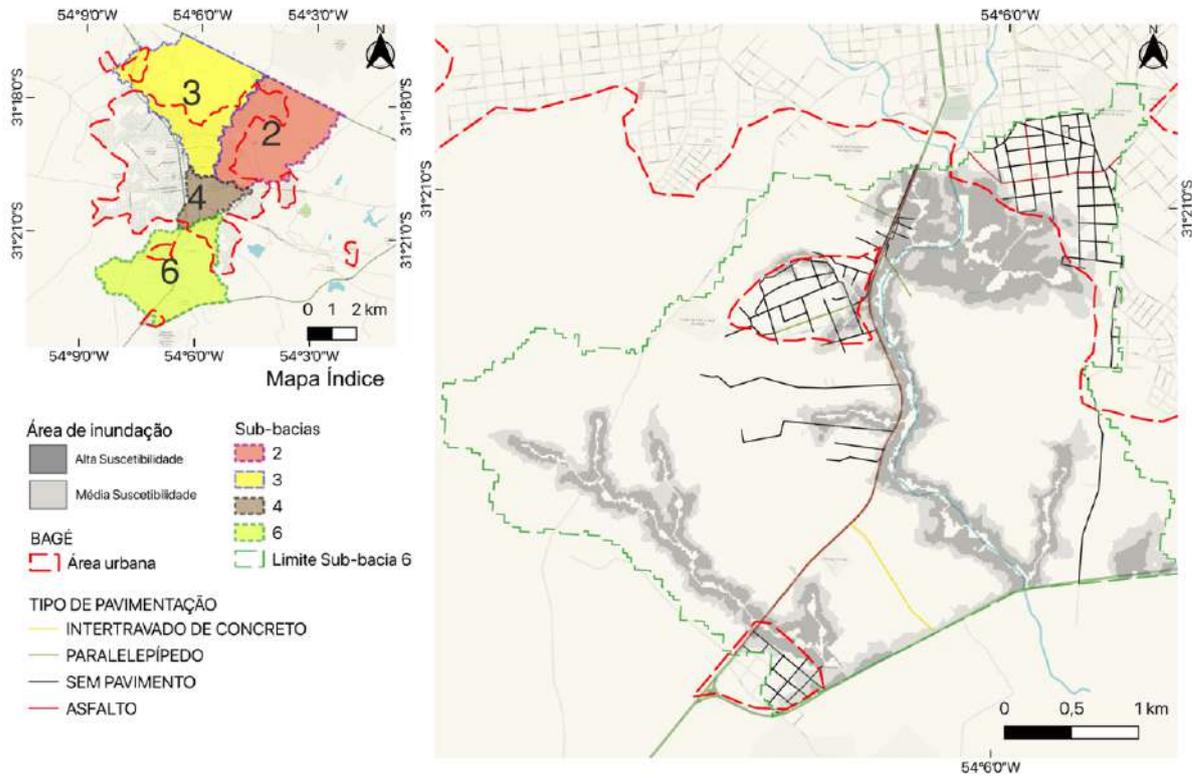
Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

A sub-bacia 4 contém 50,13km de ruas demarcadas, sendo 18,57km (37,04%) de vias asfaltadas, 17,63km (35,16%) de vias sem revestimento de pavimentação, 12,90km (25,75%) de vias com paralelepípedos e 1,02km (2,05%) de vias com blocos intertravados de concreto. Deste total, 8,77km (17,50%) de vias demarcadas estão em áreas de alta suscetibilidade a inundações, sendo 4,05km (46,18%) de ruas sem revestimento de pavimentação, 3,70km (42,19%) de ruas asfaltadas, 0,79km (9,00%) de ruas com paralelepípedos e 0,23km (2,63%) de ruas com blocos intertravados de concreto. Em média suscetibilidade contém 11,12km (22,18%) de ruas demarcadas, sendo 5,34km (48,02%) de ruas asfaltadas, 4,51km (40,56%) de ruas sem revestimento de pavimentação, 0,96km (8,63%) de ruas com paralelepípedos e 0,31km (2,79%) de ruas com blocos intertravados de concreto.

Por ser uma área ao centro da cidade, a quantidade de ruas asfaltadas é relativamente maior quando comparado as outras sub-bacias. O processo de renaturalização ocorreria com dificuldade devido ao avanço da infraestrutura viária e urbanização nas áreas de inundações. Nas áreas remanescentes, sem infraestrutura e população, a prefeitura da cidade de Bagé já está desenvolvendo projetos de intervenção, como o Parque da Panela do Candal, que busca utilizar o espaço ao centro para área verde e convívio da sociedade com lazer.

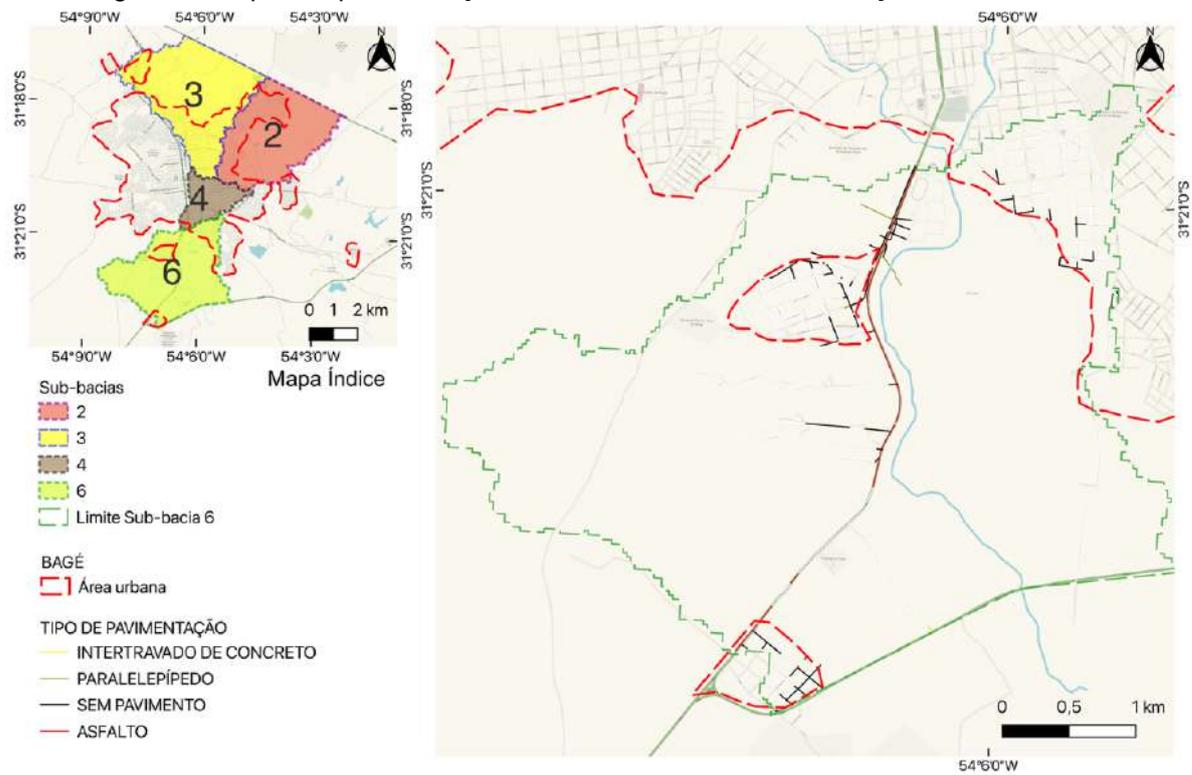
Na Figura 76 estão delimitados as ruas construídas e os tipos de revestimentos de pavimentação dentro dos limites da sub-bacia 6 e a Figura 77 mostra os tipos de revestimentos de pavimentação coloridos apenas que estão dentro de áreas inundáveis.

Figura 76 - Tipos de pavimentações na sub-bacia 6.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Figura 77 - Tipos de pavimentação em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 6.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

A sub-bacia 6 contém 35,81km de ruas demarcadas, sendo 27,40km (76,53%) de vias sem revestimento de pavimentação, 5,97km (16,67%) de vias asfaltadas, 1,40km (3,90%) de vias com paralelepípedos e 1,04km (2,90%) de vias com blocos intertravados de concreto. Deste total, 4,63km (12,92%) de vias demarcadas estão em áreas de alta suscetibilidade a inundações, sendo 2,65km (57,24%) de ruas sem revestimento de pavimentação, 1,72km (37,15%) de ruas asfaltadas e 0,26km (5,61%) de ruas com paralelepípedos. Em média suscetibilidade contém 5,94km (16,58%) de ruas demarcadas, sendo 4,13km (69,53%) de ruas sem revestimento de pavimentação, 1,46km (24,58%) de ruas asfaltadas, 0,29km (4,88%) de ruas com paralelepípedos e 0,06km (1,01%) de ruas com blocos intertravados de concreto.

Ao norte a mancha de área de renaturalização contém pouca infraestrutura viária pois naquele ambiente se encontra o Ginásio do Militão, um espaço focado ao público para lazer e esportes. Ao oeste encontram-se sítios e pouca urbanização, e ao sul a urbanização concentrada foi atraída pela presença do aeroporto da cidade. No geral, seria uma área que possibilitaria o processo de renaturalização ocorrer com força pela presença de muitos espaços vazios e pouca pavimentação.

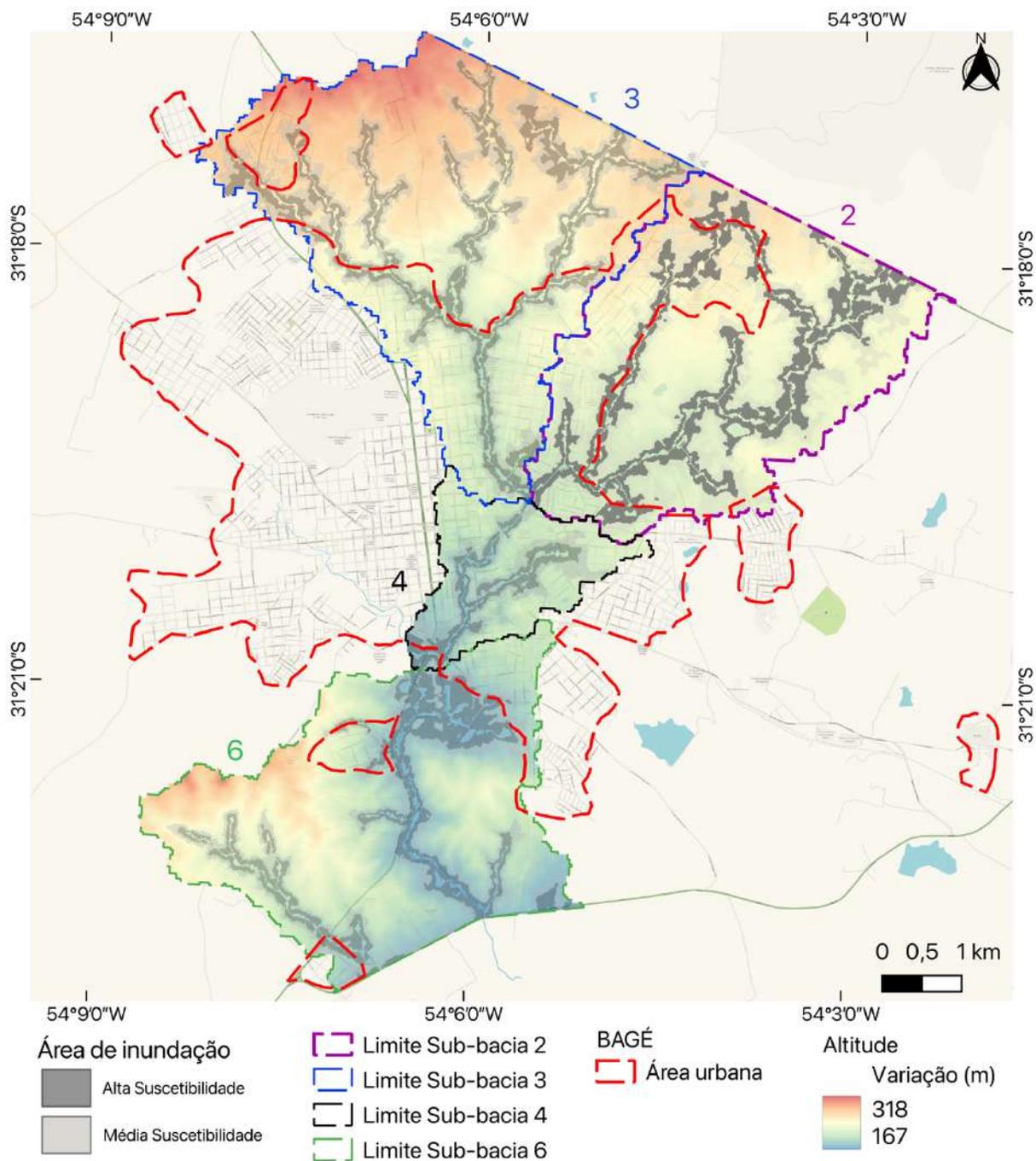
Conclui-se que a presença de vias asfaltadas implica em elevado impacto ambiental e severas dificuldades para realizar processos de renaturalização, particularmente em áreas de inundações, o que pode ocorrer com menos intensidade em vias com pouca ou nenhuma infraestrutura viária, tanto pela quantidade de vias, quanto pelo tipo de revestimento de pavimentação. Para o futuro, seria interessante delimitar as áreas de alta e média suscetibilidade a inundações como áreas inadequadas para construções, particularmente aquelas que tendem a ocupar e impermeabilizar o solo. Isso ajudaria a reduzir a criação de novos loteamentos e, conseqüentemente, de novas vias, evitando que o processo de renaturalização seja impedido pela falta de espaços livres, especialmente nas regiões mais periféricas.

## 5.6 Altitude e declividade

Tanto altitude como declividade são condicionantes importantes para os cursos d'água. Como foi apresentado anteriormente, estes fatores interferem no modelo HAND e no mapeamento de inundações, pois estão diretamente ligados com a forma como a água percorre o espaço e define as linhas de drenagem. A Figura 78 mostra a variação de altitude presente nas quatro sub-bacias estudadas. A área de

estudo são as áreas de alta e média suscetibilidade a inundação dentro de cada sub-bacia, analisando primeiramente os dados disponíveis de toda a sub-bacia e após fazendo o recorte para as áreas suscetíveis.

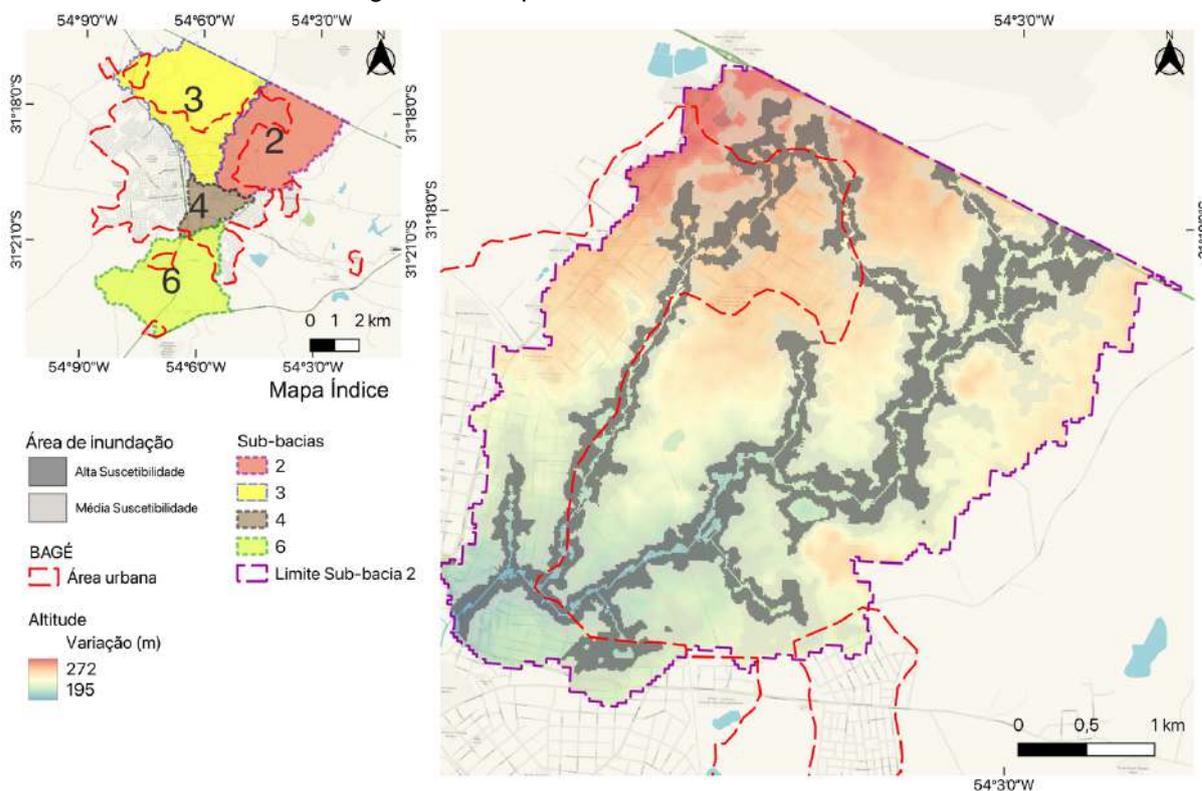
Figura 78 - Variação de altitude nas quatro sub-bacias estudadas.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir da imagem de altitude do satélite Alos Palsar (2011), 12,5m x 12,5m de resolução, com sobreposição dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

A Figura 79 demarca o mapa de altitude da sub-bacia 2, onde é possível observar que ao norte está a área de maior altitude (272 metros acima do mar), enquanto ao sul está a área de menor altitude (195 metros acima do mar). Ao leste existe uma grande área de inundação na altitude média (235 metros acima do mar). No geral, as áreas de maior altitude concentram a urbanização e nas margens do arroio nota-se a diferença entre as altitudes bem demarcadas.

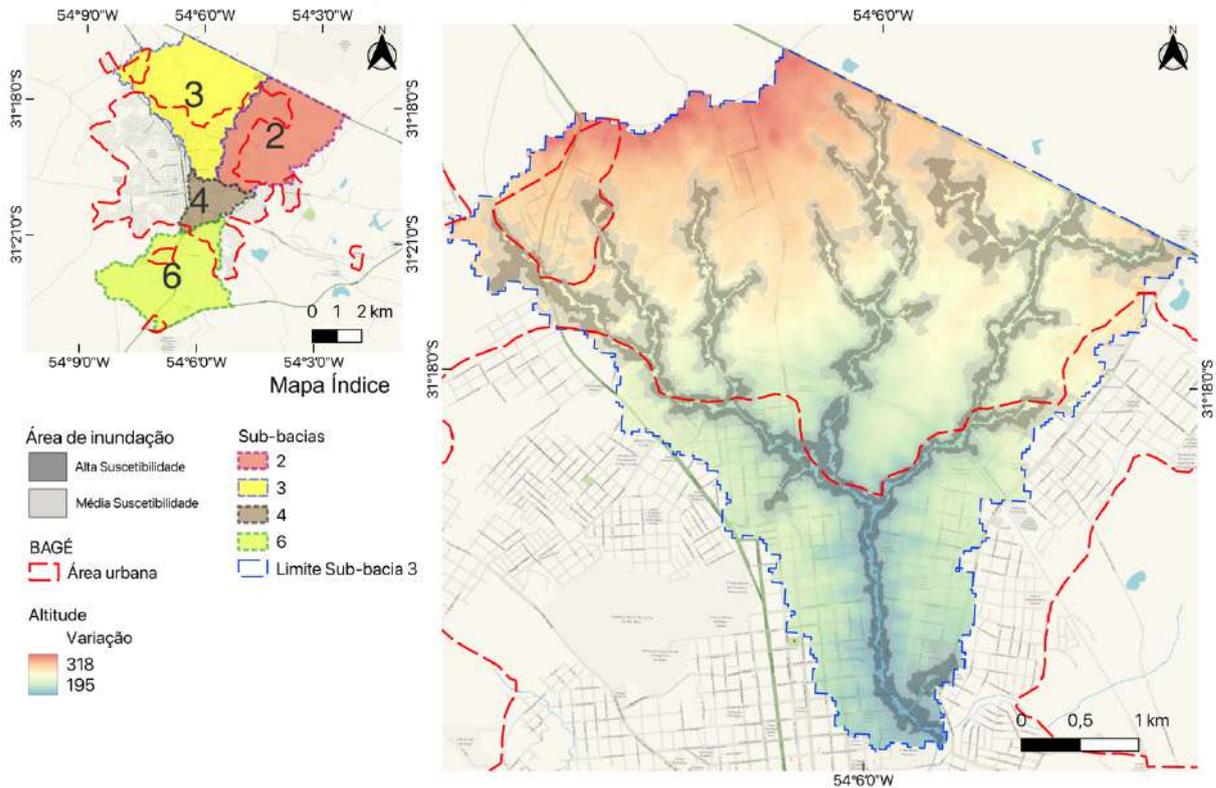
Figura 79 - Mapa de altitude da sub-bacia 2.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir da imagem de altitude do satélite Alos Palsar (2011), 12,5m x 12,5m de resolução, com sobreposição dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Na Figura 80 é possível visualizar o mapa de altitude da sub-bacia 3. Ao norte da zona urbana e em um dos acessos principais da cidade de Bagé se encontra a maior altitude (318 metros em relação ao mar), e conforme se aproxima da região sul da sub-bacia se encontra a menor altitude (195 metros em relação ao mar). No total estão 123 metros de diferença de altitude que ocorre gradativamente entre as direções norte-sul. Quando comparado a sub-bacia 2, a altitude mínima é a mesma (195 metros acima do mar), porém a altitude máxima é maior (46 metros a mais que a altitude mais alta na sub-bacia 2), demonstrando que o terreno da cidade sobe ao noroeste, e desce ao sul (na direção do centro da cidade), mantendo-se como a zona com menor altitude.

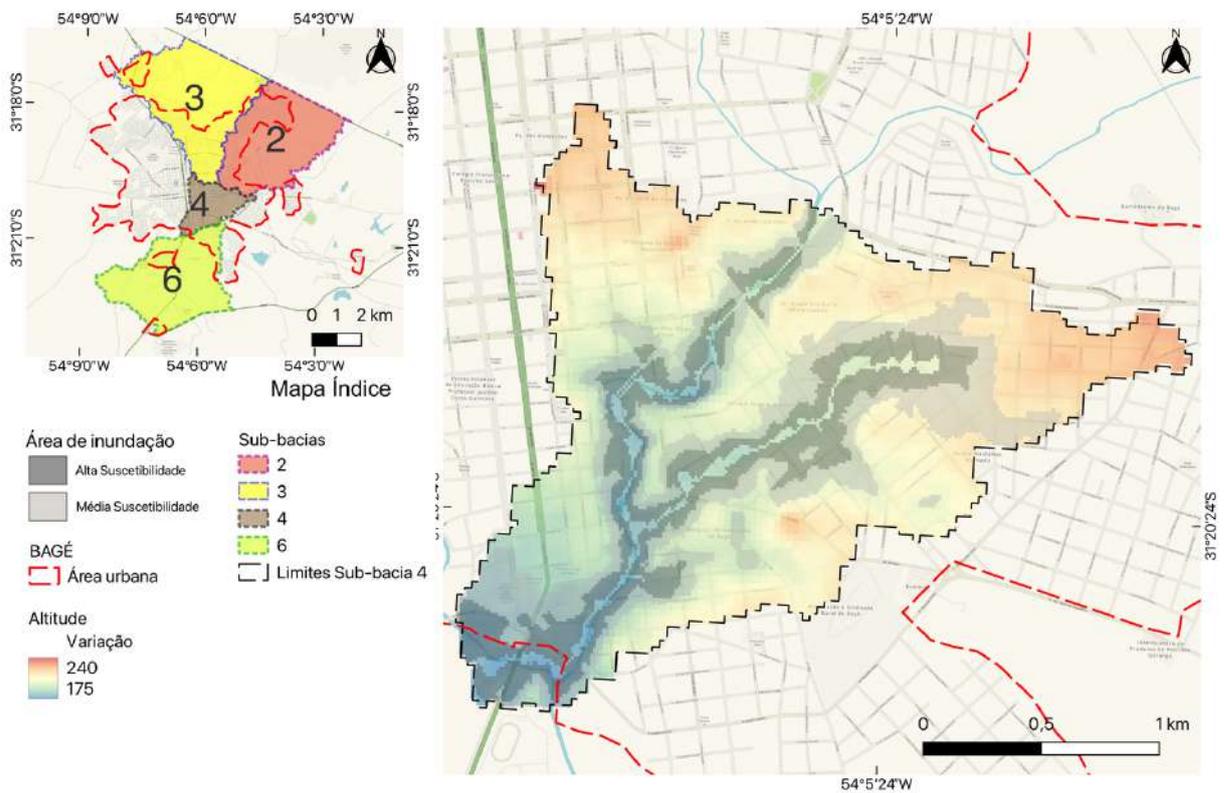
Figura 80 - Mapa de altitude da sub-bacia 3.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir da imagem de altitude do satélite Alos Palsar (2011), 12,5m x 12,5m de resolução, com sobreposição dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Na Figura 81 visualiza-se o mapa de altitude na sub-bacia 4. Por ser uma região mais central e menor, quando comparada as demais sub-bacias do estudo, são 65 metros de variação de altitude entre as regiões mais altas (ao norte) e as mais baixas ao sudoeste. Ao noroeste e nordeste estão as áreas de maior altitude na bacia (240 metros acima do mar) e ao sul segue reduzindo a altitude, chegando a 175 metros (20 metros a menos quando comparado as sub-bacias 2 e 3).

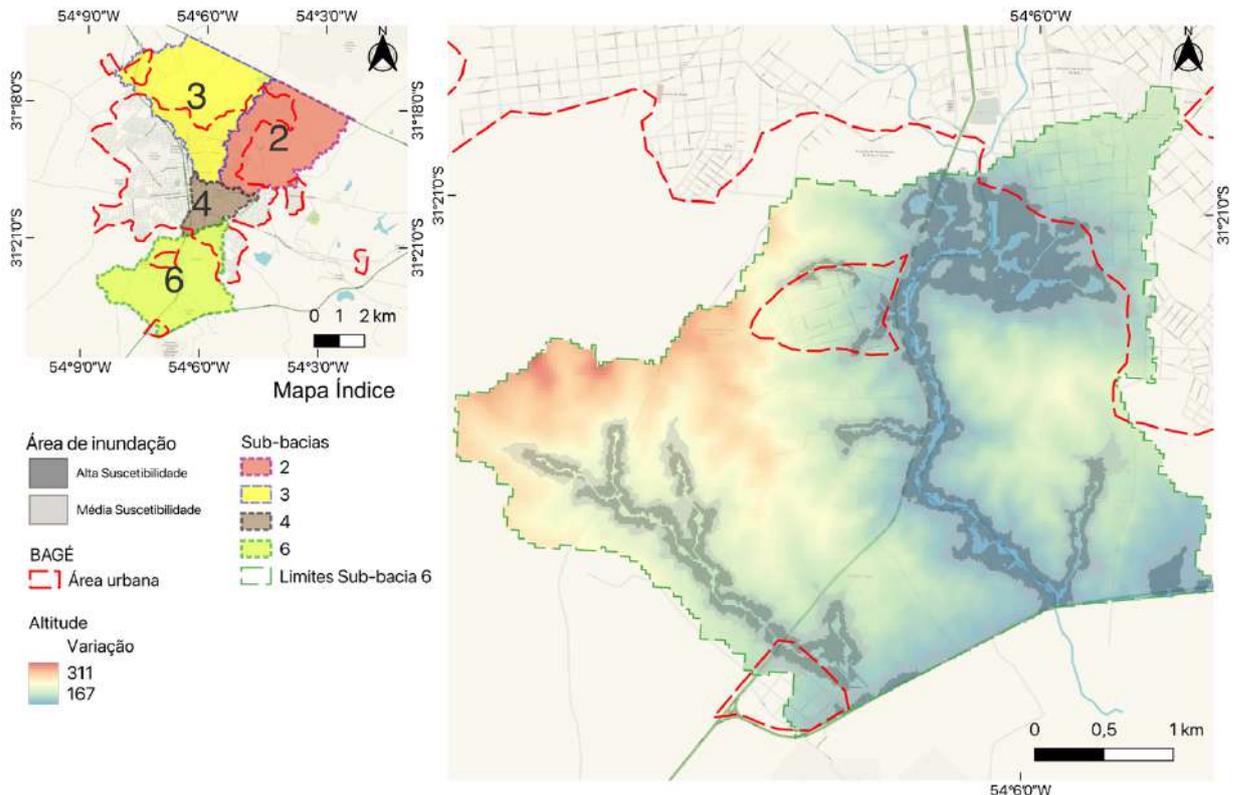
Figura 81 - Mapa de altitude da sub-bacia 4.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir da imagem de altitude do satélite Alos Palsar (2011), 12,5m x 12,5m de resolução, com sobreposição dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Na Figura 82 consta o mapa de altitude na sub-bacia 6. Completamente ao sul quando analisado em conjunto com as outras sub-bacias, conta com 144 metros de variação de altitude. Ao leste está a altitude mais baixa (167 metros acima do mar), enquanto ao oeste está a altitude mais alta (311 metros acima do mar).

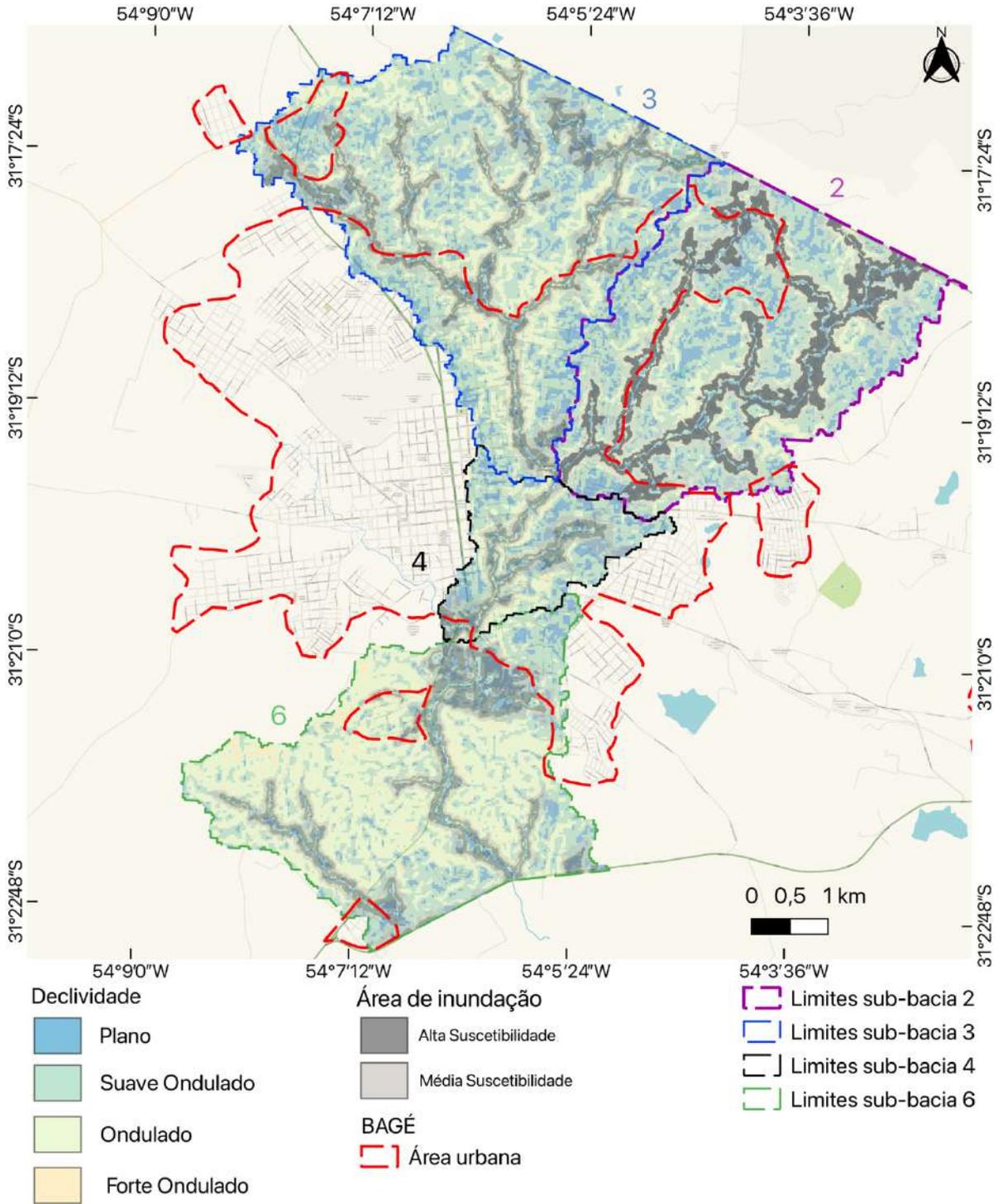
Figura 82 - Mapa de altitude da sub-bacia 6.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024) a partir da imagem de altitude do satélite Alos Palsar (2011), 12,5m x 12,5m de resolução, com sobreposição dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

A declividade também foi analisada. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1979) a declividade é classificada em diferentes classes conforme a porcentagem de declive do terreno. É considerado plano entre 0% e 3%, suave ondulado entre 3% e 8%, ondulado entre 8% e 20%, forte ondulado entre 20% e 45%, montanhoso entre 45% e 75% e escarpado acima de 75%. A Figura 83 mostra a declividade presente nas quatro sub-bacias estudadas.

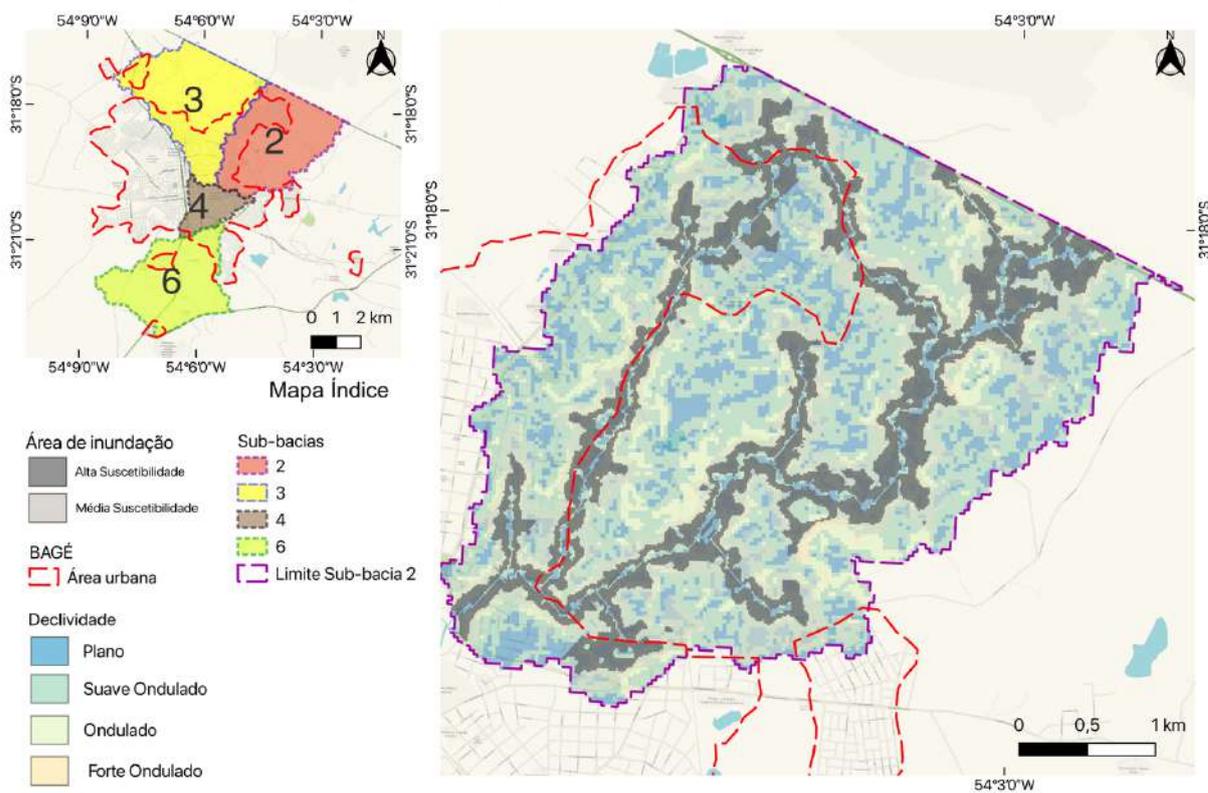
Figura 83 - Mapa de declividade nas quatro sub-bacias estudadas.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir da imagem do satélite Alos Palsar (2011), 12,5m x 12,5m de resolução, com sobreposição dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

A Figura 84 demonstra a declividade do terreno na sub-bacia 2. As áreas planas e suaves onduladas dominam o terreno, enquanto poucas áreas onduladas e forte onduladas aparecem nos contornos das áreas de inundação.

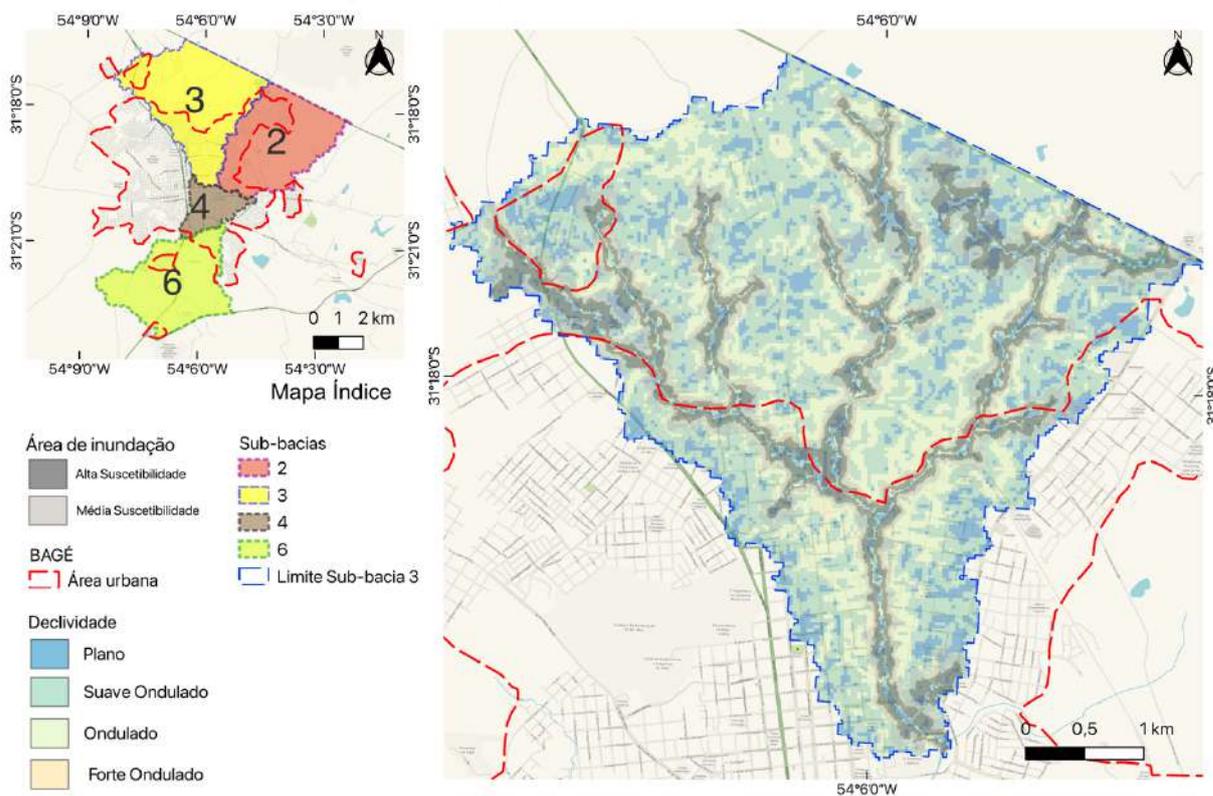
Figura 84 - Mapa de declividade da sub-bacia 2.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir da imagem do satélite Alos Palsar (2011), 12,5m x 12,5m de resolução, com sobreposição dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

A Figura 85 mostra a declividade presente na sub-bacia 3. O que predomina são as declividades suave ondulada e plana nas áreas urbanizadas, enquanto nas áreas de inundação, nas margens do arroio Bagé, estão as declividades onduladas.

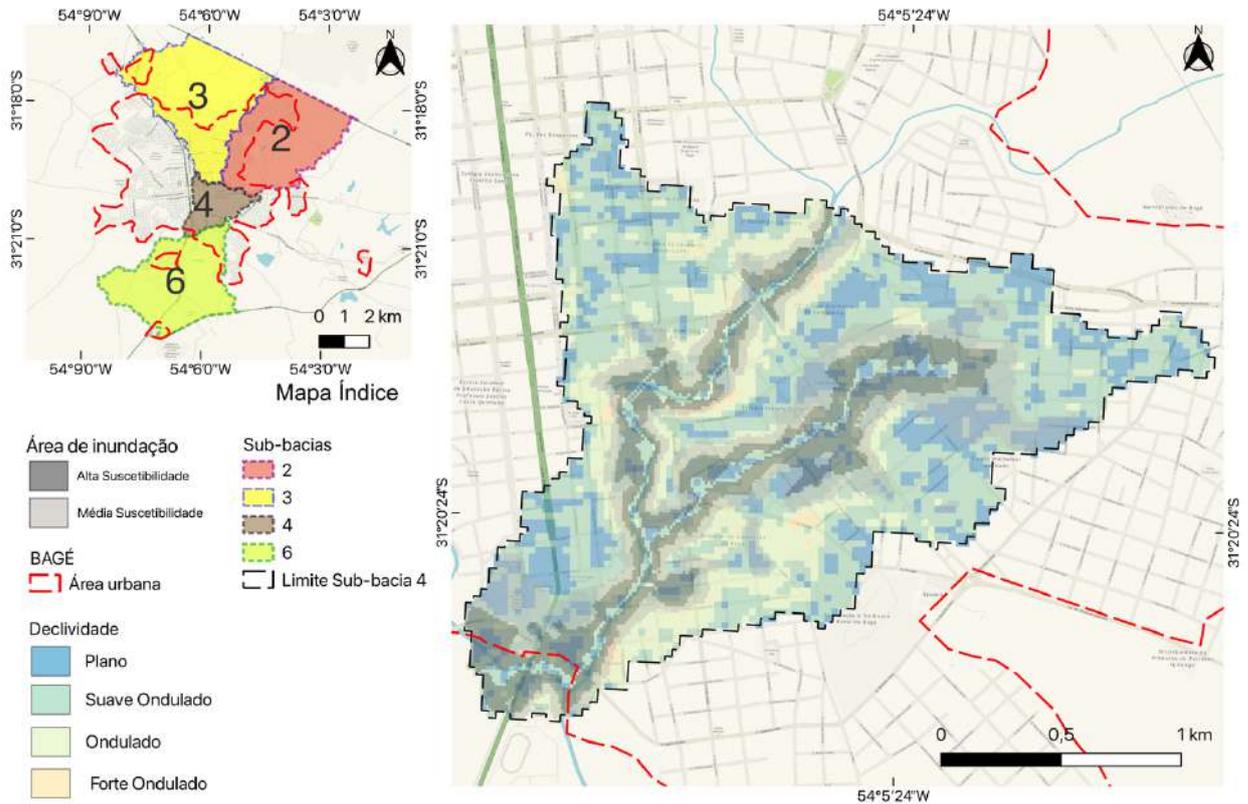
Figura 85 - Mapa de declividade da sub-bacia 3.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir da imagem do satélite Alos Palsar (2011), 12,5m x 12,5m de resolução, com sobreposição dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Na Figura 86 é mostrado o mapa de declividade para a sub-bacia 4. Assim como as demais sub-bacias, predominam o declive suave ondulado e plano, enquanto nas áreas de inundação estão os declives ondulados. Em alguns pontos aparece o declive forte ondulado, próximas as áreas de inundação ao centro do mapa.

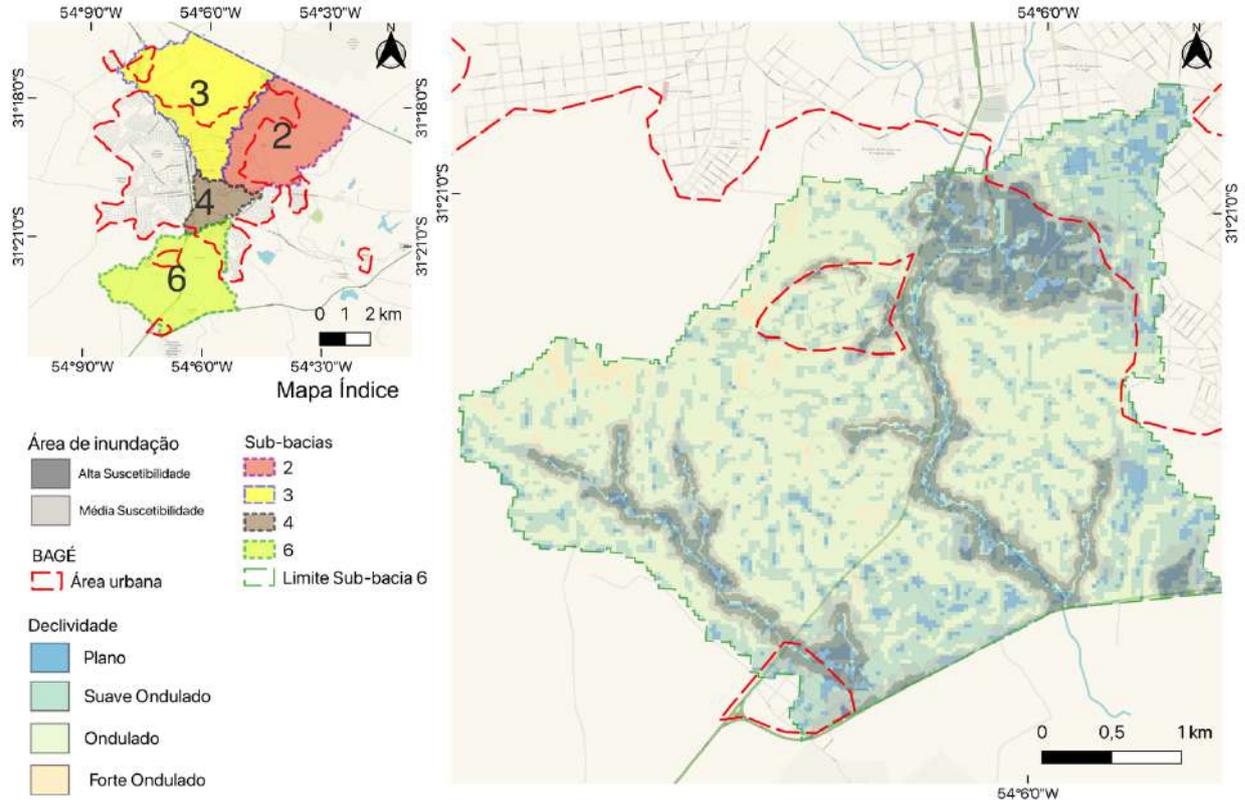
Figura 86 - Mapa de declividade da sub-bacia 4.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir da imagem do satélite Alos Palsar (2011), 12,5m x 12,5m de resolução, com sobreposição dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Na Figura 87 destaca-se o mapa de declividade na sub-bacia 6. Diferente dos demais mapas, este contém mais declividades onduladas. Ao norte e ao sul do mapa estão declives mais suaves, e uma região plana ao norte bem centralizada na área de inundação, que pode ser compreendida como a presença da linha de drenagem.

Figura 87 - Mapa de declividade da sub-bacia 6.



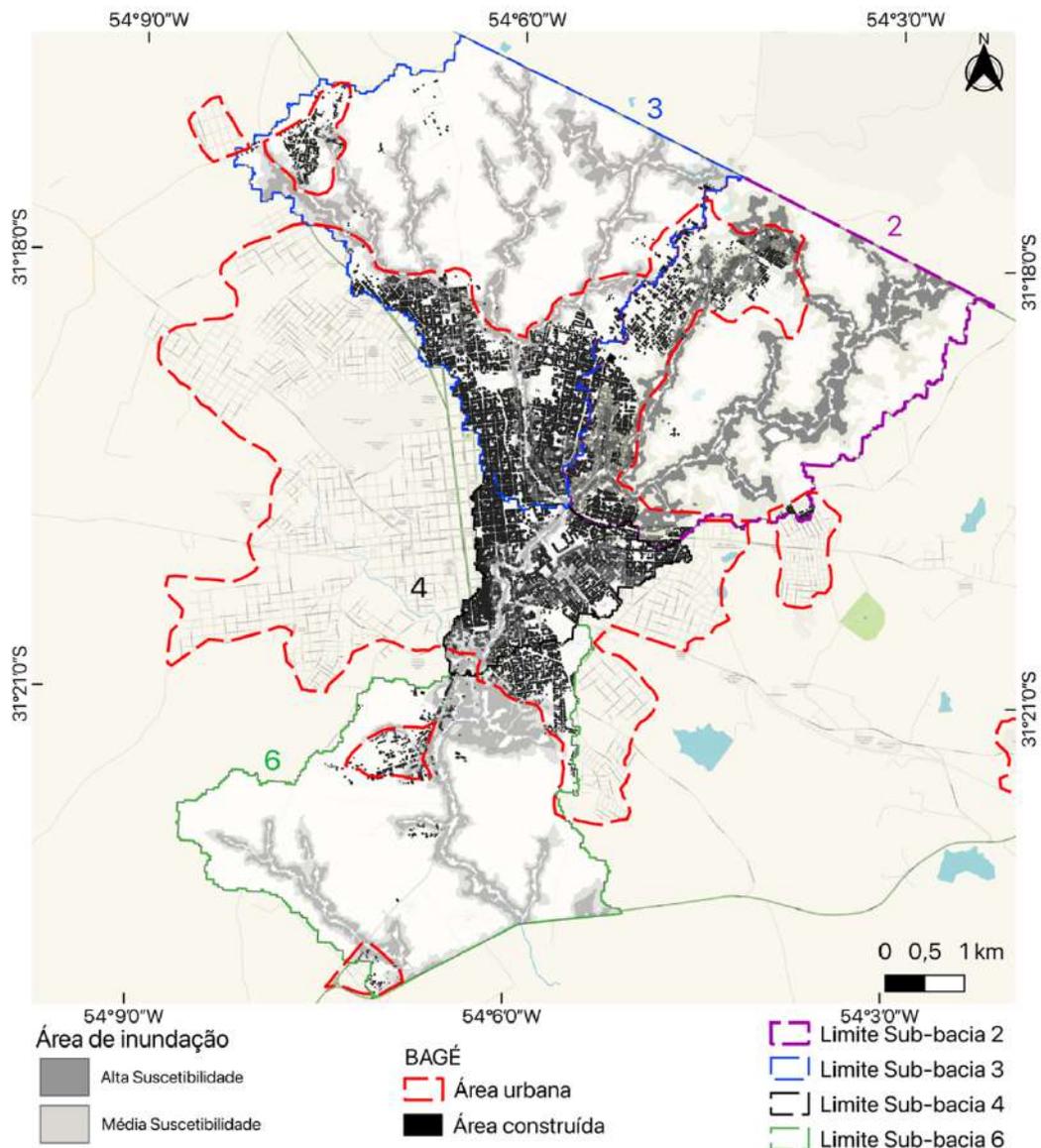
Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir da imagem do satélite Alos Palsar (2011), 12,5m x 12,5m de resolução, com sobreposição dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

É possível perceber que a declividade exerce influência importante nas áreas de suscetibilidade à inundação, as quais coincidem com as maiores declividades nas áreas ribeirinhas, nesta sub-bacia. Conclui-se que, nas margens do Arroio Bagé, é visível a presença de áreas forte onduladas, seguido de áreas planas, caracterizando as planícies de inundação. Para o caso de processos de renaturalização, isso indica que as áreas onduladas e forte onduladas contribuem para criar e manter as condições naturais de fluxo de água e inundação, essenciais para a saúde e a dinâmica dos ecossistemas ribeirinhos.

## 5.7 Áreas construídas

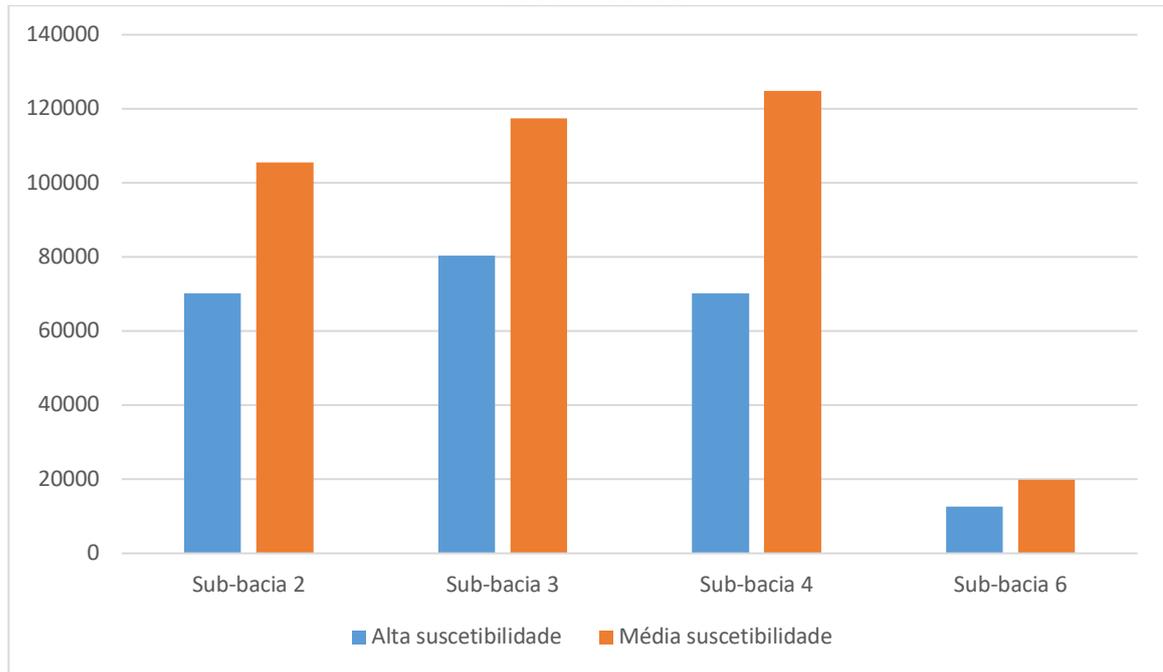
Através de um mapa de figura-fundo, onde branco é o fundo e preto é a área construída, é possível analisar os espaços livres de construções. Como modo de organização, a Figura 88 mostra o mapa figura-fundo nas quatro sub-bacias (2, 3, 4 e 6) estudadas neste trabalho, seguido pelo gráfico geral de áreas construídas nas áreas de inundação das sub-bacias, na Figura 89. A área de estudo são as áreas de alta e média suscetibilidade a inundação dentro de cada sub-bacia, analisando primeiramente os dados disponíveis de toda a sub-bacia (disponibilizados por Silva *et al.* 2021) e após fazendo o recorte para as áreas suscetíveis.

Figura 88 - Mapa de áreas construídas nas sub-bacias 2, 3, 4 e 6.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva *et al.* (2021).

Figura 89 - Gráfico de áreas construídas (m<sup>2</sup>) em áreas de alta e média suscetibilidade de inundação nas sub-bacias.

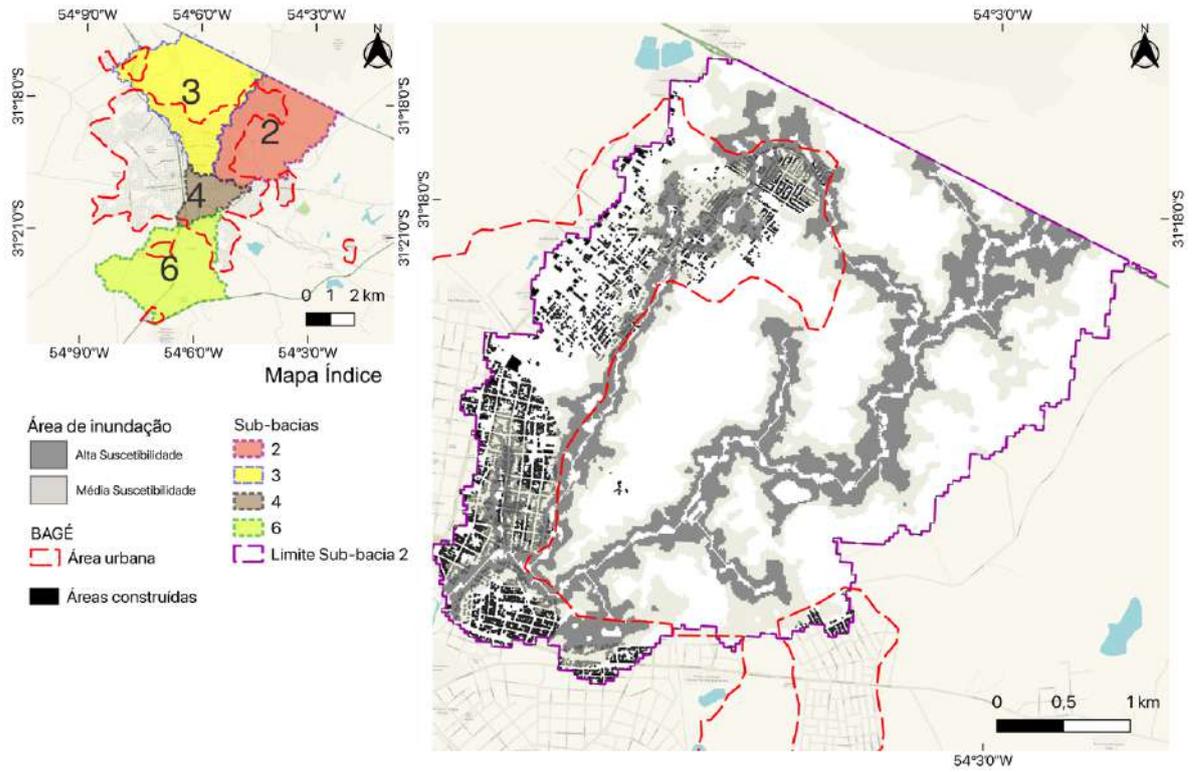


Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Analisando o gráfico acima, é evidente que a sub-bacia 6 tem a menor quantidade de áreas construídas, podendo ter relação com as principais áreas de inundação desta sub-bacia estarem situadas em locais de uso recreativo. A sub-bacia 4, mesmo não sendo a de maior área construída em alta suscetibilidade, é uma área efetivamente urbanizada e menor, quando comparada as outras, podendo ter maiores dificuldades pela falta de espaços livres.

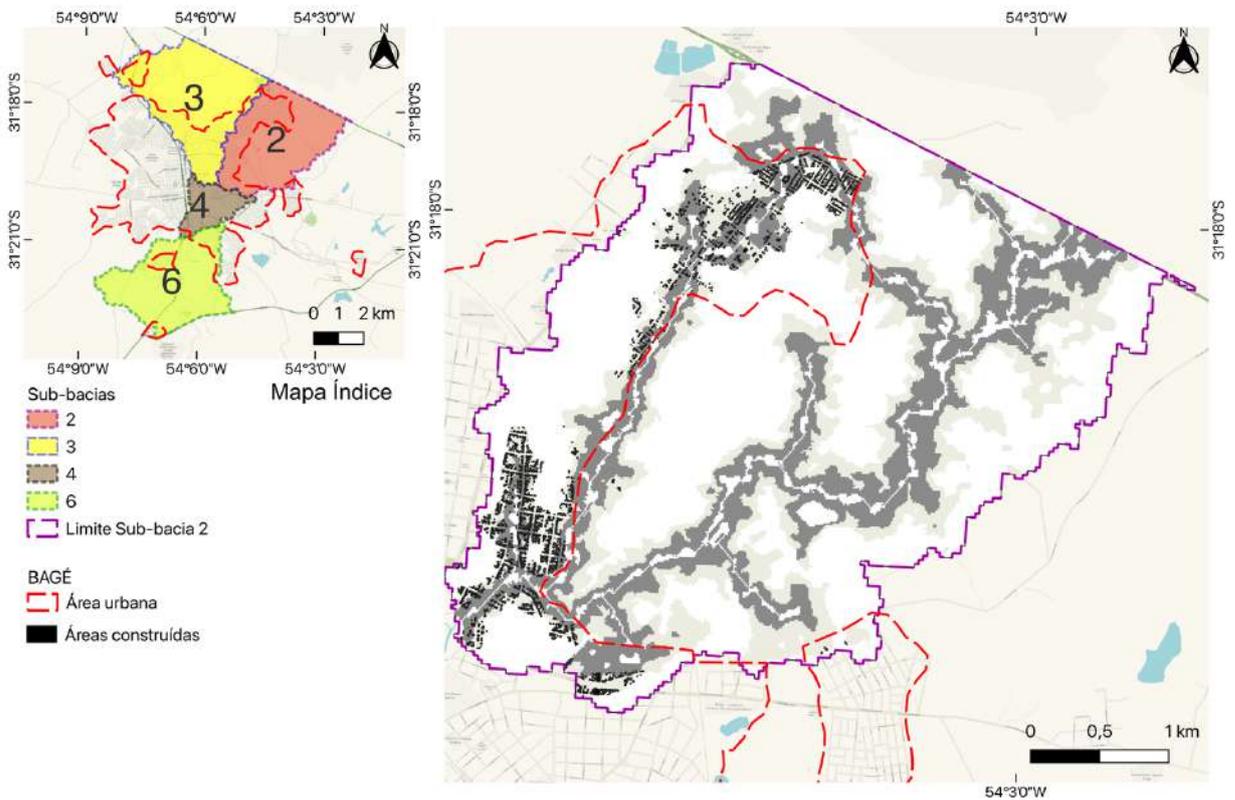
O mapa da Figura 90 mostra a área construída na sub-bacia 2, seguido pelo mapa da Figura 91 que mostra em preto apenas as áreas construídas que estão dentro das áreas suscetíveis a inundação. A sub-bacia 2 contém 503.655m<sup>2</sup> de área construída, sendo deste total 70.122m<sup>2</sup> (13,92%) situadas em áreas de alta suscetibilidade a inundação, e 105.505m<sup>2</sup> (20,94%) em média suscetibilidade.

Figura 90 - Mapa de área construída na sub-bacia 2.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

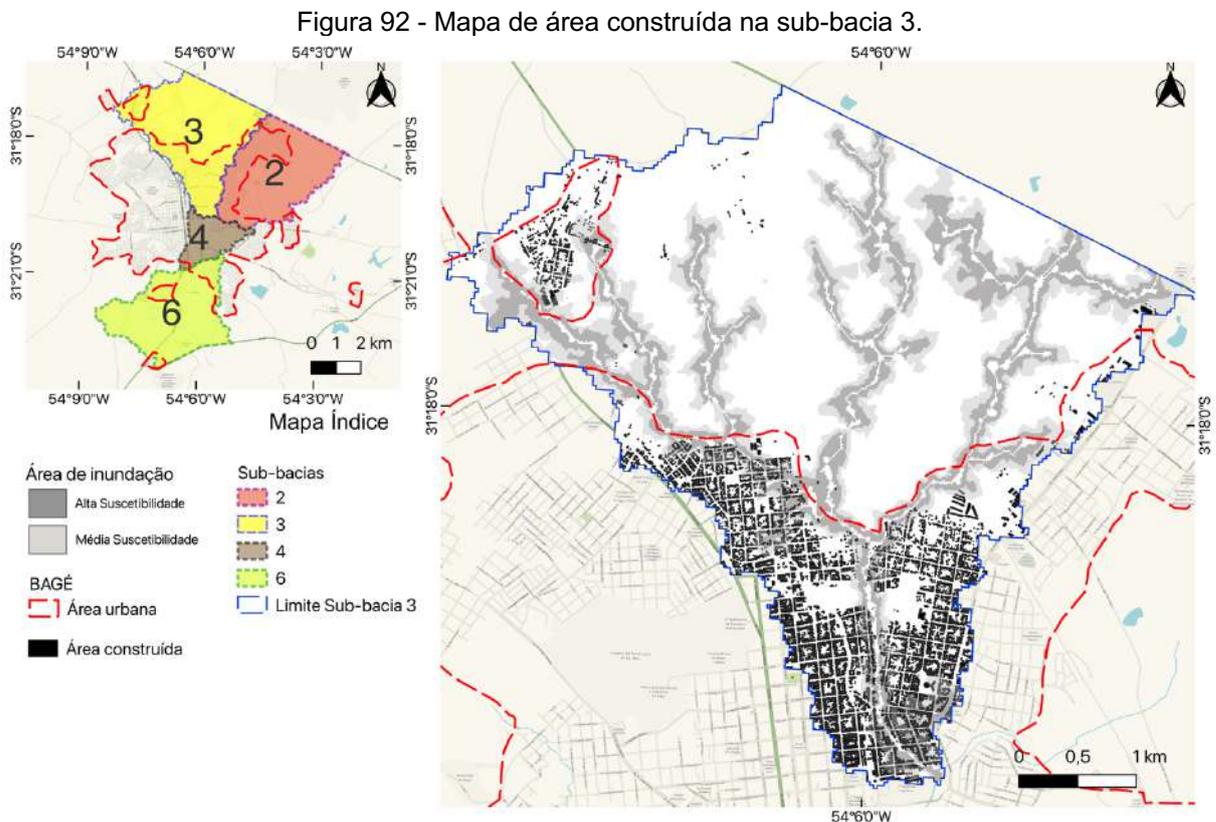
Figura 91 - Áreas construídas em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 2.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

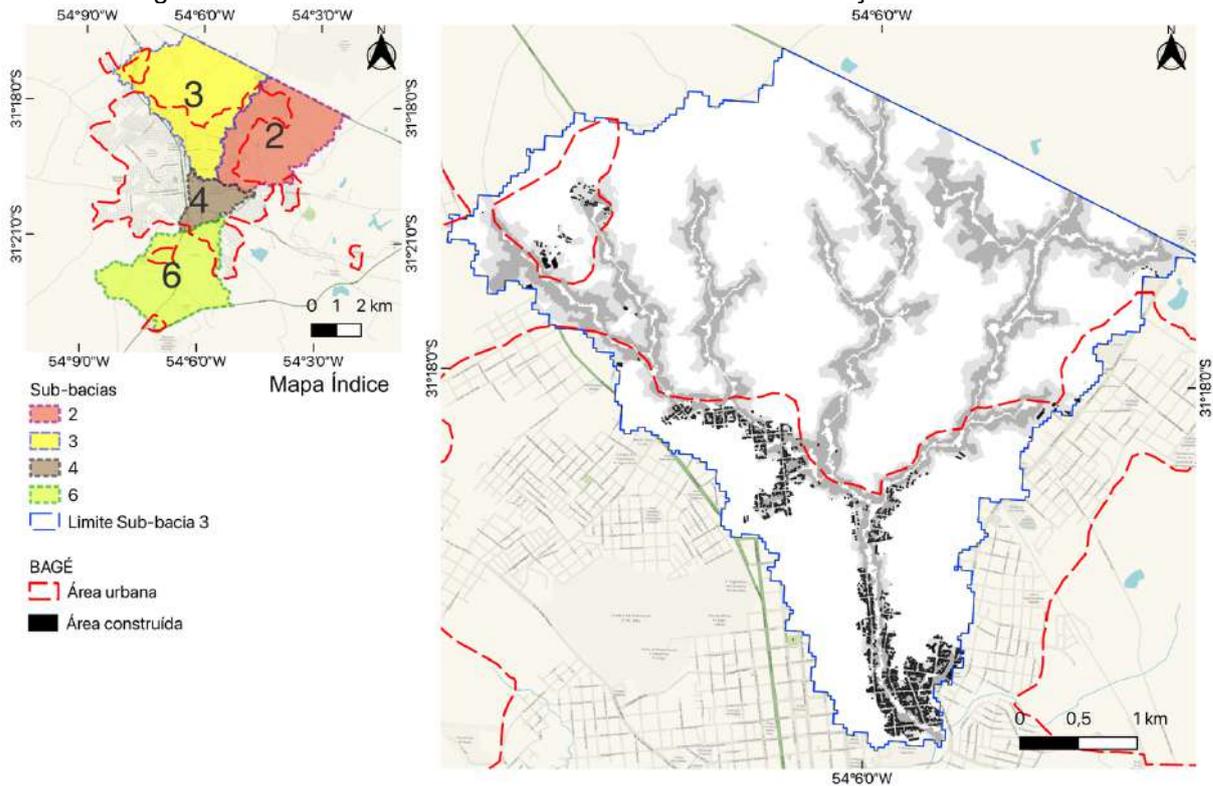
É possível analisar que a área urbanizada se concentra ao oeste da sub-bacia 2, além de que a área urbanizada tangencia a área de inundação. No lado leste não existem áreas construídas, sendo um ótimo espaço para o processo de renaturalização ocorrer em sua totalidade.

O mapa da Figura 92 mostra a área construída na sub-bacia 3, seguido pelo mapa da Figura 93 que mostra em preto apenas as áreas construídas que estão dentro das áreas suscetíveis a inundação. A sub-bacia 3 contém 888.915m<sup>2</sup> de área construída, sendo deste total 80.335m<sup>2</sup> (9,03%) situadas em áreas de alta suscetibilidade a inundação, e 117.485m<sup>2</sup> (13,21%) em média suscetibilidade.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Figura 93 - Áreas construídas em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 3.

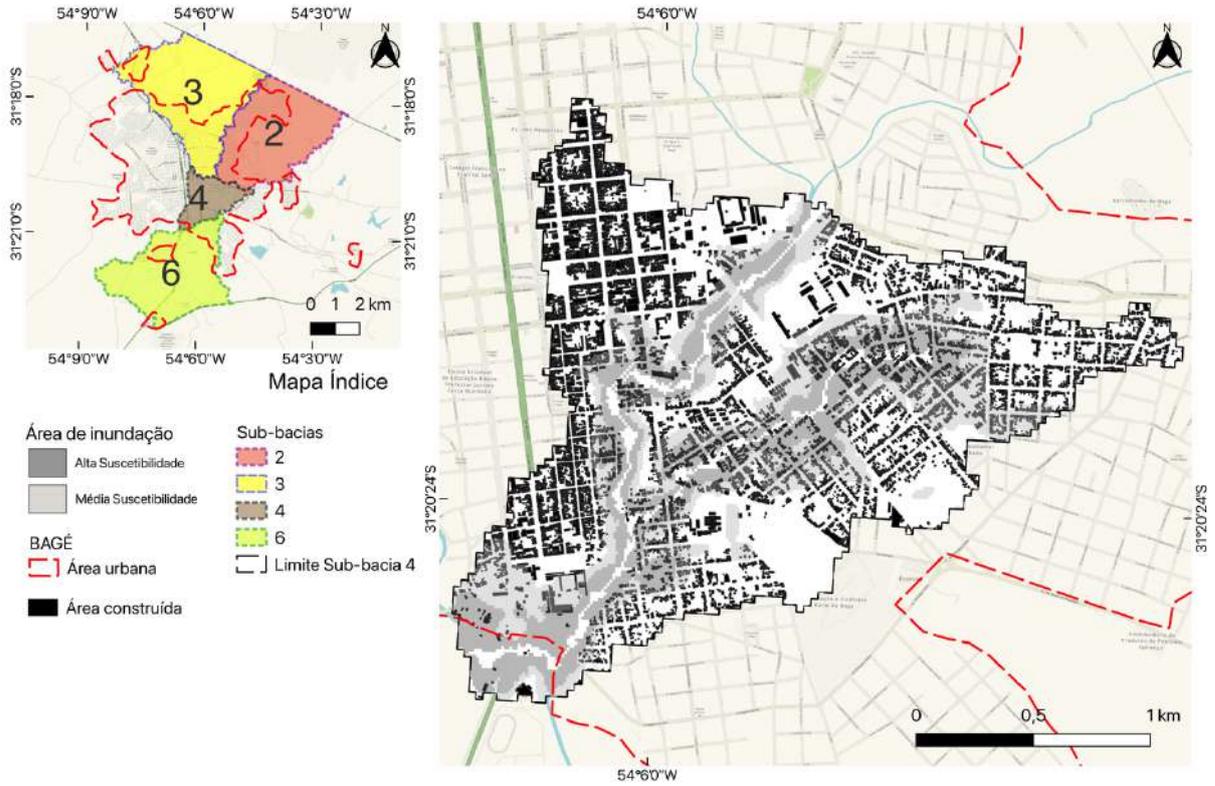


Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

É possível observar que a área urbanizada se concentra ao sul e uma parcela ao oeste, já no centro ao norte do mapa está a área rural, onde praticamente não existem áreas construídas.

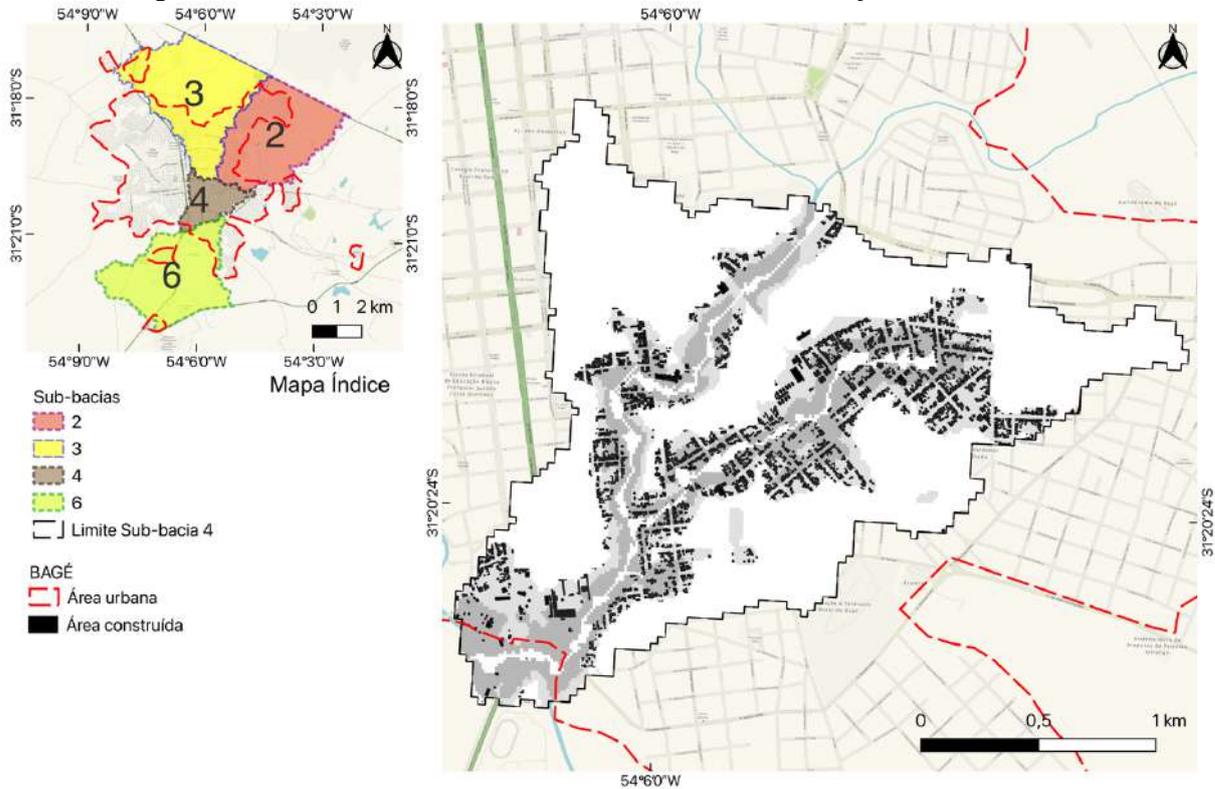
O mapa da Figura 94 mostra a área construída na sub-bacia 4, seguido pelo mapa da Figura 95 que mostra em preto apenas as áreas construídas que estão dentro das áreas suscetíveis a inundação. A sub-bacia 4 contém  $699.973\text{m}^2$  de área construída, sendo deste total  $70.137\text{m}^2$  (10,02%) situadas em áreas de alta suscetibilidade a inundação, e  $124.919\text{m}^2$  (17,84%) em média suscetibilidade.

Figura 94 - Mapa de área construída na sub-bacia 4.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Figura 95 - Áreas construídas em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 4.

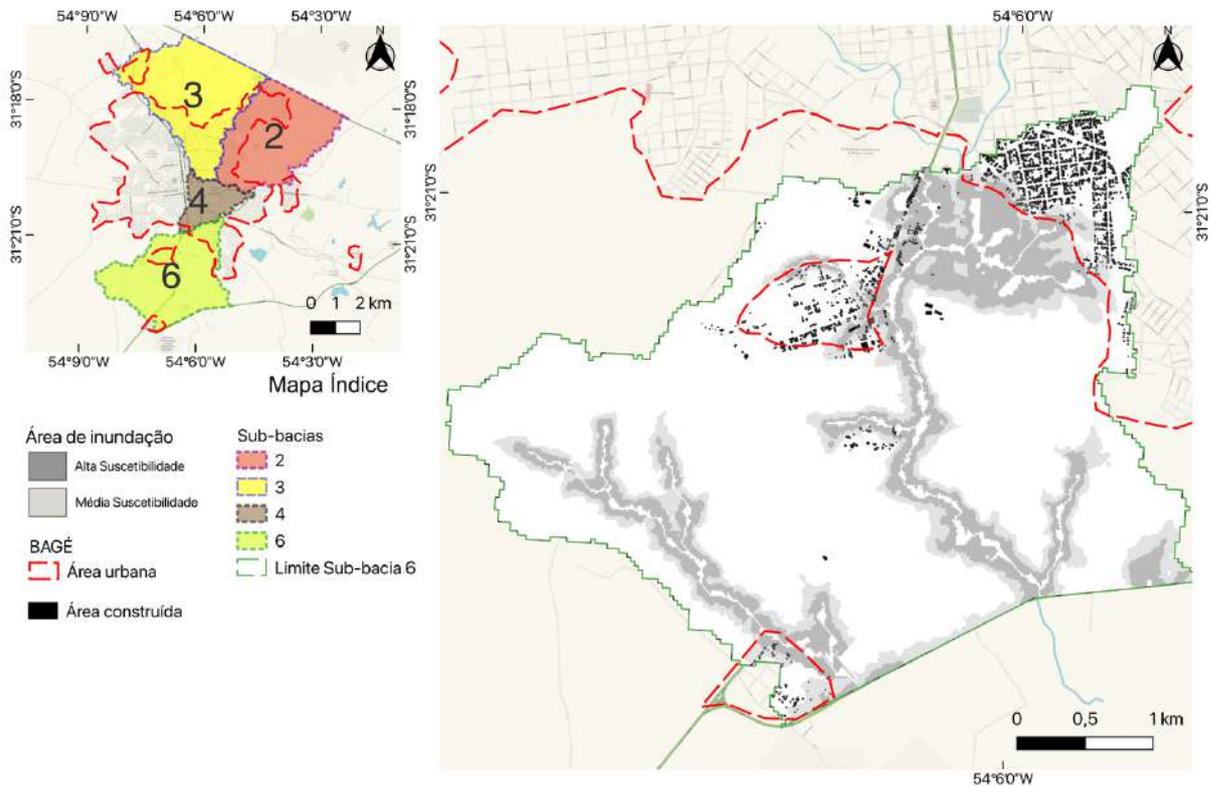


Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

É possível observar que a área urbanizada está quase completamente sobreposta às áreas de inundação. Por ser um espaço central na cidade de Bagé, contém menos vazios urbanos, o que dificultaria para realizar algum processo de renaturalização.

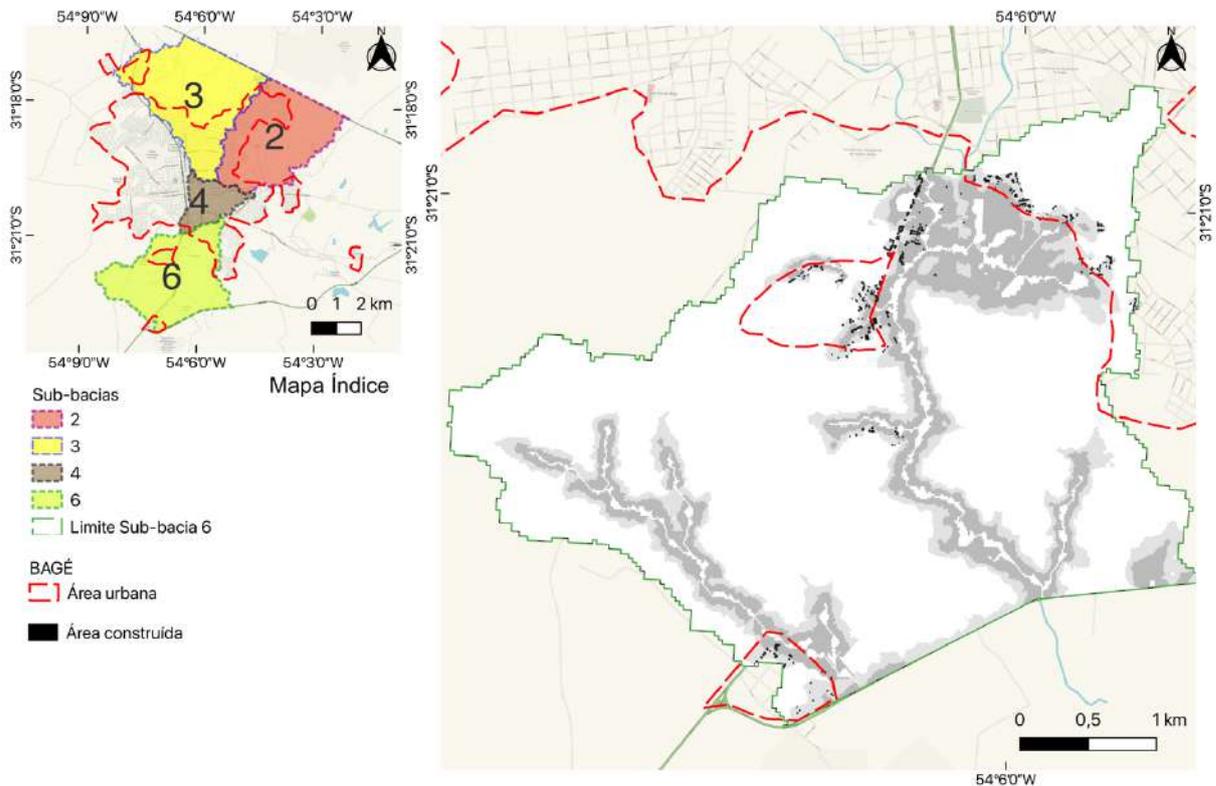
O mapa da Figura 96 mostra a área construída na sub-bacia 6, seguido pelo mapa da Figura 97 que mostra em preto apenas as áreas construídas que estão dentro das áreas suscetíveis a inundação. A sub-bacia 6 contém 163.257m<sup>2</sup> de área construída, sendo deste total 12.640m<sup>2</sup> (7,74%) situadas em áreas de alta suscetibilidade a inundação, e 19.847m<sup>2</sup> (12,15%) em média suscetibilidade.

Figura 96 - Mapa de área construída na sub-bacia 6.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Figura 97 - Áreas construídas em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 6.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

É possível observar que a área urbana está mais concentrada ao norte, com algumas áreas construídas ao sul, atraídas pela localização do aeroporto da cidade. Contudo, grande parte das áreas de inundação está em vazios urbanos, o que facilita o processo de renaturalização pela grande quantidade de espaços disponíveis.

Conclui-se que as áreas construídas diminuem à medida que nos afastamos do centro da cidade, sendo mais concentradas nas regiões periféricas. Nas áreas centrais, observa-se uma maior proximidade com o Arroio Bagé, e em alguns casos, até mesmo a sobreposição a ele, como é evidente na sub-bacia 4. Essa maior concentração de construções nas áreas centrais resulta em maiores desafios para os processos de renaturalização. A alta densidade urbana nessas regiões impede a recuperação de espaços naturais, dificultando a criação de áreas verdes e a restauração dos ecossistemas ribeirinhos. Além disso, a presença de infraestruturas como ruas e edificações reduz significativamente a disponibilidade de espaço para a renaturalização. Em contrapartida, as áreas mais periféricas, com menor densidade de construções, oferecem melhores oportunidades para a renaturalização, permitindo intervenções mais efetivas que podem melhorar a qualidade ambiental.

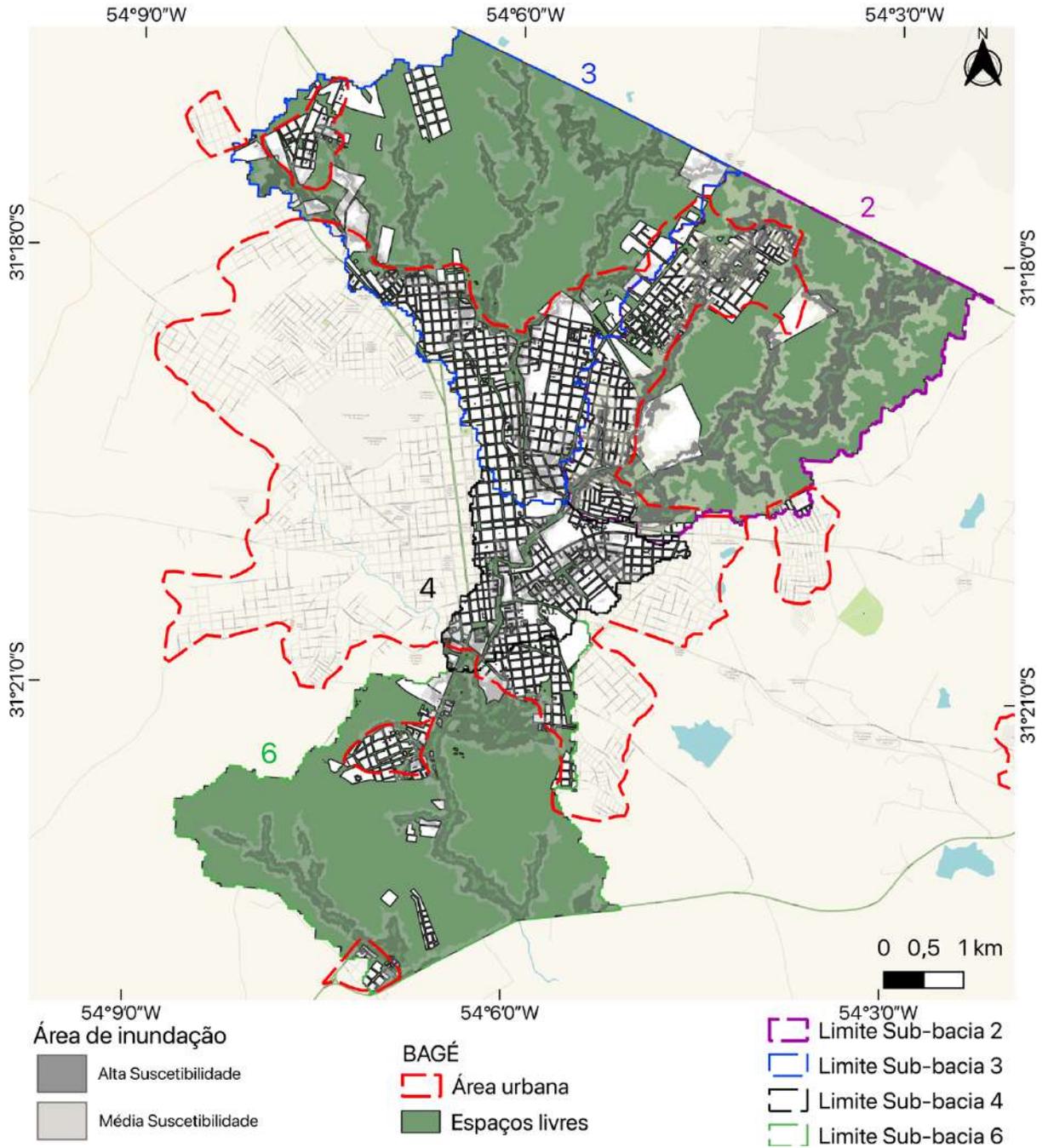
## 5.8 Espaços livres

A disponibilidade de espaços livres nas áreas de inundação é de extrema importância para o processo de renaturalização, garantindo a maior possibilidade de preservação e recuperação das áreas a serem renaturalizadas, do que os espaços já urbanizados. Nessa análise, os espaços livres incluem lotes vacantes, sistema viário público, vazios urbanos, áreas destinadas à agricultura, pecuária ou mineração.

A renaturalização de rios urbanos necessita dos espaços não construídos para preservar e recuperar os ambientes ribeirinhos, por esse motivo, buscou-se nesta análise, delimitar e quantificar estes espaços.

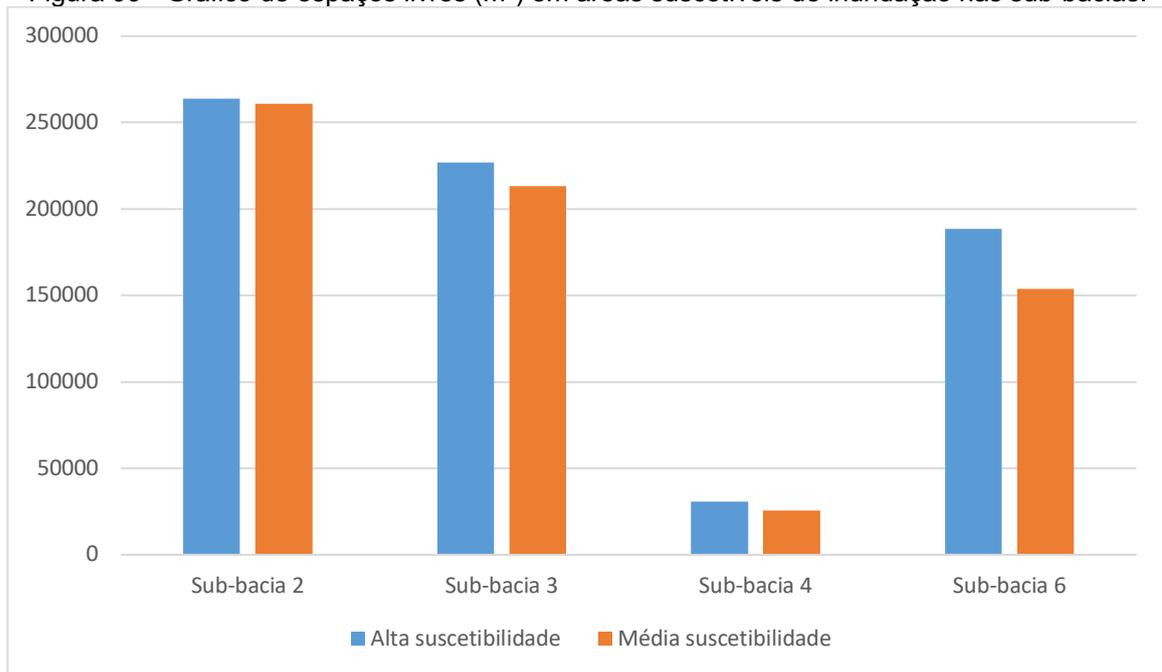
Como modo de organização, a Figura 98 mostra os espaços livres nas quatro sub-bacias (2, 3, 4 e 6) estudadas neste trabalho, seguido pelo gráfico na Figura 99 que mostra a quantidade de espaços livres, divididos por área de alta e média suscetibilidade de inundação. A área de estudo são as áreas de alta e média suscetibilidade a inundação dentro de cada sub-bacia, analisando primeiramente os dados disponíveis de toda a sub-bacia (disponibilizados por Silva *et al.* 2021) e após fazendo o recorte para as áreas suscetíveis. Os lotes vacantes, incluso nos espaços livres, são de difícil visualização nas figuras a seguir, pelo tamanho do mapa necessário para ajustar na folha A4, podendo ser visualizado em arquivos digitais ou folhas maiores.

Figura 98 - Mapa de espaços livres nas sub-bacias 2, 3, 4 e 6.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Figura 99 - Gráfico de espaços livres (m<sup>2</sup>) em áreas suscetíveis de inundação nas sub-bacias.

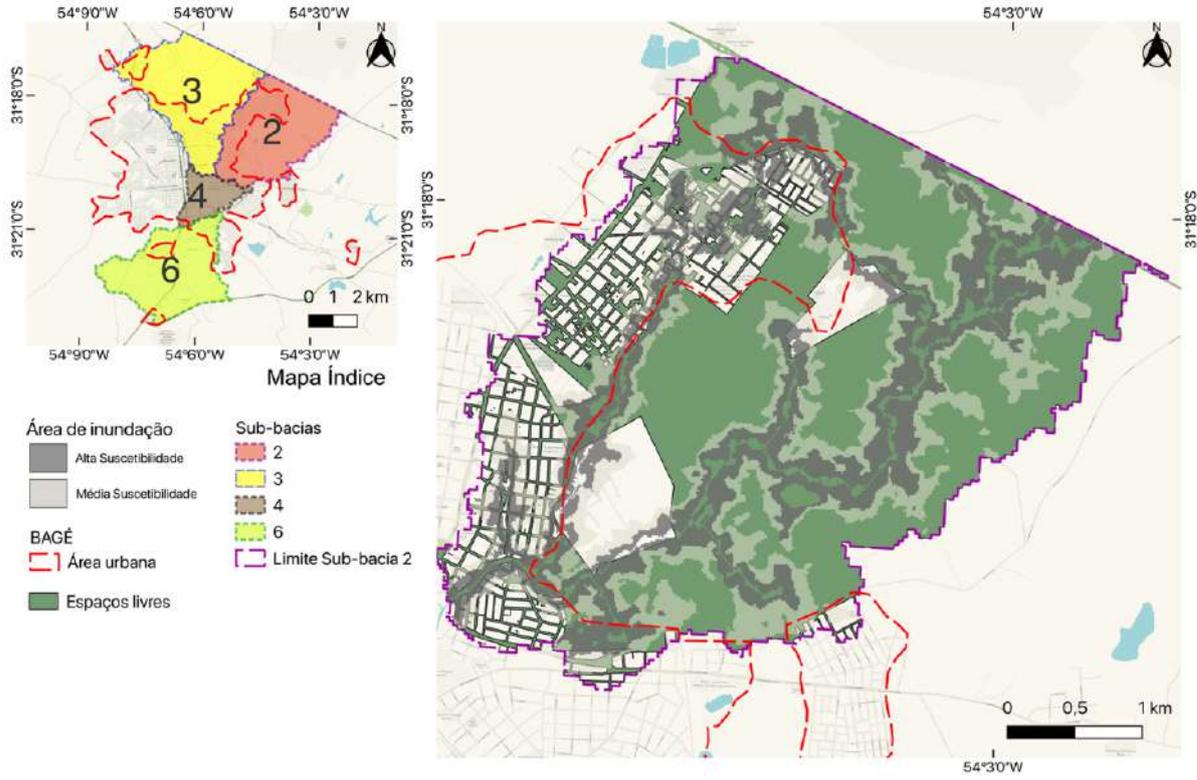


Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

O mapa da Figura 100 mostra os espaços livres na sub-bacia 2, seguido pelo mapa da Figura 101 que mostra em verde apenas os espaços livres, sobrepostos às áreas suscetíveis a inundação em tons de cinza. A sub-bacia 2 contém 1.093.218m<sup>2</sup> de espaços livres, sendo deste total 263.946m<sup>2</sup> (24,14%) situados em áreas de alta suscetibilidade a inundação, e 260.884m<sup>2</sup> (23,86%) em média suscetibilidade.

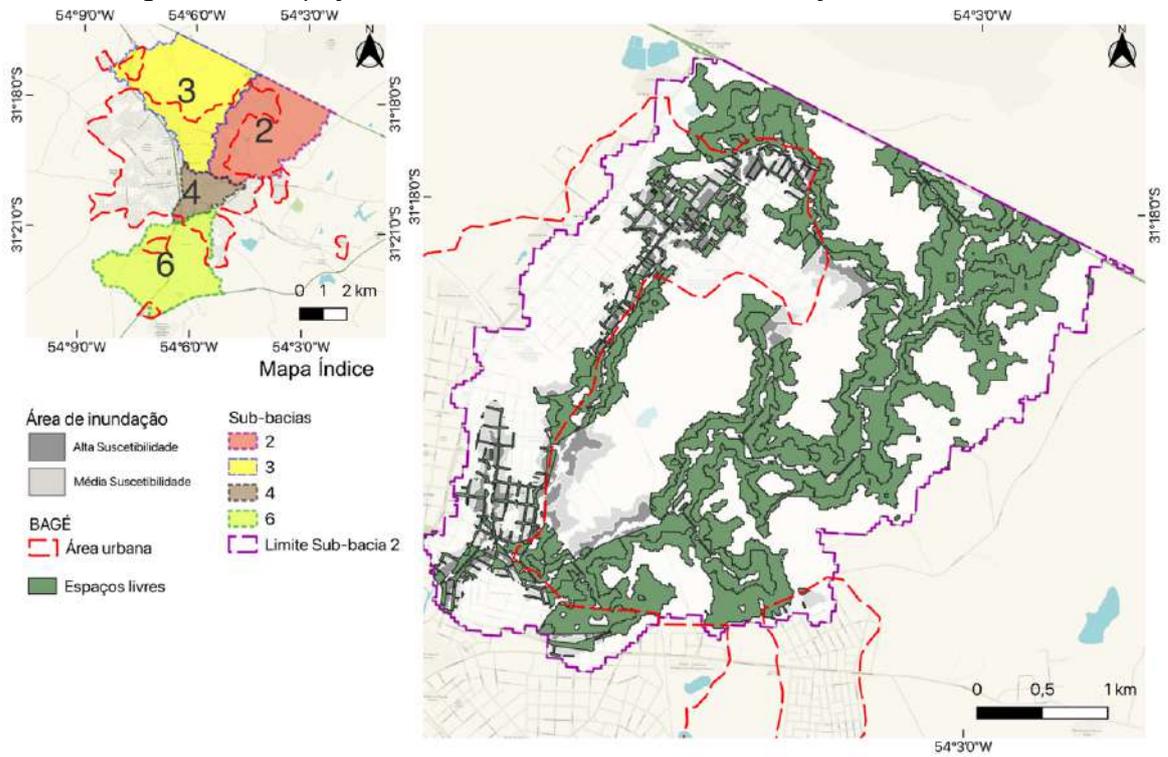
Para comparação de áreas, o tamanho da área de alta suscetibilidade a inundação na sub-bacia 2 é de 325.129m<sup>2</sup> e de média suscetibilidade é de 339.154m<sup>2</sup>, significando que os espaços livres cobrem 81,18% de alta suscetibilidade e cobrem 76,92% da média suscetibilidade a inundação.

Figura 100 - Mapa de espaços livres na sub-bacia 2.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Figura 101 - Espaços livres em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 2.



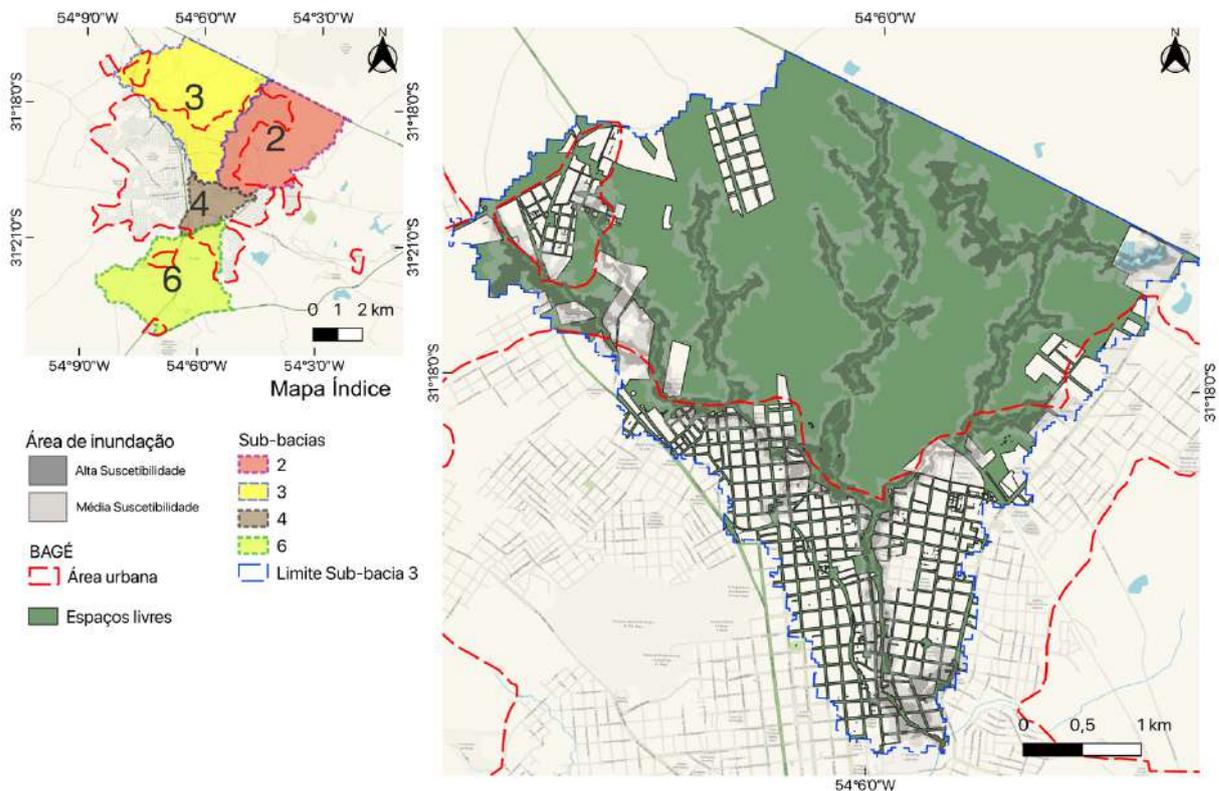
Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

É possível analisar que a falta de espaços livres ao oeste do mapa se traduz pela presença forte de urbanização quando comparada ao restante da sub-bacia. A cidade está se expandindo ao norte pela instalação da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) e pela presença de algumas indústrias atraídas pela rodovia federal, tornando vulnerável as áreas norte e nordeste da sub-bacia, capaz de comprometer mais espaços livres necessários para o processo de renaturalização.

O mapa da Figura 102 mostra os espaços livres na sub-bacia 3, seguido pelo mapa da Figura 103 que mostra em verde apenas os espaços livres, sobrepostos às áreas suscetíveis a inundação em tons de cinza. A sub-bacia 3 contém 1.264.941m<sup>2</sup> de espaços livres, sendo deste total 226.908m<sup>2</sup> (17,93%) situados em áreas de alta suscetibilidade a inundação, e 213.269m<sup>2</sup> (16,86%) em média suscetibilidade.

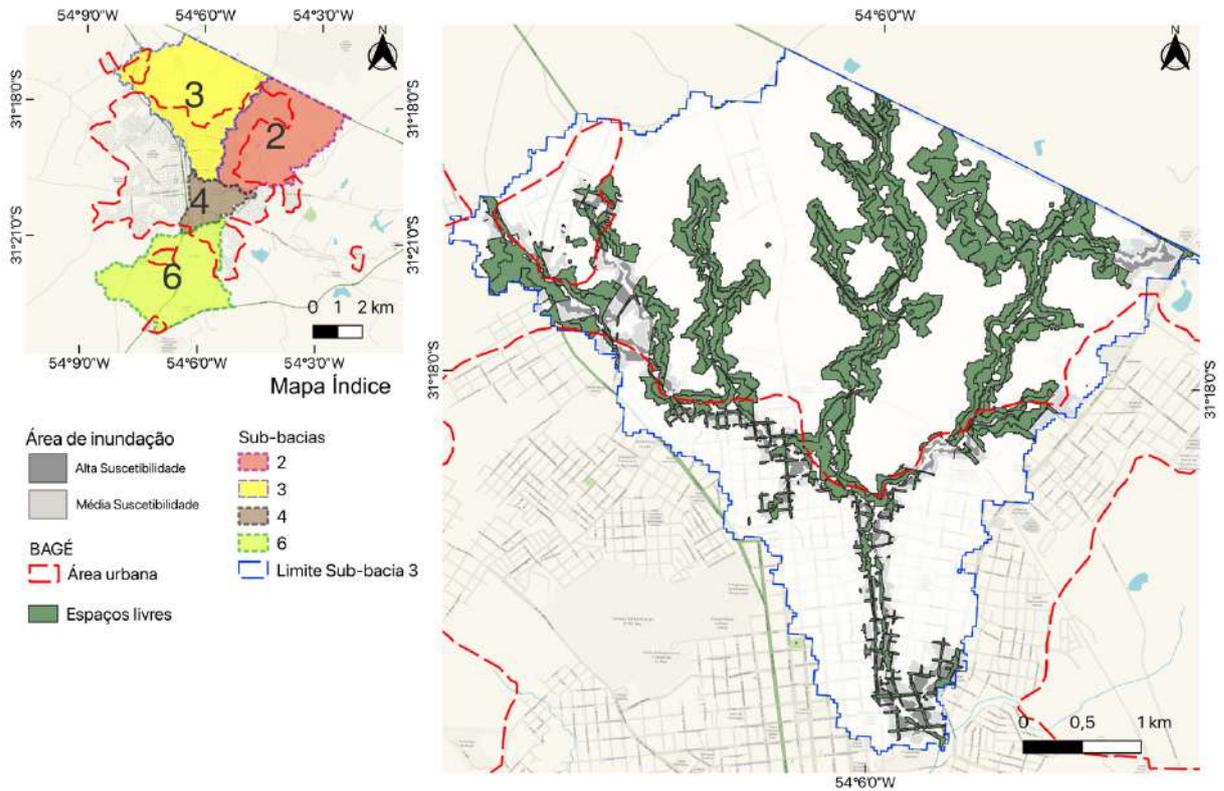
Para comparação de áreas, o tamanho da área de alta suscetibilidade a inundação na sub-bacia 3 é de 288.626m<sup>2</sup> e de média suscetibilidade é de 295.620m<sup>2</sup>, significando que os espaços livres cobrem 78,61% de alta suscetibilidade e cobrem 72,14% da média suscetibilidade a inundação.

Figura 102 - Mapa de espaços livres na sub-bacia 3.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Figura 103 - Espaços livres em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 3.



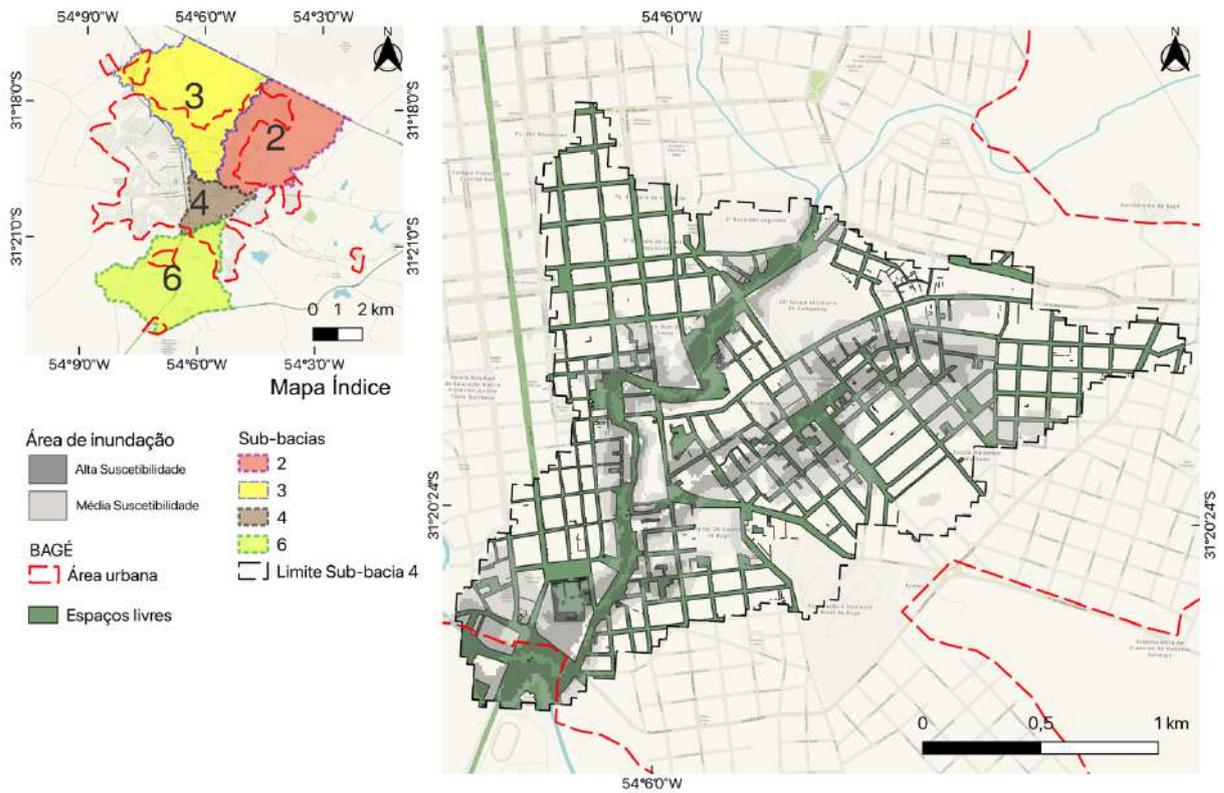
Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

É possível analisar que a urbanização ao sul da sub-bacia 3, mais próxima do centro da cidade de Bagé/RS, reduziu os espaços livres principalmente nas áreas suscetíveis a inundação, onde ocorre também ao noroeste do mapa, em que a urbanização é atraída pela proximidade da rodovia federal que conecta a cidade ao restante da malha viária intermunicipal.

O mapa da Figura 104 mostra os espaços livres na sub-bacia 4, seguido pelo mapa da Figura 105 que mostra em verde apenas os espaços livres, sobrepostos às áreas suscetíveis a inundação em tons de cinza. A sub-bacia 4 contém 113.537m<sup>2</sup> de espaços livres, sendo deste total 30.931m<sup>2</sup> (27,24%) situados em áreas de alta suscetibilidade a inundação, e 25.607m<sup>2</sup> (22,55%) em média suscetibilidade.

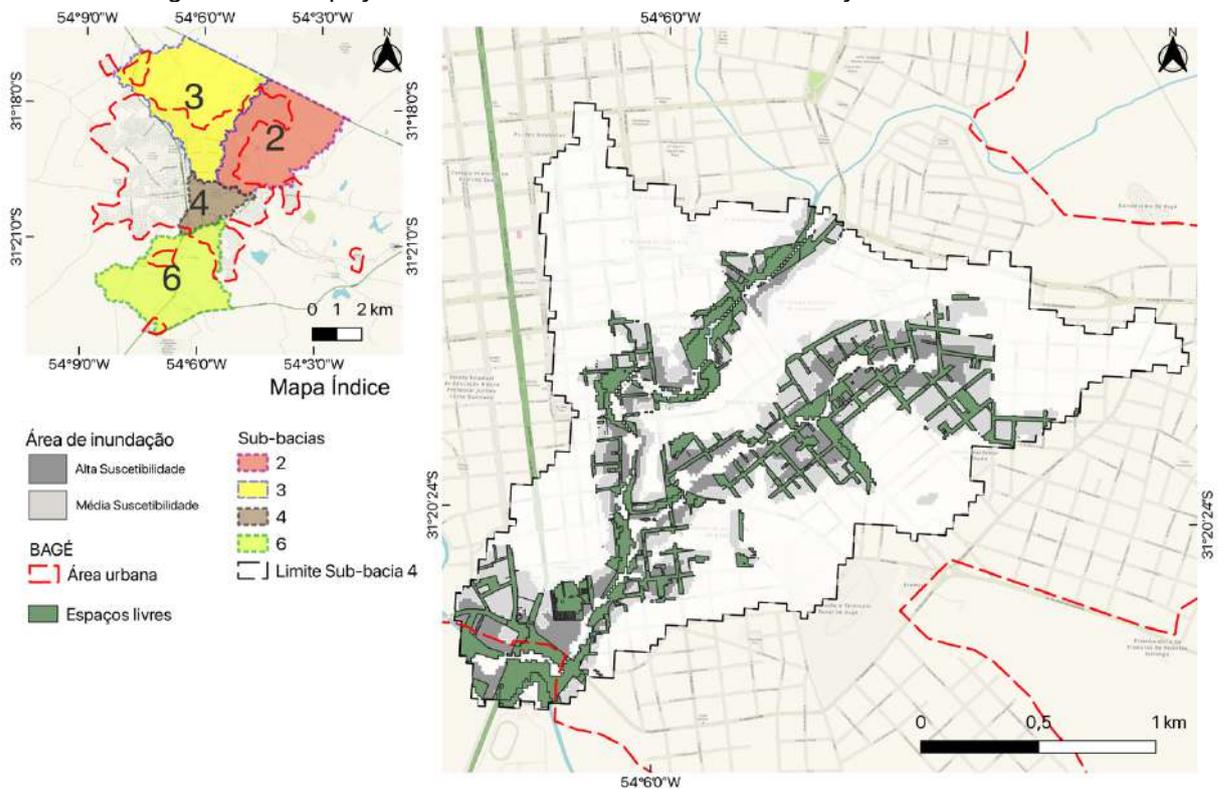
Para comparação de áreas, o tamanho da área de alta suscetibilidade a inundação na sub-bacia 4 é de 65.689m<sup>2</sup> e de média suscetibilidade é de 76.654m<sup>2</sup>, significando que os espaços livres cobrem 47,08% de alta suscetibilidade e cobrem 33,40% da média suscetibilidade a inundação.

Figura 104 - Mapa de espaços livres na sub-bacia 4.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Figura 105 - Espaços livres em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 4.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

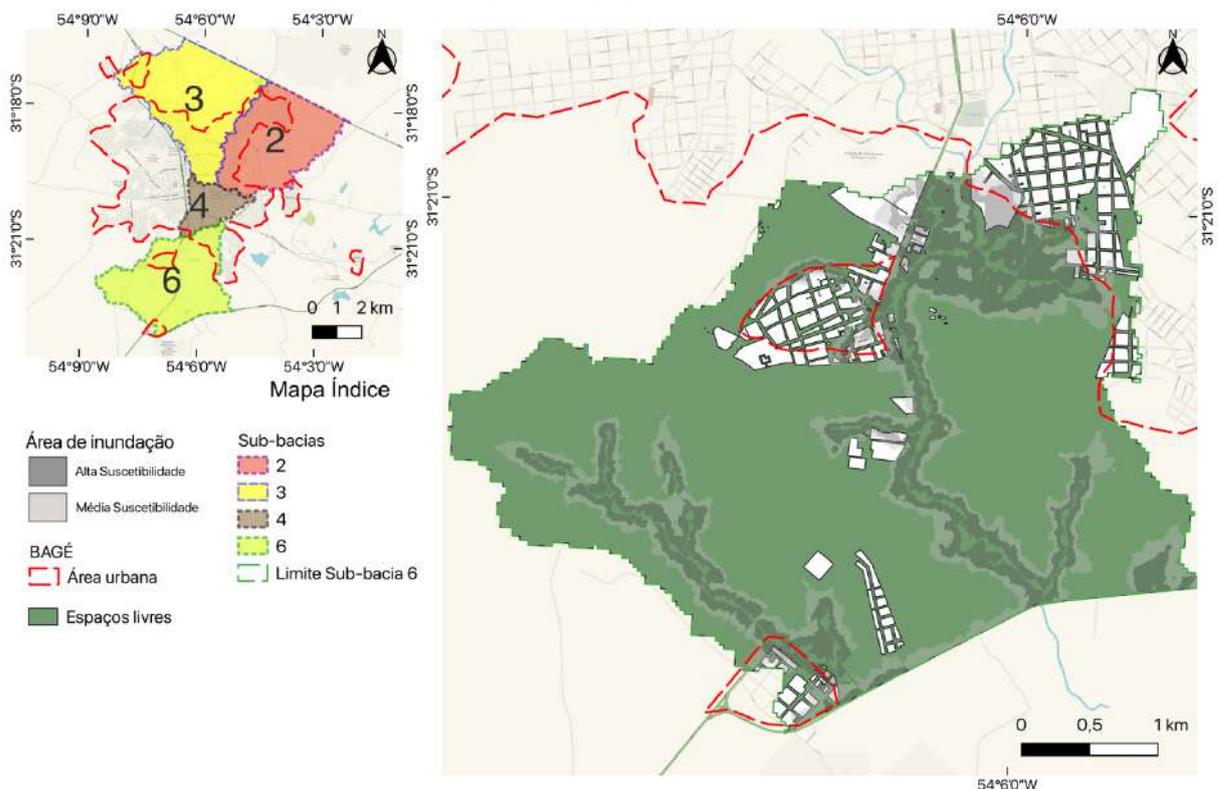
É possível analisar que, por ser a menor e mais urbanizada sub-bacia estudada, existe uma redução significativa nos espaços livres, ficando concentrados praticamente em vias e pontos específicos, como um parque urbano ao sul, localizado dentro do Estádio Militão.

Conforme apresentado e discutido ao longo da pesquisa, principalmente nas análises de outras características urbanas e ambientais, áreas efetivamente urbanizadas dificultam o processo de renaturalização ocorrer em sua totalidade pela falta de espaços livres necessários para a intervenção.

O mapa da Figura 106 mostra os espaços livres na sub-bacia 6, seguido pelo mapa da Figura 107 que mostra em verde apenas os espaços livres, sobrepostos às áreas suscetíveis a inundação em tons de cinza. A sub-bacia 6 contém 1.222.610m<sup>2</sup> de espaços livres, sendo deste total 188.606m<sup>2</sup> (15,42%) situados em áreas de alta suscetibilidade a inundação, e 153.594m<sup>2</sup> (12,56%) em média suscetibilidade.

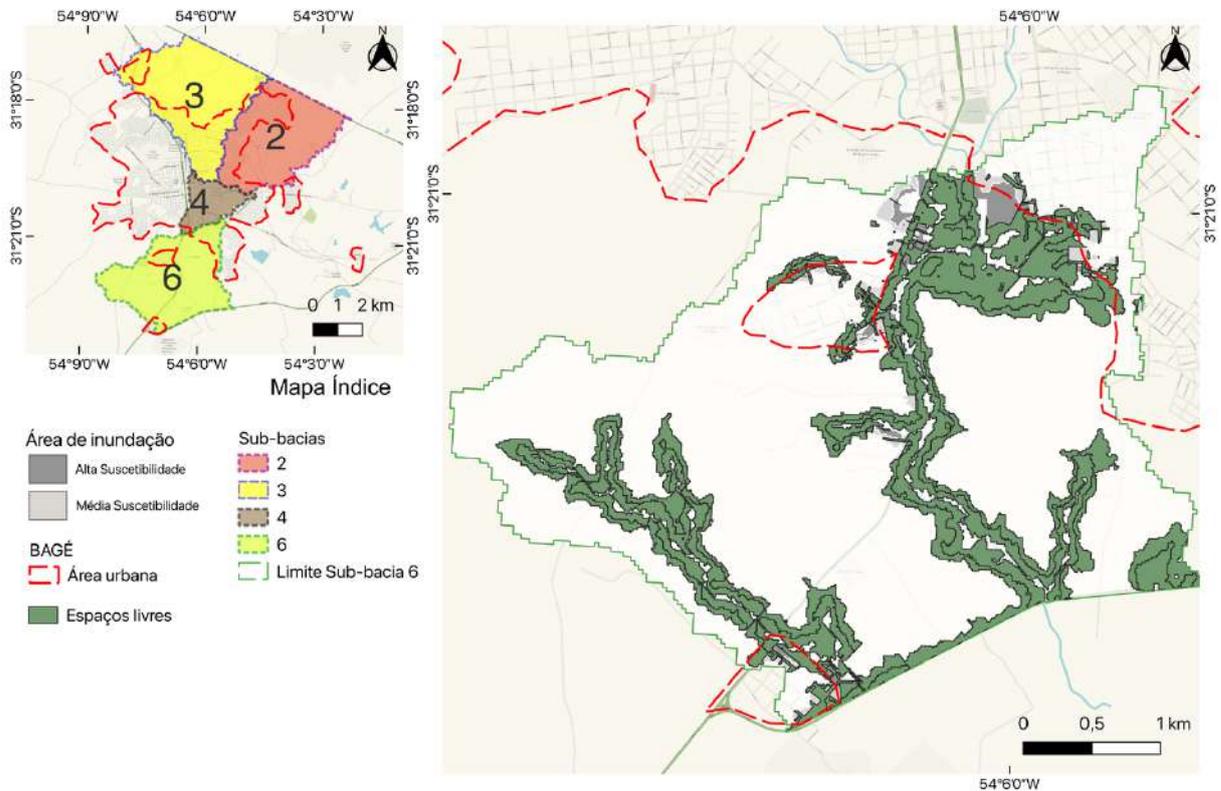
Para comparação de áreas, o tamanho da área de alta suscetibilidade a inundação na sub-bacia 6 é de 207.043m<sup>2</sup> e de média suscetibilidade é de 176.784m<sup>2</sup>, significando que os espaços livres cobrem 91,09% de alta suscetibilidade e cobrem 86,88% da média suscetibilidade a inundação.

Figura 106 - Mapa de espaços livres na sub-bacia 6.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

Figura 107 - Espaços livres em áreas suscetíveis a inundação na sub-bacia 6.



Fonte: elaborado pelo Autor (2024) a partir dos mapas georreferenciados de Silva et al. (2021).

É possível analisar que a sub-bacia 6 contém muitos espaços livres quando comparado as outras sub-bacias, facilitando o processo de renaturalização ocorrer totalmente. A grande mancha verde ao norte da imagem provavelmente seria o primeiro lugar a receber a intervenção pela sua vulnerabilidade de estar mais próxima da urbanização.

De todas as sub-bacias estudadas, a sub-bacia 6 demonstrou ser a melhor opção quando se leva em consideração a disponibilidade de espaços livres. Contudo, a cidade está se expandindo para o norte, o que é visível nas sub-bacias 2 e 3. A delimitação dos espaços de renaturalização, quando feitos em tempo, possibilita garantir que estes espaços sejam preservados para assegurar a sustentabilidade dos cursos d'água urbanos e os benefícios da coexistência correta com o ambiente urbano.

Com a pesquisa, pode ser observado que a presença de espaços livres é de grande importância, pois permite pensar processos de renaturalização sem remoção de preexistências construídas, o que implica em menos custos em obras urbanas e em menor criação de problemas sociais. Para o caso de Bagé, RS, foram encontrados

espaços livres, com maior intensidade, nas interfaces do meio urbano com o rural e menor intensidade em áreas com maior centralidade urbana, o que sugere efetivas possibilidades de renaturalização nas bordas e severas dificuldades em áreas centrais.

As oito características urbanas e ambientais analisadas neste trabalho são importantes para demonstrar as possibilidades do processo de renaturalização e de que modo a falta de espaços livres e o avanço de áreas efetivamente urbanizadas sobre áreas suscetíveis a inundações podem reduzir as chances de intervenção nos cursos d'água urbanos.

Dentro das áreas de suscetibilidade a inundações, esperava-se que o parcelamento do solo mostrasse um predomínio de lotes entre 200m<sup>2</sup> e 500m<sup>2</sup> em regiões mais centrais, enquanto nas áreas periféricas prevaleceriam lotes maiores, acima de 10.000m<sup>2</sup>, sendo encontrado predominância de lotes de até 500m<sup>2</sup> nas regiões centrais e lotes maiores que 5.000m<sup>2</sup> nas regiões periféricas, principalmente ao norte, em áreas industriais e próximas aos acessos do Município.

No que se refere ao uso e ocupação do solo, era esperado um uso diversificado, com forte predominância habitacional, seguido por lotes comerciais, misto, industriais e institucionais. Com a análise das sub-bacias do Arroio Bagé, a predominância habitacional foi confirmada, mas houve a descoberta que, os lotes vacantes, são a segunda maior ocupação do solo, aumentando as chances de se realizar um processo de renaturalização, principalmente nas áreas mais centrais e urbanizadas.

Para os índices urbanos, era esperado que as áreas centrais recebessem maiores taxas de ocupação, afetando diretamente a taxa de permeabilidade, o que se confirmou ao analisar que, as zonas urbanas mais centrais, contém taxas de ocupação máxima de 80%, enquanto zonas urbanas mais periféricas tem taxas reduzidas para até 50%. Além disso, não foi encontrada uma amenização significativa da potencialidade de construir, pois essa negligência é comum no planejamento urbano e no plano diretor, que normalmente não dispõem de índices diferenciados para áreas inundáveis.

Quanto à população, era esperada sua presença em áreas vulneráveis e suscetíveis à inundações, dada a falta de políticas públicas para evitar a ocupação dessas áreas e a atratividade que os cursos de água exercem sobre a urbanização, além das características do processo capitalista de produção, o que se confirmou ao

analisar que 35,80% da população das áreas estudadas estão em áreas suscetíveis a inundações. Inclusive, a presença intensa de pessoas pode dificultar os processos de renaturalização, especialmente em modos de uso e ocupação do solo, que trazem elevado impacto ambiental e marcantes mudanças na paisagem natural, como foi observado na área de estudo de Bagé, RS.

Em termos de revestimentos de pavimentação viária, era esperado que houvesse uma variação nos tipos de revestimento, predominando áreas sem revestimento de pavimentação nas regiões periféricas e vias asfaltadas nos locais centrais, o que se confirmou. As áreas centrais asfaltadas podem trazer dificuldades para o processo de renaturalização. Em contraste, as áreas periféricas sem revestimento de pavimentação oferecem vantagens, pois facilitam os processos de intervenção, incluindo a renaturalização.

Para a topografia, era esperado que locais de baixa altitude e declives acentuados fossem áreas de maior importância para a renaturalização. A partir da análise da topografia na área de estudo em Bagé, RS, notou-se que as áreas de maior suscetibilidade a inundações coincidem com as regiões mais baixas e onduladas, considerando a força da gravidade e a demarcação das planícies de inundação, confirmando assim os resultados esperados.

No que diz respeito aos espaços construídos, era esperado que as áreas centrais exercessem maior resistência ao processo de renaturalização, pela maior quantidade de espaços construídos, o que foi confirmado ao analisar que, as áreas mais urbanizadas, tem predomínio de áreas construídas, enquanto as áreas de borda, com menos áreas construídas, oferecem uma possibilidade interessante para renaturalização.

Por fim, para os espaços livres, era esperado que fossem fundamentais para a renaturalização, sendo os de maior potencial seriam aqueles próximos aos cursos de água. A partir da análise destes espaços, comparados a área de estudo em Bagé, RS, observou-se que sua presença é reduzida nas áreas centrais urbanizadas, enquanto em áreas periféricas e de interface entre as áreas urbanas e rurais, os espaços livres somam acima de 70% das áreas, aumentando consideravelmente a possibilidade de renaturalização.

Todavia, isso exigiria o enfrentamento dos conflitos de uso e de parcelamento do solo, onde muitas áreas parceladas não estão construídas, possibilitando usar estes espaços para a renaturalização, a adequação dos índices urbanos, para

medidas que condizam com a realidade das áreas suscetíveis à inundações, a preservação de áreas baixas e onduladas, principalmente se tratando de áreas de inundação de rios, que constantemente colocam a vida de milhares de pessoas em risco, assim como um trabalho em parceria com a população, com contramedidas ao processo de produção capitalista do espaço urbano, como o planejamento urbano participativo, políticas habitacionais acessíveis, regulamentações ambientais, dentre outros.

## 6 Conclusões

O trabalho buscou identificar as características urbanas e ambientais em áreas de inundação de rios urbanos com potencial de renaturalização, através da modelagem urbana com o auxílio de recursos de Sistemas de Informações Geográficas. Para isso, foi realizado o mapeamento das áreas de inundação na cidade de Bagé/RS, uma das cidades de fronteira entre o Brasil e o Uruguai, a coleta e análise de dados urbanos e ambientais presentes nestas áreas.

A pesquisa revela a importância de uma abordagem integrada que une princípios teóricos de ecologia de paisagem e as práticas de planejamento territorial, promovendo uma visão de desenvolvimento urbano que valoriza a coexistência entre espaços naturais e áreas construídas. Na prática, a renaturalização de rios não apenas restaura as funções ambientais, mas também promove a resignificação das relações entre a urbanização e os ecossistemas naturais. Nesse contexto, a principal contribuição da pesquisa ocorreu ao identificar a importância e o potencial das bordas urbanas para o processo de renaturalização. As áreas de interface entre o urbanizado e o não urbanizado oferecem oportunidades para estabelecer um novo modelo de urbanização, que priorize a presença e a qualidade das áreas naturais. Considerando que essas áreas tendem a ser as próximas a receber novos parcelamentos para uso urbano, tornam-se cruciais em planos e projetos futuros. Além disso, foram identificados locais com grande potencial para renaturalização em áreas urbanas, especialmente nas regiões centrais, como lotes vacantes (sem construções ou uso específico) e parcelamentos sem infraestrutura viária consolidada, o que poderá facilitar a implementação de projetos futuros de renaturalização do Arroio Bagé.

Inicialmente, três questões de pesquisa foram feitas e três hipóteses foram levantadas. A primeira questão busca entender o conceito de renaturalização e quais destes conceitos se aplicava ao planejamento urbano. Como resposta hipotética para a pergunta, renaturalização de um rio seria uma intervenção que buscaria renaturalizar sustentavelmente um corpo de água e, para ocorrer de modo adequado, seria necessário espaços livres nas margens, para qualidade das águas e preservação do espaço. Conclui-se, ao abordar os conceitos de renaturalização a partir de 1930 e aproximar o tema à ecologia de paisagem e ao planejamento urbano, que o conceito de renaturalização de rios urbanos, pretende alcançar melhoria da qualidade ambiental, baseando-se na busca de estados mais próximos dos naturais,

anteriores aos promovidos pela degradação da urbanização, onde todos os esforços que atuem para esse objetivo, além da manutenção e sua preservação, são válidos. Além disso, é interessante incorporar a gestão da água, promover o repovoamento das espécies nativas, melhorar o tratamento das águas, além de revitalizar espaços, analisar os diferentes usos do solo e resolver conflitos que possam surgir durante este processo.

A segunda questão da pesquisa busca entender as particularidades de cada projeto de renaturalização de rio e o que as difere de outros tipos de intervenção em corpos de água. A resposta hipotética para essa pergunta seria de que os gestores executavam projetos de renaturalização, para aumentar áreas verdes e reduzir custos, quando comparado a outras intervenções em corpos de água. Partindo dos primeiros projetos realizados fora do Brasil e em seguida projetos em andamento no País, concluiu-se que os projetos eram focados no retorno da qualidade da água, através da instalação de estações de tratamento de esgotos e pela requalificação dos meandros e áreas ribeirinhas. Em algumas localidades, houve a retirada das calhas de concreto que faziam a retificação do canal, possibilitando o retorno da vegetação ciliar e a redução de impactos a jusante, além de que vastas áreas ribeirinhas foram transformadas, em espaços recreativos, para a comunidade e, todos os projetos foram incentivados pela instalação de estações de tratamento de efluentes ao longo da região fluvial.

A terceira e última questão da pesquisa busca identificar quais características urbanas e ambientais presentes nas áreas possíveis de renaturalização são capazes de influenciar o processo de planejamento. Como resposta hipotética para a pergunta, as características estão divididas em dois grupos: ambientais e urbanas. Em ambientais estão os espaços livres, altitude e declividade; e em urbanos estão o parcelamento e uso do solo, índices urbanos, população, infraestrutura viária e área construída.

Foi realizado o mapeamento das áreas inundáveis através do Modelo HAND, que utiliza a diferença entre a altura extraída do modelo digital de elevação e a rede de drenagem, para calcular as alturas relativas que possuem relação com a profundidade do lençol freático e a topografia do terreno. A validação do modelo foi alcançada mediante a implementação de pontos de inundação obtidos através da utilização de imagens e vídeos publicados por habitantes da cidade e em sites de jornais, para posterior reclassificação das áreas inundáveis e demarcação correta do

HAND. Com isso, o mapeamento de áreas de inundação da cidade de Bagé/RS foi classificado em três classes: o primeiro com altitude entre 0 e 5 metros, nomeado “alta suscetibilidade”, o segundo entre 5 e 10 metros, nomeado “média suscetibilidade” e o terceiro entre 10 e 15 metros, nomeado “baixa suscetibilidade”. O alcance desse objetivo possibilitou o seguimento da pesquisa e do processo de análise das características urbanas e ambientais.

O objetivo principal da pesquisa, de identificar as características urbanas e ambientais em áreas de inundação de rios urbanos com potencial de renaturalização, foi alcançado. Referente à característica de uso do solo, a presença de residências é dominante nas áreas com maior interesse para a renaturalização. As residências ocupam acima de 70% das áreas, seguido por lotes vacantes, com 11,30% de uso do solo. Com o aumento no parcelamento do solo, há uma redução no número de espaços livres, afetando a possibilidade de renaturalização dos rios urbanos, pela falta de espaços livres nas margens. Além disso, a expansão da malha urbana em direção aos arroios é capaz de impossibilitar que o processo de renaturalização ocorra adequadamente, expondo os habitantes destas áreas a inundações e bloqueando a dinâmica do corpo de água.

É observado que existem áreas onde o solo foi parcelado, mas que são considerados lotes vacantes, devido à falta de edificações, evidenciando que as áreas de inundação situadas em áreas efetivamente urbanizadas, como o centro da cidade de Bagé, RS, contêm espaços livres que poderiam ser usados para o processo de renaturalização, embora esses terrenos já possuam proprietários privados.

O estabelecimento de índices urbanos favoráveis à urbanização em áreas com maior interesse para a renaturalização podem ser considerados como inadequados, salvo o estabelecimento de áreas de lazer. Foi observado que os índices urbanos estabelecidos após a urbanização garantem apenas que não sejam feitas novas construções no espaço. No entanto, se a área já estiver urbanizada, esses índices não têm efeito no processo de renaturalização, pois continua a haver ausência de espaços livres. A taxa de ocupação, índice que permite a regulagem da quantidade de área não construída em um lote, interfere diretamente na redução dos espaços livres e pode garantir novas possibilidades para a renaturalização.

A implementação de sistemas viários dificulta o processo de renaturalização ao atrair a urbanização, porém quando aliado aos espaços livres, permite a presença mútua de fatores naturais em lugares públicos, como as vias, podendo trazer

conexões e continuidades. Quando considerado seu tamanho ao conjunto, pode vir a integrar aos sistemas de espaços livres, se concebido dentro do projeto de renaturalização. Já o tipo de revestimento de pavimentação viária que, quanto mais impermeável, mais problemas ambientais traz, podendo interferir na escolha das áreas a serem renaturalizadas. Locais que já contêm revestimentos de pavimentação viária consolidados, como áreas asfaltadas, são mais difíceis para renaturalizar, quando comparados a locais com outros tipos de revestimentos de pavimentação viária.

Áreas com maior centralidade urbana, onde se concentram pessoas, comércios e serviços, são mais difíceis de serem renaturalizadas, pela falta de espaços livres, número maior de habitantes e infraestrutura consolidada, havendo maior possibilidade de renaturalização nas áreas de transição entre áreas urbanizadas e não urbanizadas, na interface entre o espaço urbano e o rural. Essas áreas, que podem ser chamadas de bordas urbanas, parecem ter importante potencial para a renaturalização, pois são áreas com maior disponibilidade de espaços livres e com menor número de habitantes, possibilitando o planejamento mais adequado de áreas vulneráveis, para a renaturalização de rios.

No estudo de população na cidade de Bagé, RS, as avenidas que interligam a cidade com as rodovias federais, se tornaram atrativas à urbanização e reduziram os espaços livres em áreas de renaturalização, sendo possível perceber que os equipamentos urbanos, que se tornem atrativos a urbanização, como as avenidas de acesso à cidade e a Universidade Federal do Pampa, são capazes de reduzir os espaços livres e aumentar a vulnerabilidade dos habitantes à inundações.

As áreas de inundação contêm características de estarem situadas em baixas altitudes e terem topografias onduladas. As baixas altitudes são locais que favorecem a retenção de água através da gravidade e as áreas onduladas demarcam as planícies de inundação, geralmente onde estão as margens dos corpos de água.

A presença de construções nas áreas de inundação em regiões centrais da cidade confirma que, quanto mais urbanizada a área está, mais difícil de o processo de renaturalização ocorrer, sendo o espaço construído o principal obstáculo. Por esse motivo, áreas mais afastadas e de transição entre o urbano e o rural, têm maiores chances de executar um processo de renaturalização que obtenha resultados satisfatórios e atinja os objetivos propostos.

Os espaços livres são de grande importância para o processo de renaturalização, confirmando-se pelo estudo de caso em Bagé, RS, que, áreas efetivamente urbanizadas, como a sub-bacia 4 localizada no centro do Município, tiveram 40% menos espaços livres, quando comparado com as demais sub-bacias estudadas, localizadas em áreas de transição entre áreas urbanizadas e não urbanizadas, ou seja, as bordas urbanas contêm mais espaços livres do que áreas efetivamente urbanizadas. Além disso, a análise dos espaços livres permitiu a demarcação de áreas onde processos de renaturalização podem ser efetivados com menos dificuldades, incluindo lotes vacantes, sistema viário público, vazios urbanos, áreas destinadas à agricultura, pecuária ou mineração, localizados em áreas de inundação de rios urbanos.

As principais limitações da pesquisa estão relacionadas à coleta dos dados urbanos e ambientais que seriam analisados. No caso de Bagé, RS, a falta de dados de infraestruturas como redes de abastecimento de água, energia elétrica, transporte público, redes cloacais, medições de qualidade de água, presença de poluição ambiental, iluminação pública e de sistemas de comunicação, impossibilitou a análises destes fatores e de conclusões mais completas. Com os dados de redes de abastecimento de água e esgoto, por exemplo, seria possível analisar a presença destes dados em áreas de inundação e de que modo isso interfere no processo de renaturalização.

Apesar do mapeamento de áreas inundáveis ser de fácil obtenção utilizando o programa Hand Model, o pesquisador pode ter dificuldade em obter o arquivo do modelo digital de elevação com alta resolução espacial e realizar o recorte do arquivo, seguido pela informação do limiar de cálculo para a rede de drenagem e a validação do modelo através de dados históricos, como vídeos e imagens, sendo necessário obter as cotas de inundação através de entrevistas com os habitantes.

Referentemente a possibilidades de replicação da pesquisa, o trabalho foi realizado em áreas de inundação de rios urbanos, em cidades de fronteira entre o Brasil e o Uruguai. Contudo, a pesquisa pode ser estendida para as cidades que tenham como problemática o avanço das áreas urbanizadas em áreas de inundação de rios urbanos e disponham de informações básicas, como um modelo digital de elevação e mapas georreferenciados, necessários para a análise das características, como mapas de parcelamento do solo, demarcação de vias e áreas construídas.

A pesquisa pode contribuir para o planejamento urbano das cidades que buscam desenvolver ambientes que respeitem a dinâmica dos rios urbanos e o retorno da qualidade das águas dos seus cursos d'água, para melhorar a qualidade de vida e obter os benefícios do processo de renaturalização. Com os dados aqui descritos, buscou-se contribuir também para uma nova percepção dos municípios e seus habitantes frente aos seus corpos de água, sugerindo novos modos de urbanização, com a coexistência entre o ambiente urbano e o ambiente natural.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, M. P. **A recuperação de rios degradados e sua reinserção na paisagem urbana**: a experiência do rio Emscher na Alemanha. 2003. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- ANDRADE, M. M. de. **Como preparar trabalhos para cursos de pós-graduação**: noções práticas. 5. ed. São Paulo: Atlas. 2002.
- ÁREA METROPOLITANA DE BARCELONA. Geoportal de Cartografia de l'AMB. Barcelona, 2019. Disponível em <https://geoportalcartografia.amb.cat/AppGeoportalCartografia2/index.html>
- BARROS, A. de J. P. de; LEHFELD, N. A. de S. **Projeto de Pesquisa**: propostas metodológicas. Petrópolis, RJ: Vozes, 1990.
- BENCKE, G. A.; CHOMENKO, L.; SANT'ANNA, D. M. **O que é o Pampa**. Nosso Pampa Desconhecido. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, p. 17-27, 2016.
- BINDER, W. **Rios e Córregos**: Preservar – Conservar – Renaturalizar. A Recuperação de Rios, Possibilidades e Limites da Engenharia Ambiental. Rio de Janeiro: SEMADS - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - Rio de Janeiro. Cooperação Técnica Brasil-Alemanha, Projeto Planágua, SEMADS/GTZ, v. 2, 2001, 41 p.
- BRANCO, V. T. A.; SCHAFER, A. G. **Bacia hidrográfica do Rio Negro-RS**: Conhecer para gerenciar. Revista Conexão UEPG, v. 12, p. 488-502, 2016.
- BRENNER V. C.; GUASSELLI L. A. **Análise da viabilidade do processo de renaturalização de um trecho do canal retificado do rio Gravataí**. Rio Grande do Sul, Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 5., 2014, Campo Grande. *Anais [...]* Campo Grande: Embrapa Informática Agropecuária/Inpe, p. 593-601, 2014.
- BROCANELI, P. F. **A incorporação da água no ambiente urbano da cidade de São Paulo**. 1998. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 1998.
- BROCANELI, P. F.; STUERMER, M. M. **Renaturalização de rios e córregos no município de São Paulo**. Exacta, v. 6, p. 147-156, 2008.
- BUCHHOLZ, T., YOUNOS, T. **Urban Stream Daylighting, Case Study Evaluations**. Virginia Water Resources Research Center, Virginia, 2007.
- CALLISTO, M.; MORENO, P.; MACEDO, D. R. **Biomonitoramento e pressões da urbanização**: Uma abordagem integrada entre Ecologia e Geografia na bacia do rio das Velhas. Revista Espinhaço, 2019.

CENGIZ, B. **Urban River Landscapes**. Advances in Landscape Architecture. 1. ed. Intech, p. 978- 953, 2013.

CENTRO DE COMUNICAÇÃO SOCIAL DO EXÉRCITO. **Exército conclui revitalização das margens do Rio São Francisco no interior da Bahia**, 2019. Disponível em: <<https://cmne.eb.mil.br/ultimas-noticias/exercito-conclui-revitalizacao-das-margens-do-rio-sao-francisco-no-interior-da-bahia>>. Acesso em: 27 abr. 2023.

CIBIM, J. C. **Bacias Hidrográficas Internacionais: Território, Governança e Perspectiva de Cooperação**. Anais do V Encontro Nacional da Anppas: Florianópolis – SC/BR, 2010.

CHAVES, A. C. A.; CARVALHO, I. M. **Renaturalização de cursos d'água em Manaus/AM**. ENSUS–Encontro de Sustentabilidade em Projeto, 2020.

CHIN, A., & GREGORY, K. J. **Managing urban river channel adjustments**. Geomorphology, v. 69, p. 28-45, 2005.

DEFESA CIVIL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Situação nos Municípios. SOS Enchentes RS, 2024. Disponível em: <https://sosenchentes.rs.gov.br/situacao-nos-municipios>. Acesso em: 26 ago. 2024.

DELIBAS, M.; TEZER, A. **Stream Daylighting'as an approach for the renaturalization of riverine systems in urban areas: Istanbul-Ayamama Stream case**. Ecohydrology & Hydrobiology, v. 17, p. 18-32, 2017.

DAEB - Departamento de Água e Esgoto de Bagé. Caracterização e diagnóstico da bacia do rio Negro em Território Brasileiro-RS. Contrato nº 004/2007. Bagé, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10. reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979. 83p.

EPSTEIN, L.; KING, G. **Pesquisa empírica em direito: as regras de inferência**. São Paulo: Direito Getúlio Vargas, 2013.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). **Rivers and lakes in European cities** - Past and future challenges. EEA Report No 26. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2016.

F., Marcos. **Enchente em Bagé**. Vídeo online. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=WMy5eOD5BS4>>. Acesso em: 05 abr. 2023.

FARIAS, V. **Bagé RS Enchente 18 11 09**. Vídeo online. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=B5yeRMPK4I8>>. Acesso em: 05 abr. 2023.

FEPAM. **Documentação Técnica**. Porto Alegre, RS: Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler, 2018. Disponível em: <[http://ww2.fepam.rs.gov.br/bcrs25/Documentacao\\_Tecnica\\_v01\\_20180810.pdf](http://ww2.fepam.rs.gov.br/bcrs25/Documentacao_Tecnica_v01_20180810.pdf)>. Acesso em: 01 mai. 2023.

FINDLAY, S. J., TAYLOR, M. P. **Why rehabilitate urban river systems?**. Area, v. 38, p. 312-325, 2006.

FOLGATO, M. **Reabertura de córregos que correm sob as galerias das avenidas é alternativa à construção de piscinões**. Caderno Metrópole, São Paulo, 2006.

GALLI, I.; NASCIMENTO, L. P. A S.; BELDERRAIN, M. C. N. **Aplicação do método AHP clássico na escolha do operador logístico de uma empresa de telecomunicações**. In: XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Foz do Iguaçu. Anais Eletrônicos. Foz do Iguaçu: ENEP, p. 1-9, 2007.

GARCIAS, C. M., AFONSO, J. A. C. **Revitalização de Rios Urbanos**. Gesta – Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologia Ambiental, v.1, p.131-144, 2013.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999, 220 p.

GOERL, R. F.; MICHEL, G. P.; KOBAYAMA, M. **Mapeamento de áreas susceptíveis a inundação com o modelo HAND e análise do seu desempenho em diferentes resoluções espaciais**. Revista brasileira de cartografia. v. 69, p. 61-69, 2017.

GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M. **Considerações sobre as inundações no Brasil**. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, v. 3, 2005.

GOODE, W. J.; H., P. K. **Métodos em pesquisa social**. São Paulo: Edusp, 1979.

GOOGLE. **Google Street View**. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/>>. Acesso em: 20 jan. 2023.

GRAÇA, C. E. C. da. **Programa córrego limpo**. Prefeitura de São Paulo. São Paulo, 2012. Disponível em: <[https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/planejamento/escola\\_de\\_formacao/arquivos/cursos/presenciais/corrego\\_limpo.pdf](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/planejamento/escola_de_formacao/arquivos/cursos/presenciais/corrego_limpo.pdf)> Acesso em: 26 abr. 2023.

GREGORY, S. **River Restoration: Erecting Monuments to Our Good Intentions or Restoring Dynamic Riverine Processes in a Changing World**. In: Proceedings of 4th ECRR Conference on River Restoration, Veneza, ECRR - European Centre for River Restoration / CIRF – Centro Italiano per la Riquilificazione Fluviale, p. 35-46, 2008.

GUERREIRO, M. R. da P. **Urbanismo orgânico e a ordem implícita: uma leitura através das geometrias da natureza**. Tese de doutorado. Instituto Universitário de Lisboa, Portugal, 2010.

GUTIERREZ, E. J. B.; NEUTZLING, S. **O patrimônio urbano da rainha da fronteira**. Bagé. RS. Revista Memória em Rede, v. 3, p. 63-78, 2011.

HARVEY, D. **A produção capitalista do espaço**. 2. ed. São Paulo: Annablume, 2005. 252 p.

HU, A.; DEMIR, I. **Real-Time Flood Mapping on Client-Side Web Systems Using HAND Model**. Hydrology, v. 8, p. 65, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>> Acesso em: 31 jan. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - **Banco de Informações Ambientais (BDIA)**. Acesso em 02 ago. 2019.

INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION – ISDR – UN. **Secretariat. United Nations documents related to disaster reduction 2000- 2007: Advance copy**. Geneva, UN. International Strategy for Disaster Reduction (ISDR). Secretariat, 2007.

JONKMAN, S. N. **Global perspectives on loss of human life caused by floods**. Natural Hazards, v. 34, p. 151-175, 2005.

LAMAS, J. M. R. G. **Morfologia urbana e desenho da cidade**. Portugal: Fundação Calouste Gulbenkian, Fundação para a Ciência e a Tecnologia, p. 79-110, 2004.

LEE, K. **Cheong Gye Cheon Restorations Project: a revolution in Seoul**. In: ICLEI, 2006.

LICCO, E. A.; DOWELL, S. F. M. **Alagamentos, Enchentes Enxurradas e Inundações: Digressões sobre seus impactos socioeconômicos e governança**. Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística, v. 5, p. 159-174, 2015.

MAGALHÃES, I. L.; THIAGO, C. R. L.; AGRIZZI, D. V.; SANTOS, A. R. **Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos**. Cadernos de Geociências, v. 8, p. 63-70, 2011.

MARTÍN-VIDE, J. P. **Restoration of an urban river in Barcelona, Spain**. Environmental Engineering and Policy, v. 2, p. 113-119, 1999.

MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - CENTRO DE ESTUDOS E GESTÃO ESTRATÉGICA – MCT/CGE. **Diretrizes estratégicas para o Fundo de Recursos Hídricos de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**. Brasília, 2002. Disponível em <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em 05 abr. 2023.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL (MPF). **Região Hidrográfica do Rio Uruguai**. 2015. Disponível em: <[https://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/informes/pdfs/rio\\_uruguai\\_regiao\\_hidrografica.pdf](https://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/informes/pdfs/rio_uruguai_regiao_hidrografica.pdf)>. Acesso em: 17 abr. 2023.

MOMO, M. R.; PINHEIRO, A.; SEVERO, D. L.; CUARTAS, L. A.; NOBRE, A. D. **Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à**

**inundação usando dados de alta resolução espacial.** RBRH, v. 21, p. 200-208, 2016.

MUHAR, S.; SCHMUTZ, S.; JUNGWIRTH, M. **River restoration concepts – goals and perspectives.** Hydrobiologia, v. 303, p. 183-194, 1995.

NEUTZLING, S. R. **Inventário que subsidiará o tombamento do centro histórico de Bagé.** 2009. (Relatório Técnico). Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Ministério da Cultura.

NILSSON, C.; ARADÓTTIR, A. L. **Ecological and social aspects of ecological restoration: new challenges and opportunities for northern regions.** Ecology & Society, v. 18, p. 35, 2013.

NOBRE, A. D. **Hand Model.** Versão 0.8.2. São José dos Campos: INPE, 2018. Disponível em: <<http://handmodel.ccst.inpe.br/>>. Acesso em: 25 abr. 2023.

OLIVEIRA, V. **Urban morphology: an introduction to the study of the physical form of cities.** 1. ed. Porto: Springer, 2016, 215 p.

OPOLOT, E. **Application of remote sensing and geographical information systems in flood management: A Review.** Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, v. 6, p. 1884-1894, 2013.

PALMER, M.; BERNHARDT, E. S.; ALLAN, J. D.; LAKE, PS., ALEXANDER, G., BROOKS, S., CARR, J., CLAYTON, S., DAHM, C., FOLLSTAD SHAH, J., GALAT, DJ., GLOSS, S., GOODWIN, P., HART, DH., HASSETT, B., JENKINSON, R., KONDOLF, GM., LAVE, R., MEYER, JL., O'DONNELL, TK., PAGANO, L., SRIVASTAVA, P., SUDDUTH, E. **Standards for ecologically successful river restoration.** Journal of Applied Ecology, v. 42, p. 208-217, 2005.

PANERAI, P. **Análise urbana.** 1. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2006, 198 p.

PEREIRA, A. L. **Princípios da restauração de ambientes aquáticos continentais.** Boletim da Associação Brasileira de Limnologia, v. 39, p.1-21, 2001.

PETTS, J. **Learning about learning: lessons from public engagement and deliberation on urban river restoration.** The Geographical Journal, v. 173, p. 300-311, 2007.

PUGLIESE, F.; CAROPPI, G.; ZINGRAFF-HAMED, A.; LUPP, G.; GIUGNI, M. **Nature-based solutions (NBSs) application for hydro-environment enhancement.** A case study of the Isar River (DE). Environmental Sciences Proceedings, v. 2, p. 30, 2020.

RAMÍREZ-AGUDELO, N. A.; Badia, M.; Villares, M.; Roca, E. **Assessing the benefits of nature-based solutions in the Barcelona metropolitan area based on citizen perceptions.** Nature-Based Solutions, Barcelona, v. 2, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100021>

RENNÓ, C.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. **HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia.** Remote Sensing of Environment, v. 112, p. 3469-3481, 2008.

REZENDE, P. S.; MARQUES, D. V.; OLIVEIRA, L. A. **Construção de modelo e utilização do método de Processo Analítico Hierárquico–AHP para mapeamento de risco à inundação em área urbana.** Caminhos da Geografia, Uberlândia, v. 18, p. 1-18, 2017.

SAATY, T. H. **A scaling method form priorities in hierarquical structures.** Journal of Mathematical Psychology, v.15, p. 234-281, 1997.

SANTOS, A. R. dos; LOUZADA, F. L. R de O.; EUGENIO, F. C. **ArcGIS 9.3 total: aplicações para dados especiais.** Alegre, ES: Ciências Agrárias Universidade Federal do Espírito Santo/CAUFES, 2010, 180 p.

SANYAL, J.; LU, X. X. **Application of remote sensing in flood management with special reference to monsoon Asia: A Review.** Natural Hazards, v. 33, p. 283-301, 2004.

SARAIVA, M. G. A. **O rio como paisagem: gestão de corredores fluviais no quadro do ordenamento do território.** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1999, 512 p.

SHIELDS, F. D.; COOPER Jr., C. M.; KNIGHT, S. S.; MOORE, M. T. **Stream Corridor Restoration Research: a long and winding road.** Ecological Engineering, v. 20, p. 441-454, 2003.

SILVA, J. C. de A. da; PORTO, M. F. do A. **Requalificação de rios urbanos no âmbito da renaturalização, da revitalização e da recuperação.** Labor e Engenho, Campinas, SP, v. 14, 2020.

SILVA, R. R.; ANTORIA, C. P. A.; FERNANDES, J. R. **Geobage: Spatial data from the municipality of Bagé.** GitHub repository, 2021. Disponível em: <<https://github.com/Geoinformacao/geobage>>. Acesso em: 14 jan. de 2023.

SILVA, W. F.; MOLLERI, G. S. F.; PINTO, M. B. P; ARAÚJO JUNIOR, G. J. L. D. **Análise do modelo HAND para a indicação de áreas suscetíveis a eventos críticos de cheias.** In: Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. São José dos Campos: Inpe. p. 7001-7008, 2013.

SOUZA, C. R. de G. **Cartografia de risco à inundação no Litoral Paulista: o exemplo do município de São Sebastião.** Departamento de Geotecnia (USP), Departamento de Geologia Aplicada (Unesp), 1996.

SPECKHANN, G. A.; CHAFFE, P. L. B.; GOERL, R. F.; ABREU, J. J. de; FLORES, J. A. A. **Flood hazard mapping in Southern Brazil: a combination of flow frequency analysis and the HAND model,** Hydrological Sciences Journal, Reino Unido, v. 63, p. 87-100, 2018.

STAKE, R. E. **The Art of Case Study Research**. 1. ed. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 1995, 192 p.

TUCCI, C. E. M. **Águas Urbanas**. In: TUCCI, C. E. M.; BERTON, J. C. Inundações Urbanas na América do Sul. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003a.

TUCCI, C. E. M. **Inundações e Drenagem Urbana**. In: TUCCI, C.E.M. e BERTON, J.C. Inundações Urbanas na América do Sul. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003b.

TUCCI, C. E. M. **Parâmetros do Hidrograma Unitário para bacias urbanas brasileiras**. Porto Alegre: RBRH, v. 8, n. 2, 2003c, p. 195-199.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Associação Brasileira de Recursos Hídrico/UFRGS - ABRH, 1995. 430 p.

UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010**: volume Brasil. Florianópolis: CEPED, UFSC, 2012, 92 p.

VALENTE, O. F. **Reflexões hidrológicas sobre inundações e alagamentos urbanos**. Minha Cidade, São Paulo, ano 10, n. 109.01, Vitruvius, 2009.

VÉLEZ-MARTIN, E.; ROCHA, C. H.; BLANCO, C.; AZAMBUJA, B. O.; HASENACK, H.; PILLAR, V. D. **Conversão e Fragmentação**. In: Os Campos do Sul. 1. ed. Porto Alegre: Rede Campos Sulinos - UFRGS, p. 123-129, 2015.

VEYRET, Y. **Os Riscos**: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2007, 320 p.

VIEGAS, J. **Enchente em Bagé**: passo do Bernardo. Bagé, RS: vídeo online, 2009. 1 vídeo (1:30 min). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=0OTMyKT5WoU>>. Acesso em: 05 abr. 2023.

WLODARCZYK, A.; MASCARENHAS, J. **Nature in cities. Renaturalization of riverbanks in urban areas**. Open Engineering, Berlin, v. 6, p. 681-690, 2016.

YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005, 212 p. ISBN: 8536304626.

ZHAO, Y. W.; YANG, Z. F.; XU, F. **Theoretical framework of the urban river restoration planning**. Environmental Informatics Archives, Canada, v. 5, p. 241–247, 2007.