

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL

ALINE DE MOURA RIBEIRO XAVIER

**Morfologia urbana e crescimento:
indicadores quantitativos aplicados ao caso de
Pelotas/RS**

Porto Alegre
2024

ALINE DE MOURA RIBEIRO XAVIER

**Morfologia urbana e crescimento: indicadores
quantitativos aplicados ao caso de Pelotas/RS**

*Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre em
Planejamento Urbano e Regional pelo
Programa de Pós-Graduação em Planejamento
Urbano e Regional da Universidade Federal do
Rio Grande do Sul.*

*Linha de pesquisa: Sistemas Urbanos e
Ambientais*

Orientadora: Prof. Dra. Clarice Maraschin

Porto Alegre

2024

ALINE DE MOURA RIBEIRO XAVIER

**Morfologia urbana e crescimento: indicadores
quantitativos aplicados ao caso de Pelotas/RS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Planejamento Urbano e Regional pelo Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Aprovada em 19 de novembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dra. Ana Paula Neto de Faria
(Examinadora externa da Universidade Federal de Pelotas – UFPel)

Prof. Dra. Alice Rauber Gonçalves
(Examinadora Externa da Universidade Federal de Pelotas - UFPEL)

Prof. Dra. Débora Becker
(Examinadora Externa da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS)

CIP - Catalogação na Publicação

Xavier, Aline de Moura Ribeiro
Morfologia urbana e crescimento: indicadores
quantitativos aplicados ao caso de Pelotas/RS / Aline
de Moura Ribeiro Xavier. -- 2024.
137 f.
Orientadora: Clarice Maraschin.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura, Programa
de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional,
Porto Alegre, BR-RS, 2024.

1. Morfologia urbana. 2. Crescimento urbano. 3.
Planejamento Urbano. 4. Indicadores de desempenho
urbano. 5. Sistemas configuracionais urbanos. I.
Maraschin, Clarice, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional (PROPUR) pela oferta de ensino público de qualidade.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo financiamento desta pesquisa na forma da bolsa de mestrado durante a maior parte do curso.

À minha orientadora, a professora Clarice Maraschin. Sou grata pelo incentivo constante e por compartilhar o conhecimento comigo.

Aos integrantes do Grupo de Pesquisa de Sistemas Configuracionais Urbanos, meu sincero agradecimento por compartilharem suas experiências e por toda a contribuição ao longo da pesquisa.

Às componentes da Banca Examinadora desse trabalho de dissertação, que admiro profundamente como professoras e pesquisadoras, meu especial reconhecimento.

Ao Núcleo de Apoio ao Estudante, em especial à Danúbia Peters, pelo apoio psicológico e organizacional ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

A todos os meus familiares e amigos, por compreenderem minha ausência e me transmitirem confiança ao longo da realização desta pesquisa. Agradeço também às amigas que fiz durante o mestrado, por se tornarem uma base sólida e essencial para o meu crescimento.

E, acima de tudo, meu profundo agradecimento à minha mãe, Marlete de Moura Ribeiro, meu exemplo de perseverança. Filha de agricultores analfabetos, foi a primeira de nossa família a conquistar um diploma de graduação e a se tornar mestre! Obrigada pelo acolhimento, pelo incentivo e por todo o amor dedicado.

Expresso aqui o meu mais sincero agradecimento!

RESUMO

A urbanização contemporânea é marcada por processos de transformação de sua forma e, simultaneamente, de sua estrutura interna, numa dinâmica permanente. Torna-se importante contar com metodologias que permitam descrever e compreender melhor os padrões espaciais de crescimento urbano, a fim de avançar na identificação de seus possíveis impactos e mitigações no âmbito do planejamento urbano. Esta dissertação pretende contribuir neste tema e seu objetivo é analisar a relação entre a forma urbana e sua estrutura interna no processo de crescimento, a partir de indicadores quantitativos. O estudo empírico focou numa cidade média, Pelotas, no sul do estado do Rio Grande do Sul (RS). A partir de pesquisa bibliográfica e cartográfica, o trabalho sistematiza quatro períodos na evolução urbana de Pelotas. São definidas duas categorias de indicadores: da forma geral do assentamento e da configuração da rede viária, que são aplicados aos quatro períodos do crescimento. Após esta etapa, o trabalho discute a relação entre o crescimento da mancha urbana e as mudanças na sua estrutura interna, a fim de identificar perfis e padrões no crescimento da cidade. A análise mostrou que a forma urbana de Pelotas aumentou a fragmentação no seu perímetro e perdeu compacidade ao longo de seu crescimento. Por sua vez, sua estrutura interna evidenciou a permanência das vias consideradas mais centrais, mesmo com todo o crescimento espacial observado. Verificou-se também a grande estabilidade configuracional apresentada pelo centro histórico ao longo da evolução da cidade, apontando para um potencial de vitalidade. Tais evidências mostram-se importantes na discussão sobre o crescimento futuro da cidade.

Palavras-chave: Morfologia urbana; Crescimento urbano; Planejamento Urbano; Indicadores de desempenho urbano; Sistemas configuracionais urbanos; Pelotas.

ABSTRACT

The expansion of contemporary urbanization is characterized by spatial fragmentation and discontinuity, particularly in relation to more consolidated urban areas, leading to potential impacts on urban sustainability. It is important to employ methodological approaches that enable a more thorough description and understanding of the spatial patterns of urban growth, aiming to identify its potential impacts and mitigations in the context of urban planning. This dissertation seeks to contribute to this field and its objective is to analyze the relationship between urban form and its internal structure during the growth process, using quantitative indicators. The empirical study focuses on a medium-sized city, Pelotas, in the southern part of the state of Rio Grande do Sul (RS) - Brazil. Based on bibliographic and cartographic researches, the work delineates four periods in the urban evolution of Pelotas. Two categories of indicators are defined: the general form of the settlement and the configuration of the street network, which are applied to the four periods of growth. Subsequently, the study discusses the relationship between the expansion of the urban footprint and changes in its internal structure, with the goal to identify growth profiles and patterns in the city's development. The analysis revealed that the urban form of Pelotas increased fragmentation in its perimeter and lost compactness throughout its growth. Meanwhile, the spatial system showed stability in terms of the distribution of centrality hierarchies. The discussion explored the relationship between form and structure based on joint indicators and identified patterns in Pelotas' growth. It was found that certain patterns are more specific to the city itself, while others appear to be common to others. Such findings are important for future discussions on the city's development trajectory.

Keywords: Urban morphology; Urban growth; Urban planning; Urban performance indicators; Urban configurational systems; Pelotas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistemas descritivos e grafos correspondentes. Fonte: (Rauber; Krafta, 2018, p. 5).	30
Figura 2 - Dimensão radial de sistema urbano hipotético. À esquerda, mapa de sistema urbano mostrando a distribuição de sua área construída; à direita, gráfico da dimensão fractal representando o aumento da área construída em relação à distância do centro do sistema. Fonte: (Dalcin, 2022, p. 23).	38
Figura 3 – Localização de Pelotas/RS e suas Regiões Administrativas. Elaboração: Pela autora (2024).	45
Figura 4 – Cartografia utilizada nos quatro períodos analisados. Fonte das imagens: Quadro 3.	48
Figura 5 – Evolução Populacional de Pelotas setorizada por períodos de análise. Base de dados: Déc. 1820 até 1900, 1930, 1940 (Vieira, 1997, p. 119 e 127), 1910 e 1920 (Ferretto, 2018, p. 142) e 1950 até 2022 (Censo, IBGE). Elaboração: Pela autora (2024).	49
Figura 6 – Representação da simplificação do sistema. a) Rede completa de trechos de vias do sistema espacial urbano de Pelotas, ano 2023. b) Ampliação da rede original. c) Mesma ampliação, detalhe após simplificação. Elaboração: Pela autora (2024).	52
Figura 7 – Resultado da Centralidade por Intermediação para as Grelhas de controle, em cada um dos respectivos períodos. Elaboração: Pela autora (2024)...	55
Figura 8 – Ilustração do indicador de variação da centralidade com a distância ao centro. Redes urbanas identificadas por cores com anéis concêntricos equidistantes sobrepondo a estrutura configuracional. Elaboração: Pela autora (2024).	56
Figura 9 – Evolução do Crescimento Territorial, setorizado nos períodos analisados. Elaboração: Pela autora (2024).	58
Figura 10 - Estrutura da paisagem da cidade de Pelotas no ano de 1835; destacando área urbana; estradas, percursos e caminhos; topografia formada por terraços e áreas baixas; recursos hídricos. Fonte: (Peres, 2010, p. 66)	61
Figura 11 – Renda per capita de Pelotas segundo Censo 2010 (IBGE, 2010). Elaboração: Pela autora (2024).	71
Figura 12 – Vistas aéreas: a) Shopping Pelotas, fundo a esquerda bairro Parque Una, fonte: https://www.jornaldocomercio.com/colunas/minuto-	

varejo/2023/11/1129753-shopping-pelotas-vai-ter-expansao-de-area-e-novas-lojas.html; b) Condomínio Lagos de São Gonçalo, fonte: <https://www.blog.idealizacidades.com.br/alto-padrao-para-o-norte-de-macapa/>; c) Ao centro, Condomínio Alphaville, a esquerda, Condomínio Veredas, fonte: https://www.facebook.com/flycamerapel/photos/pb.100063753542356.-2207520000/1423542417830576/?type=3&locale=pt_BR.

2207520000/1423542417830576/?type=3&locale=pt_BR.	73
Figura 13 - Densidade populacional de Pelotas classificação por setor censitário, segundo Censo 2010 (IBGE, 2010). Elaboração: Pela autora (2024).	73
Figura 14 – Análise do Indicador de Continuidade em cada um dos períodos, comparação da mancha urbanizada com seu respectivo polígono convexo. Elaboração: Pela autora (2024).....	76
Figura 15 – Gráfico do Indicador de Continuidade, comparação entre os períodos. Elaboração: Pela autora (2024).....	77
Figura 16 - Análise do Indicador de Compacidade em cada um dos períodos, comparação da mancha urbanizada com seu respectivo círculo circunscrito. Elaboração: Pela autora (2024).....	78
Figura 17 – Esquerda: Gráfico do Indicador de Compacidade. Direita: Gráfico de comparação do crescimento do raio do círculo circunscrito. Elaboração: Pela autora (2024).	79
Figura 18 – Gráfico de Densidade, comparação entre os períodos. Elaboração: Pela autora (2024).	82
Figura 19 – Gráfico de Evolução Urbana: comparação entre evolução da população e evolução do número de vértices. Elaboração: Pela autora (2024).	84
Figura 20 – Gráfico do Indicador de Grau Médio, comparação entre os períodos. Elaboração: Pela autora (2024).....	86
Figura 21 – Gráfico do Indicador de Distributividade, comparação entre os períodos. Elaboração: Pela autora (2024).....	86
Figura 22 – Evolução da conectividade dos vértices ao longo dos quatro períodos. Elaboração: Pela autora (2024).....	88
Figura 23 - Resultado da Acessibilidade nos quatro períodos analisados. Valores normalizados, classificados em intervalos iguais, 5 classes. Elaboração: Pela autora (2024).	90

Figura 24 – Resultado Centralidade Freeman-Krafta nos quatro períodos analisados. Valores normalizados, classificados em quebras naturais, 5 classes. Elaboração: Pela autora (2024).	94
Figura 25 – Comparativo do padrão de distribuição entre os resultados de centralidade no caso de Pelotas e da grelha de controle, por período. Valores originais, ou seja, sem normalização. Elaboração: Pela autora (2024).	96
Figura 26 – Boxplots com a comparação dos dados de centralidade, com valores absolutos, de Pelotas e de sua respectiva grelha. Elaboração: Pela autora (2024).	98
Figura 27 – Comparação dos valores médios normalizados de acessibilidade. Elaboração: Pela autora (2024).	102
Figura 28 – Centralidade por intermediação – FK, com demonstração de cada um dos anéis. Elaboração: Pela autora (2024).	104
Figura 29 – Gráfico com o resultado da escala logarítmica dos valores absolutos da centralidade por intermediação FK em cada um dos anéis. Elaboração: Pela autora (2024).	105
Figura 30 – Resultado da Centralidade por Intermediação – FK do Período 4, com demonstração de cada um dos anéis e ênfase nos eixos potenciais para se tornarem subcentros. Elaboração: Pela autora (2024).	106
Figura 31 – Recorte urbano da cidade de Pelotas com aproximação em área próxima à Avenida Idelfonso Simões Lopes (linha preta espessa) e representação da mancha urbana do período (poligonal colorida). Local de ênfase do crescimento urbano representada pela poligonal vermelha. Elaboração: Pela autora (2024).	107
Figura 32 – Visuais da Avenida Senador Salgado Filho, Pelotas/RS.	111
Figura 33 – Gráfico com o resultado da Taxa de área urbanizada. Elaboração: Pela autora (2024).	112
Figura 34 – Resultado da Centralidade por Proximidade de Pelotas/RS para o Período 1. Elaboração: Pela autora (2024).	127
Figura 35 – Resultado da Centralidade por Proximidade de Pelotas/RS para o Período 2. Elaboração: Pela autora (2024).	128
Figura 36 – Resultado da Centralidade por Proximidade de Pelotas/RS para o Período 3. Elaboração: Pela autora (2024).	129
Figura 37 – Resultado da Centralidade por Proximidade de Pelotas/RS para o Período 4. Elaboração: Pela autora (2024).	130

Figura 38 – Resultado da Centralidade por Intermediação de Pelotas/RS para o Período 1. Elaboração: Pela autora (2024).	131
Figura 39 – Resultado da Centralidade por Intermediação de Pelotas/RS para o Período 2. Elaboração: Pela autora (2024).	132
Figura 40 – Resultado da Centralidade por Intermediação de Pelotas/RS para o Período 3. Elaboração: Pela autora (2024).	133
Figura 41 – Resultado da Centralidade por Intermediação de Pelotas/RS para o Período 4. Elaboração: Pela autora (2024).	134
Figura 42 - Mapa da zona urbana de Pelotas conforme o Plano Diretor de 1967, com o perímetro urbano destacado em tom escuro. Fonte: II Plano Diretor de Pelotas, 1968.....	136
Figura 43 – Mapa da zona urbana de Pelotas, com demarcação das divisões em regiões administrativas, meso e microrregiões e suas respectivas denominações. O perímetro urbano está destacado em vermelho. Fonte: III Plano Diretor de Pelotas, 2018.....	137

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Catálogo de 31 indicadores de compactação. Fonte: Marshall et. al. (2019), modificado pela autora. Fonte: (A) Angel et al. (2010); (B) Bárdossy and Schmidt (2002); (F) Flaherty and Crumplin (1992); (L) Lefkaditis and Tsirigotis (2009); (M) MacEachren (1985); (S) Silva et al. (2014); (T) Teknomo et al. (2004) apud (Marshall; Gong; Green, 2019).	28
Quadro 2 – Sistematização dos indicadores aplicados. Elaboração: Pela autora (2024).	44
Quadro 3 – Descrição da cartografia utilizada para a definição dos quatro períodos analisados. Elaboração: Pela autora (2024).	47
Quadro 4 – Detalhe das fontes do Perímetro Urbano de Pelotas setorizada nos períodos analisados. Elaboração: Pela autora (2024).	50
Quadro 5 – Dimensão e ordem da Grelha de controle e de Pelotas. Elaboração: Pela autora (2024).	55
Quadro 6 - Dados do Indicador de Continuidade. Elaboração: Pela autora (2024)..	76
Quadro 7 - Dados do Indicador de Compacidade. Elaboração: Pela autora (2024).	79
Quadro 8 - Evolução da população urbana e Evolução área da mancha urbanizada (ha). Fonte dos dados populacionais: ver Figura 5. Elaboração: Pela autora (2024).	82
Quadro 9 – Indicadores Básicos de Rede. Elaboração: Pela autora (2024).....	83
Quadro 10 – Indicadores de Grau médio do nó. Elaboração: Pela autora (2024). ...	85
Quadro 11 – Conectividade dos vértices ao longo dos quatro períodos. Elaboração: Pela autora (2024).	87
Quadro 12 – Valores de Acessibilidade (Centralidade por Proximidade) média para cada período, valores normalizados. Elaboração: Pela autora (2024).	90
Quadro 13 – Dados descritivos para centralidade de Pelotas e de grelhas. Elaboração: Pela autora (2024).	98
Quadro 14 – Análise da Proporção entre N° ciclomático pela Área da Mancha Urbanizada (ciclos/km ²) no caso de Pelotas, em cada um dos períodos analisados. Elaboração: Pela autora (2024).	100
Quadro 15 – Resultado da Centralidade por Intermediação agregada por anéis. Onde: C é o resultado da Centralidade; $\bar{C}$ é a Centralidade média; e $\bar{C}$ é a Centralidade agregada média por anel.	135

Quadro 16 – Resultado da Área urbanizada agregada por anéis. Sendo, Área a área da mancha urbanizada pertencente ao anel; $\sum$ Área o somatório da área; e, log o cálculo logarítmico do somatório da área. Para a representação desta tabela, os valores decimais nos resultados da área e somatório da área foram desconsiderados. No entanto, para a resolução dos cálculos, foram utilizados os números completos. 135

LISTA DE EQUAÇÕES

(1) Indicador de Continuidade	24
(2) Indicador Compacidade	25
(3) Indicador de Compacidade Urbana.....	25
(4) Comprimento Total da Rede	31
(5) Distância Média.....	32
(6) Grau Médio do Nó.....	32
(7) Distributividade.....	33
(8) Indicador de Centralidade por Proximidade (Acessibilidade)	33
(9) Indicador de Centralidade por Intermediação (Freeman-Krafta)	34
(10) Taxa de área urbanizada	37
(11) Normalização do Indicador de Centralidade por Proximidade	57
(12) Normalização do Indicador de Centralidade por Intermediação.....	57

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. QUESTÕES E PRESSUPOSTOS DE PESQUISA	20
1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA.....	21
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
1.4. JUSTIFICATIVA.....	21
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
2.1. FORMA URBANA E CRESCIMENTO.....	22
2.1.1.INDICADORES DA FORMA URBANA.....	24
2.1.1.1. Indicador de Continuidade.....	24
2.1.1.2. Indicador de Compacidade	24
2.1.1.3. Indicador de Compacidade Urbana	25
2.1.1.4. Outros Indicadores de Compacidade.....	26
2.2. CONFIGURAÇÃO URBANA	28
2.2.1.INDICADORES CONFIGURACIONAIS	30
2.2.2.INDICADORES BÁSICOS DE REDE.....	31
2.2.2.1. Número de Nós e de Arestas	31
2.2.2.2. Comprimento Total da Rede	31
2.2.2.3. Distância Média	31
2.2.2.4. Diâmetro da Rede	32
2.2.3.INDICADORES BÁSICOS DE CONECTIVIDADE	32
2.2.3.1. Grau Médio do Nó	32
2.2.3.2. Índice de Distributividade	32
2.2.4.INDICADORES BÁSICOS DE CENTRALIDADE	33
2.2.4.1. Indicador de Centralidade por Proximidade (Acessibilidade)	33
2.2.4.2. Indicador de Centralidade por Intermediação (Freeman-Krafta)	34
2.3. CRESCIMENTO E ALOMETRIA.....	34
2.3.1. Taxa de área urbanizada	37
2.4. ESTADO DA ARTE: FORMA URBANA, CONFIGURAÇÃO E CRESCIMENTO	38
3. METODOLOGIA	43
3.1. INDICADORES DE FORMA E CONFIGURAÇÃO	43
3.2. ESTUDO EMPÍRICO	44
3.3. DEFINIÇÃO DOS PERÍODOS DE ANÁLISE DO CRESCIMENTO URBANO EM PELOTAS	46

3.3.1.ANÁLISE DA FORMA URBANA	50
3.3.2.ANÁLISE DA CONFIGURAÇÃO URBANA	51
3.4. parâmetros de controle DOS RESULTADOS.....	54
3.4.1.1. Normalização dos Indicadores de Centralidade	57
4. RESULTADOS.....	57
4.1. O CRESCIMENTO URBANO DE PELOTAS.....	57
4.1.1.Período 1 (1812 - 1910): Estruturação do núcleo urbano	58
4.1.2.Período 2 (1911 – 1967): Expansão linear nos eixos de acesso	62
4.1.3.PERÍODO 3 (1968 – 1995): CRESCIMENTO PERIFÉRICO	66
4.1.4.Período 4 (1996 – 2023): crescimento descontínuo polarizado.....	68
4.1.5.Síntese do Capítulo	74
4.2. RESULTADO DOS INDICADORES DA FORMA URBANA.....	75
4.2.1.Indicador de Continuidade	75
4.2.2.Indicador de Compacidade	77
4.2.3.Discussão dos Indicadores de Forma	80
4.3. RESULTADO DOS INDICADORES CONFIGURACIONAIS	83
4.3.1.INDICADORES BÁSICOS DE CONECTIVIDADE	83
4.3.1.1. Ordem e tamanho do grafo.....	83
4.3.2.GRAU MÉDIO DO NÓ	85
4.3.3.DISTRIBUTIVIDADE.....	86
4.3.3.1. Discussão dos Indicadores Básicos de Conectividade.....	87
4.4. INDICADORES de CENTRALIDADE.....	89
4.4.1.ACESSIBILIDADE – CENTRALIDADE POR PROXIMIDADE	89
4.4.2.CENTRALIDADE POR INTERMEDIÇÃO	93
4.4.3.COMPARAÇÃO COM A GRELHA DE CONTROLE.....	95
4.5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS – RELAÇÃO ENTRE FORMA E CONFIGURAÇÃO NO CRESCIMENTO DE PELOTAS	99
4.5.1.RELAÇÕES ENTRE ÁREA DA MANCHA E A REDE ESPACIAL	99
5. CONCLUSÃO	114
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
7. APÊNDICES	127
8. ANEXOS	136

1. INTRODUÇÃO

O tema central desta dissertação explora a relação entre as propriedades da forma urbana e da sua configuração interna no seu processo de evolução. Esse estudo está inserido na área da morfologia urbana, que envolve a forma e a configuração urbana. Neste trabalho, define-se forma urbana enquanto as propriedades geométricas da mancha urbana, ou seja, a forma geral da cidade. Enquanto por configuração urbana refere-se às propriedades relacionais dos componentes da cidade, isto é, a rede espacial urbana.

De acordo com Lamas (2014, p. 41), “a ideia de “forma” se aplica a todo o espaço construído onde o ser humano introduziu sua ordem e se refere ao ambiente urbano, tanto como objeto de análise quanto como objetivo final de concepção arquitetônica. ‘O objetivo final da concepção é a forma’”. A forma urbana é um artefato complexo composto por articulações de ordem social, histórica, econômica e política. Apresenta uma estrutura espacial que evolui ao longo do tempo a partir de naturezas e comportamentos urbanos distintos. Acrescenta-se à conceituação a relação com o território sobre o qual se assenta e as particularidades desse local, como topografia, hidrografia, que influenciam diretamente na organização dos assentamentos urbanos (Krafta, 2014). Seus componentes infraestruturais, econômicos e sociais estão intrinsecamente interligados, o que torna difícil a compreensão quando analisados isoladamente (Jacobs, 2011).

Por um longo período, as cidades se caracterizaram enquanto entidades morfológicas estáveis, representadas por delimitações claras de seus limites, com barreiras estabelecidas entre o espaço construído e não construído. Apresentaram definições distintas em termos de paisagem, modo de vida e função (Benevolo, 1991; Lamas, 2014). Historicamente, a noção de uma cidade tradicional, compacta e monocêntrica origina-se na realidade das cidades fortificadas e muradas, onde a forma compacta tinha a vantagem de minimizar o comprimento da parede perimetral para abarcar a maior área possível da cidade (Jenks; Burton; Williams, 2003; Marshall; Gong; Green, 2019).

Porém, a partir da primeira metade do Século XIX, a cidade deixou de ter uma forma definida e delimitada (Lamas, 2014). Neste período, observaram-se significativas

transformações nos modelos de urbanização em decorrência de novos padrões de consumo e produção associados às inovações tecnológicas, aos avanços nas comunicações e ao desenvolvimento de infraestrutura de transporte (trens, bondes, ônibus, automóveis) (Anas; Arnott; Small, 1997; Choay, 2003). Nesse contexto, um forte exemplo foi o surgimento da noção de “espalhamento urbano” (*urban sprawl*) nos Estados Unidos da década de 1940, sobretudo pela disseminação do padrão suburbano de urbanização (Gonçalves, 2011).

Diversos estudos têm se dedicado a compreender os impactos sociais, econômicos e ambientais da forma urbana (Gordon; Richardson, 1997; Echenique *et al.*, 2012; Neuman, 2005). As diferentes formas apresentam efeitos no desempenho em termos de eficiência, equidade e sustentabilidade (Galster *et al.*, 2001). Essas implicações repercutem no modo de estruturação urbana, seja quanto à densidade (Acioly; Davidson, 1998), no consumo da terra agrícola e no valor imobiliário (Abramo, 2007; Richardson, 1975), na quantidade, proporção e localização das áreas verdes públicas (Wolsink, 2016), no uso do solo (Jenks; Burton; Williams, 2003), na proximidade a serviços e comércio (Marshall; Gong; Green, 2019), e também, na segregação espacial (Legeby, 2010).

Além disso, as formas urbanas exercem influência nos investimentos em infraestruturas para deslocamentos internos (Hasse; Lathrop, 2003) e no consumo de energia na mobilidade urbana (Pereira *et al.*, 2022). Também estão associadas às emissões de CO₂ relacionadas ao transporte, tempos de deslocamento e acesso de pedestre ao transporte público (Sevtuk; Amindarbari, 2021). Da mesma maneira, na adoção de modais de transporte alternativos e mais conscientes em termos ambientais, como caminhadas, ciclismo e utilização de transporte público coletivo (Jenks; Burton; Williams, 2003).

Além da avaliação da forma urbana, esta pesquisa amplia o escopo para abranger a configuração espacial urbana. A abordagem configuracional é uma área de pesquisa que busca examinar a cidade como um sistema espacial, focando na interdependência entre elementos, relações e propriedades urbanas. Por sistema entende-se um conjunto de elementos interconectados, em que a modificação de qualquer uma dessas partes é capaz de repercutir no sistema como um todo (Echenique, 1975). Esse tipo de abordagem descreve e analisa a estrutura

morfológica e configuracional das cidades por meio das relações de conectividade interna, capturando as interações entre os elementos presentes no ambiente espacial (Crucitti; Latora; Porta, 2006; Porta; Crucitti; Latora, 2006a, 2006b; Faria, 2010).

Nesse tipo de análise, a posição relativa dos elementos e as relações mantidas entre eles produzem uma diferenciação espacial que resulta em diferentes arranjos configuracionais. A distribuição desigual dos espaços urbanos sobre o território cria hierarquia espacial entre os componentes do sistema urbano. A partir da diferenciação e da hierarquia espacial torna-se possível identificar os vínculos espaciais internos à estrutura espacial urbana, seja na influência do movimento de pessoas e veículos, como no gradiente de distribuição das atividades urbanas diversas (Krafta, 1994, 1996, 2014). Essa organização dos usos possibilita a criação de centralidades funcionais, como polos de concentração de serviços e empregos. Essas centralidades desempenham um papel condicionante na decisão locacional, no valor imobiliário, nas densidades populacionais, gerando condições desiguais no processo de desenvolvimento urbano (Hillier; Hanson, 1984; Porta; Crucitti; Latora, 2006a, 2006b).

O processo de crescimento de uma cidade implica em mudança na forma urbana e, simultaneamente, na sua configuração interna. O crescimento afeta a forma geral da cidade e suas características, em termos de tamanho, densidade, fragmentação, etc. Ao mesmo tempo, o crescimento também altera a lógica das relações e hierarquias entre seus componentes (configuração). Mesmo a adição local de um componente (por exemplo, uma nova rua) tem capacidade de alterar as conectividades e caminhos mínimos, impactando nas distâncias relativas e centralidade, tanto no seu entorno imediato, bem como repercutindo a maiores distâncias. A análise evolutiva está inserida no campo da morfologia urbana. Os estudos dessa área tratam da forma urbana, suas características físicas e estruturais, englobando a formação e os processos de transformação e modificação dos assentamentos urbanos.

A cidade, assim como qualquer organismo vivo, está em constante modificação. Panerai (2006) identifica duas principais formas de crescimento urbano: adensamento, que ocorre dentro do tecido urbano existente; e expansão territorial, que envolve a formação de novas áreas urbanas. Isso ocorre tanto pela adição de

novos elementos, como ruas, loteamentos e centros de emprego, quanto pela alteração da estrutura já consolidada, seja na substituição de unidades existentes ou no preenchimento de reservas fundiárias (Panerai, 2006). Em ambas as situações, há mudança na forma urbana. Isso acontece, porque o tamanho das áreas construídas, a distribuição da população e das atividades, bem como a divisão e subdivisão do espaço urbano, podem sofrer modificações durante o processo de crescimento da cidade. Ao mesmo tempo em que muda a lógica das relações configuracionais, afeta sua organização espacial, a interação entre diferentes partes da cidade, a acessibilidade e a dinâmica de centralidade de determinadas áreas.

Estudos associados à Ciência das cidades visam compreender como características urbanas evoluem com o crescimento da população. As medidas urbanas relacionadas às questões socioeconômicas, de infraestrutura e de serviços básicos individuais, como, por exemplo, PIB (produto interno bruto), comprimento total da rede, consumo de água, parecem ser influenciadas por leis universais que surgem das interações elementares locais. As cidades manifestam características notavelmente universais e mensuráveis, que podem evoluir seguindo um conjunto reduzido de princípios básicos, por meio de um conjunto de relações de escala que se aplica a todos os sistemas urbanos. Com base nisso, descobertas recentes indicam a presença de semelhanças entre cidades distintas em termos culturais, históricos, geográficos e econômicos (Bettencourt; West, 2010; Bettencourt, 2013; Meirelles *et al.*, 2020; Ribeiro, 2020).

Dado o exposto, para analisar as propriedades da forma urbana e da sua configuração interna no seu processo de evolução, mostra-se importante contar com metodologias que permitam medir e avaliar essa relação existente. Sendo assim, a abordagem a ser adotada nesse trabalho visa analisar a cidade considerada enquanto entidade socioespacial, dinâmica e relacional, no qual seus componentes e dimensões têm efeitos uns sobre os outros. Busca-se esclarecer os aspectos da evolução urbana no processo de adaptação de novas partes a um sistema de suporte preexistente. Pretende-se investigar a evolução de um sistema urbano no tempo considerando simultaneamente alterações na forma e na configuração.

O foco deste trabalho reside nas propriedades geométricas e configuracionais da forma urbana que cresce. A atenção será direcionada aos mecanismos espaciais

elementares que constituem a urbanização, deixando em segundo plano os fatores históricos, geográficos, sociais e culturais específicos. Serão abordadas as propriedades geométricas (continuidade, fragmentação, compacidade) e relacionadas às propriedades configuracionais (acessibilidade, centralidade), consideradas como atributos que podem ser capturados e mensurados por meio de indicadores capazes de analisar o desempenho da forma urbana e da configuração espacial (Marshall; Gong; Green, 2019).

Conforme Netto e Krafta (2009), os indicadores são métodos sistemáticos para monitorar características espaço-temporais específicas, analisar a evolução do sistema e suas perspectivas futuras. Por meio de avaliações, manipulam dados brutos em informações a fim de permitir a medição e comparação entre sistemas. Dessa forma, os indicadores devem ser capazes de avaliar a cidade como fenômeno dinâmico e relacional, reconhecendo sua natureza sistêmica, na qual componentes e dimensões interagem e se influenciam mutuamente, produzindo um complexo efeito uns sobre os outros.

Os estudos realizados sobre a relação entre as propriedades da forma urbana e sua configuração interna, em sua maioria, concentram-se em um momento temporal específico. Entretanto, poucos trabalhos investigam conjuntamente a forma e a configuração e como essas se transformam em seu processo evolutivo. A partir dessa constatação, mostra-se a existência de uma lacuna no conhecimento.

1.1. QUESTÕES E PRESSUPOSTOS DE PESQUISA

A pesquisa irá trabalhar com o caso empírico específico a cidade de Pelotas, RS. A escolha da cidade de Pelotas para o estudo foi feita com base em uma análise da literatura existente. Diversos autores (Soares, 2002; Britto, 2016; Pinto, 2016) apontam que a forma urbana de Pelotas é caracterizada como dispersa e fragmentada.

A partir da discussão acima acerca da cidade, as questões que se colocam para serem respondidas pela pesquisa são as seguintes:

- À medida que a cidade cresceu, como se alterou a configuração de sua rede espacial e a hierarquia da centralidade?

- Quais relações podem ser identificadas entre a forma da cidade e da sua configuração interna, ao longo desse processo de crescimento?

1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA

Objetivo Geral:

Analisar a relação entre a forma urbana e sua estrutura interna no processo de crescimento a partir de indicadores quantitativos para o caso da cidade de Pelotas/RS.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar períodos significativos no processo da evolução de Pelotas/RS;
- Relacionar os indicadores de forma e configuração, a fim de identificar perfis e padrões no crescimento morfológico de Pelotas.

1.4. JUSTIFICATIVA

A relevância do trabalho proposto está em investigar conjuntamente as relações entre forma urbana e sua configuração interna no processo de evolução, uma relação pouco abordada nos estudos de morfologia urbana. Esse tipo de análise desempenha um papel fundamental na avaliação e monitoramento das condições urbanas, permitindo observar os impactos dos padrões de crescimento urbano na forma construída e na configuração espacial ao considerar a trajetória temporal. Além disso, atua como um sistema de suporte à tomada de decisão, fornecendo informações sobre os desafios e pontos fortes da cidade, bem como apontando tendências futuras. O presente estudo pode contribuir com a produção de conhecimento, abordando um caso específico do crescimento de uma cidade média brasileira. Também pretende contribuir com o planejamento urbano, as políticas públicas e com estratégias urbanas ao identificar a relação entre as propriedades da forma, da configuração sob análise do tempo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O campo da morfologia urbana estuda a forma, a estrutura, a formação e a transformação dos assentamentos urbanos (Lamas, 2014). E ainda compreende os objetos arquitetônicos, o meio urbano e suas relações enquanto um conjunto de

fenômenos que lhe deram origem. Morfologia urbana é o estudo sistemático dessas manifestações para definir e explicar a forma e paisagem urbanas e sua estrutura.

Nesse ambiente, composto pelo arranjo específico e particular dos elementos - formas construídas, parcelas destinadas a edificação e espaços públicos - se desenvolve a cidade. No território, são materializadas as relações socioespaciais com diversos propósitos, como, por exemplo, políticos, econômicos, sociais, antropológicos, etc. A morfologia urbana possui o poder de revelar os aspectos da estrutura social implícita em formas urbanas. Juntamente a isso, a evolução urbana representa um processo de adaptação de novas partes a um sistema de suporte preexistente.

Os itens a seguir apresentam aspectos teóricos e metodológicos sobre Forma Urbana e Crescimento, a Configuração Urbana e o Crescimento e Alometria. Apresenta-se também uma revisão dos principais indicadores utilizados em cada um desses tópicos.

2.1. FORMA URBANA E CRESCIMENTO

Segundo Ojima (2007b), dois fatores devem ser considerados no processo de crescimento urbano: o populacional e o padrão de expansão física das ocupações urbanas. O primeiro representa um desafio em si mesmo quando exerce um importante peso na expansão da infraestrutura urbana. Já o padrão de ocupação pode e deve ser entendido como um fator essencial para que esse crescimento possa se dar com maior ou menor custo social, refletindo impactos sobre as formas de reprodução social e a sustentabilidade ambiental. Ambos os processos conformam um quadro recorrente no padrão de urbanização, demonstrando que as formas urbanas se moldam e são moldadas pelas tensões entre crescimento populacional e expansão urbana (Ojima, 2007b).

Do ponto de vista morfológico, Panerai (2006) identifica os principais modos de crescimento urbano, considerando o crescimento por adensamento e o crescimento por expansão territorial. O crescimento por adensamento se dá através do adensamento do interior do tecido urbano já consolidado, tanto pelo preenchimento das reservas fundiárias, seja à escala do quarteirão ou do lote, quanto por substituição das unidades existentes, conservando-se as propriedades associativas

dos elementos estruturadores do tecido urbano, sem expansão territorial. Já o crescimento por expansão territorial se dá pela formação e agregação de novas parcelas, podendo ser: contínuo, quando se faz pelo prolongamento direto das porções urbanas já construídas; e/ou descontínuo, quando há rupturas, naturais ou agrícolas, entre as partes antigas e as novas extensões, eclodindo o tecido. Nesse trabalho vai ser priorizado o crescimento por expansão territorial.

As transformações dentro da área urbanizada ocorrem em diferentes dimensões espaciais, variando conforme a escala. Essas mudanças podem resultar de ações ou decisões tomadas de forma individual, coletiva ou pelo poder público. A partir da classificação do autor Lamas (2014), a evolução pode ocorrer na escala urbana, relacionada ao suporte geográfico e às estruturas físicas, como por exemplo, grandes estruturas viárias e bairros. Também pode ocorrer na escala do bairro, onde os elementos morfológicos identificáveis constituintes são os lotes, quarteirões, traçados e praças. Ou ainda na escala da rua, que corresponde a uma pequena porção de espaço urbano abrangido por um observador num ponto qualquer da cidade, demonstrando as mudanças das formas construídas (edifícios).

Abramo (2007) afirma que as cidades latino-americanas apresentam uma forma que ele denomina *com-fusa*, marcada por uma estrutura originada de processos simultâneos de compactação e difusão. O mercado imobiliário, tanto o formal quanto o informal, produziria movimentos centrífugos de busca por terras baratas e, simultaneamente, movimentos centrípetos, revalorizando espaços já ocupados e aumentando a densidade. Nesse processo, gera-se um desenvolvimento desigual, que prioriza determinadas áreas da cidade, em detrimento de outras, reforçando a segregação socioespacial.

Na mesma direção, Borsdorf (2003) afirma que as grandes cidades latino-americanas contemporâneas apresentam um modelo estrutural de cidade fragmentada. Neste modelo, a periferia apresenta uma nova caracterização, em que convivem assentamentos precários, condomínios fechados de vários grupos de renda, shopping centers, zonas industriais e outros serviços e equipamentos, acessíveis a partir de uma rede de vias arteriais que conecta essas zonas separadas.

2.1.1. INDICADORES DA FORMA URBANA

Os indicadores de forma urbana procuram medir e caracterizar a conformação da mancha urbana no espaço geográfico, de modo a descrever como é a sua forma. A propriedade geométrica da forma urbana pode ser examinada quanto à relação com o território sobre a qual se assenta. Inúmeros fatores como topografia, ocupação natural, fatores sociais, históricos, sistema viário, entre outros, influenciam a forma geral do sistema espacial e sua dinâmica socioespacial.

2.1.1.1. Indicador de Continuidade

Este indicador procura medir o grau de fragmentação da forma urbana através do exame do seu perímetro, ao comparar o perímetro do assentamento com o do polígono convexo mínimo que o contém. A partir da comparação dos perímetros é possível verificar o grau de reentrâncias do assentamento urbano. A presença de reentrâncias, assim como de vazios internos produzem efeitos, geralmente negativos, na eficiência urbana (Krafta, 2014). Descontinuidades da forma podem resultar em percursos mais longos, afetando o deslocamento entre locais com origem e destinos nas áreas semi-isoladas pela fragmentação. Além de influenciar na vida dos usuários, afeta também na extensão da rede de infraestrutura e serviços públicos. O Indicador de Continuidade é demonstrado na Equação 1, a seguir:

$$I_{cont}(U) = \frac{2p_{conv}}{2p_u} \quad (1)$$

Fonte: Krafta (2014).

Onde: $2p_{conv}$ é o perímetro do polígono convexo; $2p_u$ é o perímetro da área urbanizada.

Esta medida varia entre (0) e (1): o valor 1 representa a situação onde o perímetro urbano coincide com o perímetro do polígono convexo e, portanto, a mancha urbana apresenta a máxima compacidade para aquele polígono que a contém.

2.1.1.2. Indicador de Compacidade

Procura medir o grau de compacidade geral dos assentamentos urbanos mediante o exame de sua forma geométrica. Uma das maneiras mais simples de analisar o indicador é comparar a área do assentamento com a do seu círculo circunscrito (Krafta, 2014). O círculo é a figura geométrica que minimiza a distância dos pontos

extremos, localizados sobre o seu perímetro, com relação ao centro. Com isso, uma cidade de forma circular tende a apresentar uma distância média de viagem mínima, o que se reflete sobre a sua eficiência. A seguinte equação (2) demonstra o Indicador de Compacidade:

$$I_{form}(U) = \frac{A_u}{A_{circ}} \quad (2)$$

Fonte: Krafta (2014).

Onde: A_u é área urbanizada; A_{circ} é a área do círculo circunscrito.

Esta medida varia entre (0) e (1), sendo que o limite superior representa uma cidade perfeitamente circular, coincidindo a sua área de ocupação com a área do círculo no qual está circunscrita.

2.1.1.3. Indicador de Compacidade Urbana

O trabalho desenvolvido por Paim (2015) produziu o Indicador de Compacidade Urbana com o intuito de avaliar a compacidade da forma das cidades levando-se em consideração o efeito dos vazios urbanos. Assim, a medida baseia-se no Índice de Compacidade utilizado em estudos de ecologia e hidrologia. Esse índice compara o perímetro do objeto de interesse com o perímetro de um círculo de mesma área. No entanto, para esse cálculo, a área total da mancha urbana é ajustada: subtrai-se a área dos vazios urbanos internos e adiciona-se o perímetro desses vazios ao perímetro geral da mancha urbana. A Equação 3, abaixo, representa o Indicador de Compacidade Urbana:

$$Mc = 0,282 \frac{(P + \sum Pvu)}{\sqrt{(A - \sum Avu)}} \quad (3)$$

Fonte: Paim (2015).

Onde: P refere-se ao perímetro da cidade; Pvu refere-se ao perímetro dos vazios urbanos; A é a área da cidade e Avu é a área dos vazios urbanos.

Esta medida tem como valor mínimo 1 (quando área e perímetro da mancha urbana e seus vazios coincidem com um círculo) e valores crescentes conforme a diferença entre os valores de perímetro e área da cidade e o círculo vão aumentando.

2.1.1.4. Outros Indicadores de Compacidade

Marshall et. al (2019) reuniu um resumo geral de 31 indicadores de compacidade presentes na literatura. O Quadro 1, abaixo, apresenta a diversidade de combinações dos indicadores com informações relacionadas à área, perímetro, diâmetro ou raio.

Indicador de compacidade ou proxy	Descrição da medida	Nome alternativo	Fonte
Área			
AI/AC	AI é área do círculo inscrito; AC é a área do círculo circunscrito.		(M); (F)
AI/A	AI é área do círculo inscrito; A é a área.		(M); (F)
A/AC	A é a área; AC é a área do círculo circunscrito.		(F)
$A \cap A \cup$	$A \cap$ é a área de intersecção da forma e círculo de mesma área; $A \cup$ é a área de união da forma e círculo de mesma área.		(M); (F)
AO/A	AO é a área de sobreposição; A é a área.	<i>Exchange</i>	(A)
Diâmetro ou raio			
DI/DC	DI é o diâmetro ou eixo mais longo do círculo inscrito ou diâmetro de Feret; DC é o diâmetro ou eixo mais longo do círculo circunscrito ou diâmetro de Feret.		(M); (F)
D_{min}/D_{max}	D_{min} é o diâmetro mínimo; D_{max} é o diâmetro máximo.		(F)
rA/rC	rA é o raio do círculo com a mesma área que a forma; rC é o raio do círculo circunscrito.		(F)
$1 - \left[\sum 100 \frac{r_i}{\sum r_i} - (\frac{(100/n)}{200}) \right]$	n é o número de linhas radiais ou número de caminhos usados no cálculo; r_i é o raio i de n .		(M); (F)

(Continua)

Indicador de compacidade ou proxy	Descrição da medida	Nome alternativo	Fonte
Perímetro			
PA/P	PA é a circunferência de um círculo de área igual; P é o perímetro.		(F)
Indicador de compacidade ou proxy	Descrição da medida	Nome alternativo	Fonte
Área com diâmetro ou raio			
$A/\pi(0,5D)^2$	A é a área; D é o diâmetro ou eixo mais longo.		(M)
$\sqrt{(A/\pi)}/(0,5D) = \sqrt{(4a/\pi)}/D$	A é a área; D é o diâmetro ou eixo mais longo.		(M); (L)
$4A/\pi D^2$	A é a área; D é o diâmetro ou eixo mais longo.	<i>Roundness</i>	(T); (L)
$(2\sqrt{(\pi A)})/r$	A é a área; r é o raio.	<i>Perimeter</i>	(A)
$(2\sqrt{(\pi A)})/Dc$	A é a área; DC é o diâmetro ou eixo mais longo do círculo circunscrito ou diâmetro de Feret.	<i>Range</i>	(A)
$rC/ \sqrt{(A/\pi)}$	rC é o raio do círculo circunscrito; A é a área.	<i>Girth</i>	(A)
Área com Perímetro			
$0,282P/\sqrt{(A)}$	P é o perímetro; A é a área.		(M)
$A/(0,282P)^2$	A é a área; P é o perímetro.		(M); (F)
P^2/A	P é o perímetro; A é a área.	<i>Circularity</i>	(T)
$4\pi A/P^2$	A é a área; P é o perímetro.	<i>Thinness; Circularity</i>	(T); (L)
$P/2\sqrt{(\pi A)}$	P é o perímetro; A é a área.		(B)
$P^{1/F}/\sqrt{(4\pi A)}$	P é o perímetro; F é a dimensão fractal; A é a área.		(B)
$(2\sqrt{(\pi A)})/Ph$	A é a área; Ph é o perímetro do casco convexo.	<i>Detour</i>	(A)
$(\sum_i Pi / pi) / n$	Pi é o perímetro do círculo; pi é o perímetro do caminho; n é o número de linhas radiais ou número de caminhos usados no cálculo.		(S)
(Continua)			

Indicador de compactidade ou proxy	Descrição da medida	Nome alternativo	Fonte
Área com incrementos de distância			
$A/\pi ds$	A é a área; ds é o incremento de distância.	<i>Cohesion</i>	(A)
$(2\sqrt{(A/\pi)})/3d_{cs}$	A é a área; d_{cs} é a distância até o "centro próximo" de uma forma.	<i>Proximity</i>	(A)
$3ds/\sqrt{(A/\pi)}$	ds é o incremento de distância; A é a área.	<i>Depth</i>	(A)
$1 - d_r/r$	d_r é a distância radial média. r é o raio.	<i>Dispersion</i>	(A)
$1,2732\sqrt{(A/\pi ds)}$	A é a área; ds é o incremento de distância.	<i>Traversal</i>	(A)
Área com variação nas coordenadas X e Y			
$A/2\pi(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)$	σ_x^2 e σ_y^2 são a variância das coordenadas X e Y de cada área elemental dA ; A é a área.		(M); (F)
$\sqrt{A/2\pi(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)}$	σ_x^2 e σ_y^2 são a variância das coordenadas X e Y de cada área elemental dA ; A é a área.		(M); (F)

Quadro 1 - Catálogo de 31 indicadores de compactação. Fonte: Marshall et. al. (2019), modificado pela autora. Fonte: (A) Angel et al. (2010); (B) Bárdossy and Schmidt (2002); (F) Flaherty and Crumplin (1992); (L) Lefkaditis and Tsirigotis (2009); (M) MacEachren (1985); (S) Silva et al. (2014); (T) Teknomo et al. (2004) apud (Marshall; Gong; Green, 2019).

2.2. CONFIGURAÇÃO URBANA

A abordagem configuracional é uma área de estudo que se dedica a representar e analisar as cidades com base nas relações presentes em seu espaço. Entende-se enquanto sistemas um ou mais conjuntos de elementos que estão interconectados e estabelecem relações entre si (Echenique, 1975). Nesse tipo de abordagem, a forma urbana costuma ser representada por meio de padrões identificáveis de elementos que se relacionam entre si.

Uma das maneiras de representar as cidades é através de modelos configuracionais, os quais são representações simplificadas da realidade e são geralmente adotados para descrever fenômenos urbanos complexos (Batty, 2007; Portugali, 2000). Ao expressarem as principais características do fenômeno, os modelos configuracionais fornecem um quadro simplificado e inteligível da realidade e permitem a exploração e o teste de hipóteses (Batty, 2010; Echenique, 1975).

Essa abordagem se traduz numa representação quantitativa da realidade urbana, convertendo a malha urbana em grafos, e, assim, simplificando as características das cidades e permitindo que medidas de diferenciação urbana sejam extraídas e analisadas.

Freeman (1977, p. 217–218, nossa tradução) define um grafo como sendo "um conjunto de pontos e um conjunto de linhas ou arestas que conectam pares de pontos". A principal maneira de representar os elementos espaciais urbanos é por meio de vértices (nós) e arestas (linhas), que formam o grafo.

Segundo Batty (2004, p. 1, tradução nossa) "há uma longa tradição de pesquisas que articulam a forma urbana usando princípios da teoria dos grafos". Os estudos dos sistemas configuracionais analisam as relações entre os elementos que fazem parte desse sistema, onde cada um é analisado pelo seu papel no todo. Nessa abordagem o foco está nas interações entre os elementos.

Existem formas distintas de representação da rede espacial. Os três métodos mais utilizados nos estudos configuracionais para a construção de um grafo de rede viária têm sido a representação nodal, a representação por trechos e a representação axial. Na representação nodal, a unidade espacial é o nó posicionado na intersecção viária ou sobre pontos de deflexão em mudanças significativas de linha de visão. Na representação axial, a unidade espacial é a máxima linha de visão. Enquanto, na representação por trechos, tem-se uma porção da via entre intersecções. Cada uma das representações apresenta um nível de detalhe específico, destacando um elemento particular e determinando o foco dos resultados observados.

Esses sistemas descritivos são apresentados na figura abaixo, juntamente com o correspondente grafo que representa o sistema espacial.

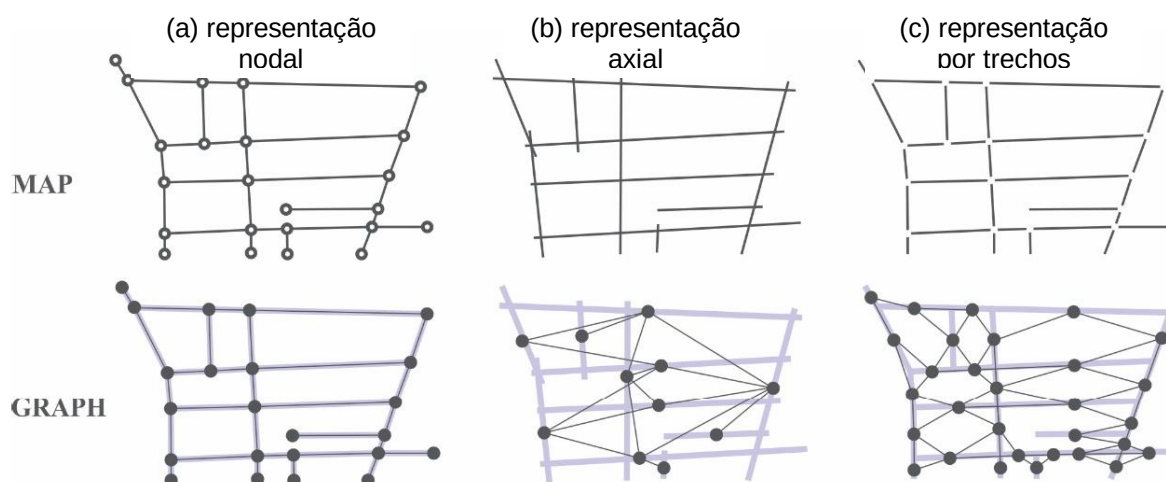


Figura 1 - Sistemas descritivos e grafos correspondentes. Fonte: (Rauber; Krafta, 2018, p. 5).

Neste trabalho, será utilizada a representação nodal, em que o nó é posicionado na interseção viária.

Utilizando rotinas matemáticas, as análises configuracionais utilizam as redes espaciais para representar a forma urbana e partem de quatro premissas iniciais: a) a rede espacial urbana é formada por vértices e arestas, onde os vértices representam as unidades espaciais e as arestas as relações entre eles (Batty, 2004); b) todos os espaços do sistema urbano são alcançáveis (Krafta, 1994); c) os espaços representados pelos vértices possuem relações de adjacência e/ou justaposição (Krafta, 1999); e d) os percursos sempre serão feitos pelo caminho mínimo (menor caminho possível entre um par de vértices não adjacentes) (Krafta, 2014).

Estudos configuracionais vêm explorando o potencial da configuração espacial e do uso do solo em promover o movimento (pessoas, veículos) e, por sua vez, a influência do movimento na evolução dos sistemas urbanos. Tais estudos tratam cidades como redes espaciais e exploram a diferenciação espacial decorrente do padrão espacial das rotas de caminhos (vias). Diversas medidas de centralidade configuracional foram desenvolvidas a fim de capturar as propriedades do sistema espacial e dos seus elementos constituintes.

2.2.1. INDICADORES CONFIGURACIONAIS

Dois procedimentos metodológicos são empregados na abordagem da configuração morfológica dos espaços urbanos, a análise exploratória dos dados na rede, realizada de forma visual, e a análise estatística dos padrões de distribuição das variáveis (Faria, 2010).

Primeiramente, serão apresentados Indicadores Básicos de Rede e Indicadores Básicos de Conectividade que estão inseridos nas análises estatísticas dos padrões de distribuição das variáveis e descrevem a distribuição dos valores, definindo o comportamento global da rede. Posteriormente, serão apresentados os Indicadores de Centralidade, integrado à análise exploratória dos dados na rede, que destacam o comportamento individual de cada componente e, principalmente, o padrão de distribuição espacial das variáveis.

2.2.2. INDICADORES BÁSICOS DE REDE

A representação do espaço aberto por meio de redes permite a análise das relações de espacialidade. Será analisado o comportamento global da rede a partir da análise estatística dos padrões de distribuição das variáveis.

2.2.2.1. Número de Nós e de Arestas

A análise do número de nós (v) e arestas (a) demonstra o tamanho do grafo. A partir dos resultados, é possível comparar o tamanho da rede em diferentes temporalidades para verificar como ocorreu esse crescimento.

Conforme citado por Strano et. al. (2012, p. 2) e aplicado nesse trabalho: o número de nós no tempo t é então $v_t = |v_t|$, enquanto $a_t = |a_t|$ é o número de arestas. Por definição, temos $v_t = v_{t-1} \cup \Delta v_t$ e $a_t = a_{t-1} \cup \Delta a_t$, onde Δv_t and Δa_t são, respectivamente, o conjunto de novos nós e o conjunto de novas arestas adicionados ao sistema na janela de tempo $]t - 1, t]$.

2.2.2.2. Comprimento Total da Rede

O comprimento total da rede também demonstra o tamanho do grafo, mas, neste caso, a extensão total do sistema. Assim, o Comprimento Total da Rede é demonstrado nas Equações 4, abaixo:

$$Ltotal_t = \sum l(a) \quad (4a)$$

$$Ltotal_t = \frac{\langle k \rangle}{2} \sqrt{av} \quad (4b)$$

Fonte: 4a: (Strano et al., 2012); 4b: (Barthelemy et al., 2013). Onde: t é o intervalo de tempo analisado; $\sum l(a)$ é o somatório do comprimento l de todas as arestas; a é a aresta; v é o número de vértices; $\langle k \rangle$ é o grau médio do nó.

2.2.2.3. Distância Média

A distância média indica quão central ou acessível um vértice está em relação à minimização das distâncias em relação a todos os outros vértices do grafo (Faria, 2010). A seguinte equação (5) demonstra a Distância Média:

$$\bar{d}_i = \frac{\sum d_{ij}}{v - 1} \quad (5)$$

Fonte: (Faria, 2010). Onde: v é o número de vértices do grafo; $\sum d_{ij}$ é o somatório das distâncias entre i e j pelo caminho mínimo.

2.2.2.4. Diâmetro da Rede

É definido enquanto a máxima distância que separa dois vértices dentro de uma rede, ou também, é o maior valor de excentricidade dos vértices do grafo (Faria, 2010).

2.2.3. INDICADORES BÁSICOS DE CONECTIVIDADE

O padrão de conexões apresentado pelo vértice e seus vizinhos imediatos é descrito pelas características de conectividade local. Essa conectividade em redes pode ser medida de varias formas. Abaixo são apresentadas algumas possibilidades.

2.2.3.1. Grau Médio do Nó

Definido pelo número de arestas que incidem no vértice, isto é, o número médio de conexões entre os vértices da rede (Faria, 2010). O grau do vértice $\langle k \rangle_t$ pode ser calculado utilizando a Equação 6:

$$\langle k \rangle_t = \frac{2a_t}{v_t} \quad (6)$$

Fonte: (Strano *et al.*, 2012). Onde: a_t é o número de arestas no tempo t ; v_t é o número de vértices no tempo t .

2.2.3.2. Índice de Distributividade

O índice de distributividade é uma medida de redundância na conectividade da rede, baseado no princípio do Número Ciclomático. O Número Ciclomático procura medir o grau de conectividade da rede viária urbana por meio da análise da quantidade de ciclos existentes nessa rede. Ele considera apenas os números absolutos de vértices e arestas. No cálculo índice de distributividade, a quantidade de ciclos é normalizada em relação à quantidade de vértices, permitindo a comparação dos índices em diferentes sistemas ou momentos temporais.

O nível de distributividade representa a quantidade de caminhos possíveis entre duas células quaisquer. Ele reflete a capacidade do sistema urbano em proporcionar alternativas de conexão entre quaisquer pontos dentro dele. Como demonstrado na Equação 7, abaixo:

$$Distr (S) = \frac{(\sum a - \sum v + 1)}{\sum v} \quad (7)$$

Fonte: (Krafta, 2014). Onde: $\sum a$ é o somatório do número de arestas; $\sum v$ é o somatório do número de vértices.

A multiplicidade de caminhos disponíveis entre pontos no interior de um sistema urbano está relacionada com a máxima conectividade. Áreas com alto índice de distributividade apresentam maior permeabilidade no sistema, o que resulta em maior redundância dentro da rede. Isso permite que a rede responda de maneira mais eficiente às mudanças nas circunstâncias (Nel; Bruyns; Higgins, 2018).

2.2.4. INDICADORES BÁSICOS DE CENTRALIDADE

2.2.4.1. Indicador de Centralidade por Proximidade (Acessibilidade)

Acessibilidade é uma medida configuracional de diferenciação espacial, que considera a distância relativa entre os componentes num sistema espacial. Avalia a distância relativa entre os nós numa rede espacial utilizando o caminho mínimo, assumindo que nós mais acessíveis possuem um menor somatório de distância a todos os demais. A noção de acessibilidade está intuitivamente associada à proximidade e à facilidade de alcance. A seguinte equação demonstra o Indicador de Acessibilidade:

$$A_i = \sum_{j=0}^n \frac{1}{d_{ij}} \quad (8)$$

Onde: A_i é a acessibilidade da entidade i ; d_{ij} é a distância entre as entidades i e j ; n é o número de entidades do sistema.

Um valor de acessibilidade mais baixo, seja ponderado ou não ponderado, indica que um local possui uma rede mais densa e melhor conectada em comparação a um valor mais alto (no caso de ser ponderado) dentro de um determinado raio (Nel; Bruyns; Higgins, 2018).

2.2.4.2. Indicador de Centralidade por Intermediação (Freeman-Krafta)

Centralidade por intermediação é uma medida de importância relativa dos nós numa rede espacial. Define-se como central o espaço que mais vezes recai nos caminhos mínimos entre os pares de espaço do sistema (Freeman, 1977). Krafta (1994) propõe uma centralidade por intermediação ponderada pela distância (Centralidade Freeman-Krafta), introduzindo as noções de tensão e dissipação: a tensão reflete a relação entre dois pontos expressa pelo produto de seus conteúdos (atributos); a dissipação refere-se à extensão do caminho mínimo entre cada par de pontos. Assim, a centralidade é afetada pela distância, pois a tensão é dissipada, diminuindo conforme aumenta a distância entre os espaços. A Centralidade Freeman-Krafta (FK) para um nó k é definida a partir de um cálculo em três etapas:

$$\text{Tensão: } t_{ij} = a_i a_j \quad \text{Dissipação: } t_{ij}(k) = \frac{a_i a_j}{d} \quad \text{Centralidade: } FK(k) = \sum_{i,j} t_{ij}(k) \quad (9)$$

Fonte: (Freeman, 1977; Krafta, 1994). Onde: t_{ij} é a tensão entre os nós i e j , a_i e a_j são os atributos respectivamente de i e j , $t_{ij}(k)$ é a parcela da tensão entre i e j atribuída a k , sendo k um nó pertencente ao(s) caminho(s) mínimo(s) entre i e j , d é a distância entre i e j . Finalmente, $FK(k)$ é a centralidade de k após o cômputo de todos os pares possíveis do sistema.

2.3. CRESCIMENTO E ALOMETRIA

Uma abordagem que faz parte da Ciência das cidades (Batty, 2013) tem sido empregada na tentativa de compreender a natureza das cidades. Essa nova ciência consiste em um conjunto de teorias e evidências empíricas voltadas para a explicação e previsão de fenômenos urbanos (Ribeiro, 2020). A utilização de ferramentas teóricas da física e da matemática tem sido explorada para auxiliar a compreensão de regularidades presentes nos processos urbanos.

Conforme Batty (2013), as cidades são sistemas complexos, auto-organizados, constantemente marcados pela emergência de fenômenos, o que as mantém distantes do equilíbrio, alternando entre ordem e caos. Elas possuem uma assinatura formal particular, representada por sua estrutura fractal, o que significa que demonstram uma dinâmica de crescimento auto-semelhante em diferentes escalas, características notavelmente universais e quantificáveis.

Com base nesse conhecimento, estudos têm sido desenvolvidos para prever as propriedades sociais, espaciais e infraestruturais médias das cidades. Foi observado

que todas as cidades podem evoluir, independentemente de sua localização geográfica, cultural, social, política e econômica, seguindo um conjunto reduzido de princípios básicos que operam em nível local (Bettencourt, 2013). Além disso, existe um conjunto de relações de escala que se aplica a todos os sistemas urbanos.

A maioria das propriedades urbanas varia continuamente com o tamanho da população e podem ser definidas por alguns parâmetros-chave. O trabalho desenvolvido por Bettencourt e West (2010) identifica três principais características urbanas que variam de maneira sistemática conforme a população cresce. Primeiramente, a quantidade de espaço necessário por indivíduo diminui devido a um assentamento mais compacto e ao uso mais eficiente de infraestrutura. Em segundo lugar, a velocidade de todas as atividades socioeconômicas aumenta, resultando em uma maior produtividade. E em terceiro lugar, as atividades econômicas e sociais se diversificam e se tornam mais interligadas, o que leva ao surgimento de novas formas de especialização econômica e expressão cultural. A tendência de crescimento dessas características é descrita matematicamente pelas relações de escala da lei de potência. As variáveis socioeconômicas, de infraestrutura e de serviços básicos individuais são exemplos de características urbanas que aumentam de forma similar em todas as escalas de tamanho, ou seja, apresentam comportamentos universais de escala. Isso significa que elas exibem uma dimensão fractal, manifestam invariância de escala e apresentam crescimento livre de escala. (Bettencourt; West, 2010; Bettencourt, 2013; Meirelles *et al.*, 2020; Ribeiro, 2020).

No que diz respeito às relações de crescimento, é possível determinar o tipo ou categoria da variável urbana, sendo classificada sob o regime superlinear, linear ou sublinear. O regime superlinear ocorre quando, ao duplicar o tamanho da cidade, a quantidade per capita da variável tende a aumentar. As variáveis socioeconômicas são classificadas nesse regime como o PIB (produto interno bruto), salários, número de instituições de ensino e pesquisa, número de doenças sócio transmissíveis, entre outras. Em relação ao regime sublinear, encontram-se as variáveis associadas à infraestrutura, o que significa que, quando o tamanho da cidade aumenta, a quantidade per capita dessas quantidades diminui. Isso indica uma economia de escala nessas variáveis, com uma redução do custo médio de produção à medida que a população

crece. Exemplos incluem o número de hospitais, escolas, área urbanizada, extensão total de ruas, comprimento de cabos elétricos, etc. Por fim, as variáveis relacionadas aos serviços básicos individualizados estão sob o regime linear, como consumo de água, número de empregados e números de casas alugadas (Bettencourt; West, 2010; Bettencourt, 2013; Ribeiro, 2020).

Com base na proposição da existência de comportamentos universais de escala de variáveis socioeconômicas, de infraestrutura e de serviços básicos individuais, o estudo realizado por Meirelles et. al. (2020) testou a universalidade das hipóteses de uma lei universal de crescimento urbano em casos no Brasil, um país em estágio de desenvolvimento. Para alcançar esse objetivo, foi explorada a relação de 60 indicadores em 88 municípios brasileiros.

Os indicadores estudados concentraram-se em aspectos específicos do tecido urbano, tais como serviços de saneamento, acesso a serviços básicos, orçamento municipal e equipamentos urbanos. De acordo com os resultados apresentados no trabalho, as variáveis socioeconômicas analisadas seguem uma relação de escala superlinear em relação à população das cidades. Enquanto a maioria das variáveis de infraestrutura e de serviços básicos domiciliares seguem os esperados regimes sublinear e linear, respectivamente.

Porém, nem todas as variáveis de infraestrutura apresentaram escalamento sublinear para o sistema urbano brasileiro, como era o esperado pela literatura. Segundo os autores, isso se deve às decisões ou investimentos políticos *top down* (de cima para baixo), “nos quais os governos podem não ser capazes de prover acesso universal a determinados tipos de infraestrutura” (Meirelles et al., 2020, p. 9). Essa mesma tendência é observada em relação às variáveis de serviços básicos individualizados, que não escalam como proposto pela literatura.

Como mostrado acima, as medidas fractais podem ser utilizadas para a compreensão teórica de processos urbanos, mas, além disso, para calibrar, validar e avaliar modelos desses processos (White; Engelen; Uljee, 2016). Esses autores propõem uma medida fractal, a Dimensão Radial que “descreve a relação entre a área construída de uma cidade e a distância (raio) do centro da cidade” (White; Engelen; Uljee, 2016, p. 89). A medida descreve a taxa com que a área construída

aumenta conforme a distância ao centro da cidade também aumenta. A dimensão radial representa, assim, um gradiente de densidade radial.

Conforme White, Engelen e Uljee (2016), observações empíricas indicam que as cidades possuem uma curva característica para sua dimensão radial, a qual é associada ao conceito de estrutura bifractal: enquanto as áreas próximas ao centro da zona urbana apresentam crescimento mais acelerado da dimensão radial devido à maior intensidade de sua ocupação; em áreas periféricas, ocorre um crescimento mais lento, visto que estas geralmente ainda estão em processo de urbanização e, portanto, possuem mais vazios urbanos. Assim, segundo os referidos autores, esta estrutura bifractal da área urbanizada parece ser quase universal, como a maioria das cidades em todo o mundo apresentam valores de dimensão radial semelhantes.

2.3.1. Taxa de área urbanizada

Denomina-se, neste trabalho, o indicador descrito acima pela Dimensão Radial, como Taxa de área urbanizada. Como a medida analisa a relação da área ocupada pelo objeto urbano à medida que aumenta a distância ao centro, será classificado juntamente aos Indicadores de Forma. A seguir demonstra-se a equação (10):

$$A(\varepsilon) = \varepsilon^D \quad \text{ou} \quad \log A(\varepsilon) = D \log \varepsilon \quad (10)$$

Fonte: (White; Engelen; Uljee, 2016). Onde: $A(\varepsilon)$ é a área do objeto urbano dentro da distância ε do centro e o expoente D é a dimensão radial.

Se $D < 2$, o objeto urbano ocupa progressivamente menos terreno disponível à medida que aumenta a distância do centro. Se, no entanto, $D > 2$, como acontece com alguns usos do solo, como habitações isoladas, o uso do solo ocupa progressivamente mais terreno disponível à medida que a distância do centro aumenta (White; Engelen; Uljee, 2016).

A dimensão radial D é, então, a inclinação do gráfico de $\log A(\varepsilon)$ em relação a $\log \varepsilon$. O próprio gráfico é referido como a ‘análise radial’, sendo que a existência de uma estrutura bifractal pode ser visualizada a partir dessa representação gráfica. A inclinação mais acentuada para menores valores de ε , seguida de um período de transição que leva a uma estabilização do gráfico em uma menor inclinação,

indicando, assim, maior variação da dimensão radial. Isso pode ser visualizado na imagem abaixo, à direita, enquanto à esquerda é mostrada a dimensão radial.

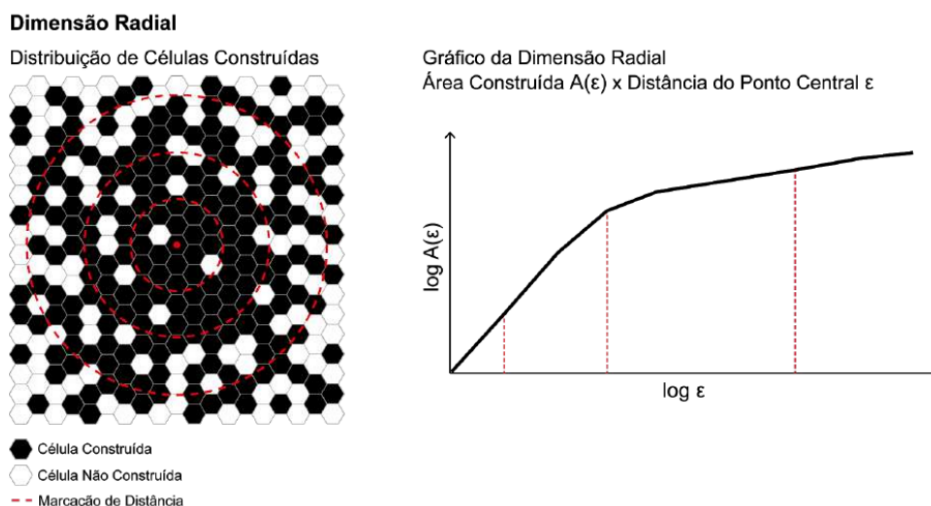


Figura 2 - Dimensão radial de sistema urbano hipotético. À esquerda, mapa de sistema urbano mostrando a distribuição de sua área construída; à direita, gráfico da dimensão fractal representando o aumento da área construída em relação à distância do centro do sistema. Fonte: (Dalcin, 2022, p. 23).

2.4. ESTADO DA ARTE: FORMA URBANA, CONFIGURAÇÃO E CRESCIMENTO

Nesse item são revisados alguns trabalhos que utilizam indicadores para analisar diferentes aspectos da forma urbana e de seu crescimento, incluindo indicadores de forma geral da cidade e também indicadores baseados em modelos configuracionais.

Ojima (2007a) busca compor um índice sintético de dispersão urbana que permita a comparação entre aglomerações urbanas brasileiras. Esse índice considera os indicadores de densidade, fragmentação, orientação e centralidade. A densidade populacional é um dos indicadores mais utilizados para quantificar a dispersão urbana e medir o descompasso entre o crescimento da população urbana e a expansão das áreas urbanas. No entanto, como a densidade urbana nem sempre é um indicador que garante a existência de uma urbanização mais dispersa nas aglomerações, foi empregado o indicador de fragmentação. A fragmentação dos espaços urbanos pode ser entendida como a distância que os espaços urbanizados possuem entre si, o que caracteriza a maior ou menor dispersão de uma região. Já o indicador de orientação de uma expansão verifica se a forma é mais circular ou mais elipsoidal. Na análise da dispersão, considera-se que formas mais circulares tendem

a ser mais compactas, portanto, quanto maior for a diferença entre os eixos, mais dispersa será a aglomeração. Por fim, o indicador de centralidade busca medir o grau de dispersão por meio de movimentos pendulares, a fim de mensurar a integração das aglomerações urbanas. Para compor o índice de dispersão urbana, foi utilizada uma média aritmética dos indicadores de cada dimensão. Além disso, essas dimensões foram aplicadas para 37 aglomerações urbanas do Brasil.

Krafta (2014) sugere um conjunto abrangente de indicadores voltados a analisar vários aspectos da forma urbana: indicadores da forma geral dos assentamentos (continuidade, forma), do espaço público urbano (distributividade, permeabilidade, profundidade, acessibilidade), do tecido urbano (compacidade, continuidade da forma construída) e de desempenho da estrutura primária (identidade, abrangência). Além destes, o autor propõe também indicadores da estrutura espacial urbana, contribuindo para discernir sua ordem e estrutura internas, sendo que tais indicadores são baseados em modelos configuracionais. Modelos configuracionais são baseados em redes espaciais e permitem analisar de maneira sistêmica as características de rede de ruas, tais como a acessibilidade e a centralidade. Tornam-se, portanto recursos importantes na análise da forma urbana.

Paim (2015) faz um estudo da relação entre forma urbana e configuração. Tem como objetivo avaliar o comportamento agregado da medida de acessibilidade e sua relação com a compacidade da forma da cidade e a irregularidade da rede urbana. Aplica a metodologia em uma amostra de 29 cidades médias brasileiras – com população entre 200 e 350 mil habitantes que não pertençam a regiões metropolitanas ou áreas conurbadas. Além disso, propõe procedimentos de correlação estatística para investigar as relações entre as variáveis. O autor verifica uma correlação positiva entre a medida de acessibilidade (média e desvio padrão) com a compacidade da cidade e a irregularidade da rede urbana. O grau de irregularidade de um grafo foi medido por meio da variação do número de conexões que cada vértice do sistema tem com relação à média da rede. O trabalho constata que os melhores índices da medida de acessibilidade são consequências de cidades mais compactas e com uma rede mais irregular (sendo a irregularidade relacionada à hierarquização da estrutura configuracional urbana, em termos de conexões).

Também foi observado no trabalho que os vazios urbanos influenciam diretamente na acessibilidade global do sistema.

Também fazendo a relação da forma urbana e configuração, Gonçalves (2011) observa que a dispersão tem sido mais analisada do ponto de vista das variações nas densidades e na mancha urbanizada, não levando em conta as particularidades internas da forma urbana, como a rede de ruas e a distribuição das atividades, aspectos esses mais relacionados ao desempenho urbano. Nesse sentido, tanto a forma geral da cidade quanto a sua configuração interna são aspectos importantes a serem considerados. A densidade pode se referir tanto à população, domicílios ou área construída. Importante também são as métricas relativas aos padrões da forma urbana propriamente dita (continuidade, nucleação, compacidade, fragmentação, entre outros). Outro aspecto recorrente é a análise da rede de ruas, pois estas influenciam na aproximação ou distanciamento entre os diversos usos do solo, através de métricas de acessibilidade. O trabalho propôs indicador de dispersão urbana baseado em medida de acessibilidade ponderada, que pode ser utilizado para verificar grau de desencontro entre locais de residência e trabalho. Além disso, aplicou a medida de Acessibilidade simples, o Indicador de Acessibilidade Ponderada, entre locais de residência e locais de trabalho, para a cidade de Torres/RS.

De acordo com Sevtsuk (2018), os conceitos de análise de rede têm sido usados no projeto e planejamento de cidades há várias décadas. No entanto, o autor observa que as particularidades do ambiente construído, que não são abrangidas pela análise de rede, têm levado os pesquisadores a personalizar tanto a representação das redes urbanas quanto as métricas aplicadas nelas. Diante desse cenário, o autor faz uma revisão histórica da aplicação de redes e uma análise das métricas aplicadas. Nessa análise, é realizada a distinção entre dois tipos de índices de análise: os índices inter-rede, que capturam as propriedades de um grafo espacial, sendo significativos se comparados a outras redes; e os índices intra-rede, que caracterizam a posição relativa de cada elemento da rede. Os índices inter-redes analisam a conectividade e a redundância da rede, tais como o índice gama, o índice de redundância, o número ciclomático e o número máximo de ciclos. Já os índices intra-redes se aproximam dos indicadores de configuração espacial, por exemplo,

alcance, gravidade, centralidade e acessibilidade. Alguns desses indicadores são demonstrados na metodologia deste trabalho.

O comportamento evolutivo da forma e da configuração urbana de cidades e regiões tem sido investigado, como no caso dos trabalhos de Strano et. al. (2012), Kirkley et. al. (2018), Barthelémy et. al. (2013), Casali e Heinimann (2019), descritos abaixo.

Strano et al. (2012) investigam a evolução da forma e do crescimento da rede viária na região de Groane, na Itália, ao longo de 200 anos na história (1833-2007). Foram analisados os padrões na estrutura da rede viária em sete períodos temporais distintos, empregando análises do comportamento das métricas da rede e das formas dos quarteirões. O estudo identifica que as transformações estruturais ocorridas na área se desenvolvem em ritmos distintos, sendo moldadas pela interação de duas dinâmicas concorrentes, descritas pelos autores como: "(i) 'Densificação', correspondendo a um aumento na densidade local de estradas ao redor dos centros urbanos existentes, e (ii) 'Exploração', em que novas estradas desencadeiam a evolução espacial da frente de urbanização" (STRANO et al., 2012, p. 1). Além disso, foi observada notável estabilidade da estrutura das ruas centrais (*Betweenness Centrality*) ao longo do período, constituindo uma 'espinha dorsal' robusta que permanece estável ao longo do tempo. A evolução do sistema viário pode ser descrita como um processo de expansão contínua das estruturas pré-existentes, sem alterações drásticas em sua configuração interna.

A estabilidade da medida de Centralidade por Intermediação (*Betweenness*) também foi observada no trabalho desenvolvido por Kirkley et. al. (2018). O estudo analisou 97 cidades em todo o mundo e verificou a invariância na distribuição estatística da medida. Conforme o trabalho, essa invariância é uma consequência de um regime bimodal. Além disso, os nós com alta centralidade apresentam correlação espacial em função da densidade de arestas. Essa descoberta foi demonstrada no caso evolutivo de Paris, em uma segunda parte do estudo, onde foram analisados cinco momentos históricos de uma parte do centro da cidade parisiense ao longo de 200 anos (1790-1999). O local passou por alterações a partir de um planejamento centralizado, as chamadas 'transformação Hausmann', que aconteceram em meados do século XIX em um esforço para transformar a cidade. Portanto, a medida não apenas destaca as vias potenciais de fluxo de passagem, mas também indica

que a estrutura viária tende a permanecer estável mesmo após passar por mudanças significativas.

Paris já havia sido estudada por Barthelemy et. al. (2013) em estudos anteriores, que afirmaram a mesma descoberta mencionada no parágrafo anterior. O que o trabalho observa é que as medidas de rede exibem um comportamento suave ao longo do tempo, e somente transformações urbanas em larga escala, como as realizadas por Haussmann, que envolvem a criação de novas vias, avenidas mais largas e praças, resultam em uma reorganização espacial das medidas de centralidade.

Acrescenta-se a análise evolutiva da infraestrutura da rodoviária de Zurique, na Suíça, desenvolvido por Casali e Heinimann (2019). O estudo avaliou, para o período de 1955 a 2012, a capacidade das métricas não espaciais de rede na identificação das mudanças ao longo do tempo e os padrões de distribuição espacial das medidas de Centralidade na captura das mudanças estruturais. A análise não espacial, que caracteriza a estrutura da rede, era composta por métricas básicas de rede, pelo número de arestas e nós, pelo comprimento total e pelo comprimento do diâmetro; e métricas básicas de conectividade, pelo grau médio do nó e métrica Alfa, beta e gama. Na análise espacial foram aplicadas as medidas Centralidade por Intermediação (*Betweenness Centrality*) e a Centralidade por Proximidade (*Closeness Centrality*), ambas normalizadas. Foram desenvolvidos diferentes métodos de ponderação para a medida de Centralidade por Intermediação: primeiro, utilização dos comprimentos das estradas para considerar as distâncias geográficas de caminhos dentro da rede; segundo, a distribuição da população dentro da área urbana. Os resultados demonstram que a utilização das métricas básicas de rede são eficientes para caracterizar o desenvolvimento da rede rodoviária, enquanto as métricas básicas de conectividade quase não detectaram mudanças no tempo. Os resultados de Centralidade por Proximidade mostraram padrões de distribuição espacial semelhantes. E os locais que apresentaram altos resultados para medida de Centralidade por Intermediação se mantiveram constante ao longo dos anos analisados, mas a distribuição dos valores normalizados de 1955 se transformou em uma distribuição de cauda mais pesada em 2012, o que implicou que os nós mais críticos se tornassem ainda mais críticos.

3. METODOLOGIA

A metodologia proposta neste trabalho baseia-se na investigação das propriedades geométricas da forma urbana e da sua configuração interna, visando identificar a relação entre ambas no processo de crescimento e evolução da cidade. Para isso, serão aplicados Indicadores de Forma e Indicadores Configuracionais para diferentes fases da evolução do sistema espacial de Pelotas.

Na sequência, são apresentados os indicadores a serem empregados na pesquisa. Na segunda parte, é apresentado o local escolhido para a realização do estudo empírico. Em seguida, são delineados os critérios utilizados para a definição dos períodos de análise do crescimento urbano. Posteriormente, são detalhadas as definições teórico-metodológicas para a construção do modelo espacial e da mancha urbana em cada uma das temporalidades analisadas. São investigadas as relações entre os indicadores de forma e configuração e a existência de proporcionalidade entre propriedades da forma geral e estrutura interna. Por fim, é apresentado o método de análise comparativa dos resultados das possíveis alterações na distribuição espacial da centralidade à medida que a cidade cresce.

3.1. INDICADORES DE FORMA E CONFIGURAÇÃO

No quadro a seguir, apresenta-se a tabela com os indicadores definidos a serem aplicados para o caso empírico de Pelotas e os objetivos alcançados a partir de sua utilização.

Tipo	Indicadores	Objetivos alcançados
Indicadores de Forma	Indicador de Continuidade	Avaliação das propriedades geométricas da mancha urbana.
	Indicador de Compacidade	
Indicadores Configuracionais	Indicadores básicos de rede	Descrição e caracterização das propriedades estruturais internas à configuração do sistema.
	Indicadores de Centralidade	Análise da estrutura morfológica e configuracional.
Relação entre os Indicadores	Relação entre área da mancha e a rede espacial	Análise da relação entre as propriedades da mancha e da rede urbana.
	Distâncias na rede	
	Centralidade por proximidade (acessibilidade) e a forma da mancha	
	Centralidade por intermediação, área urbanizada e distância ao centro.	

Quadro 2 – Sistematização dos indicadores aplicados. Elaboração: Pela autora (2024).

3.2. ESTUDO EMPÍRICO

O estudo empírico foi realizado na cidade de Pelotas, RS. Localizada ao sul do Rio Grande do Sul, conforme ilustrado na Figura 3, abaixo. O município de Pelotas ocupa a posição de quarta maior do estado, abrigando uma população de 325.685 habitantes, de acordo com o Censo 2022 do IBGE. Pelotas faz parte da mesorregião do Sudeste Riograndense e está distante aproximadamente 250 km da capital oestadual, Porto Alegre. Limita-se com os municípios de São Lourenço do Sul, Turuçu, Arroio do Padre (enclave), Canguçu, Morro Redondo, Capão do Leão e Rio Grande. Além de ser delimitada a sul pelo Canal São Gonçalo e a leste pela Laguna dos Patos.

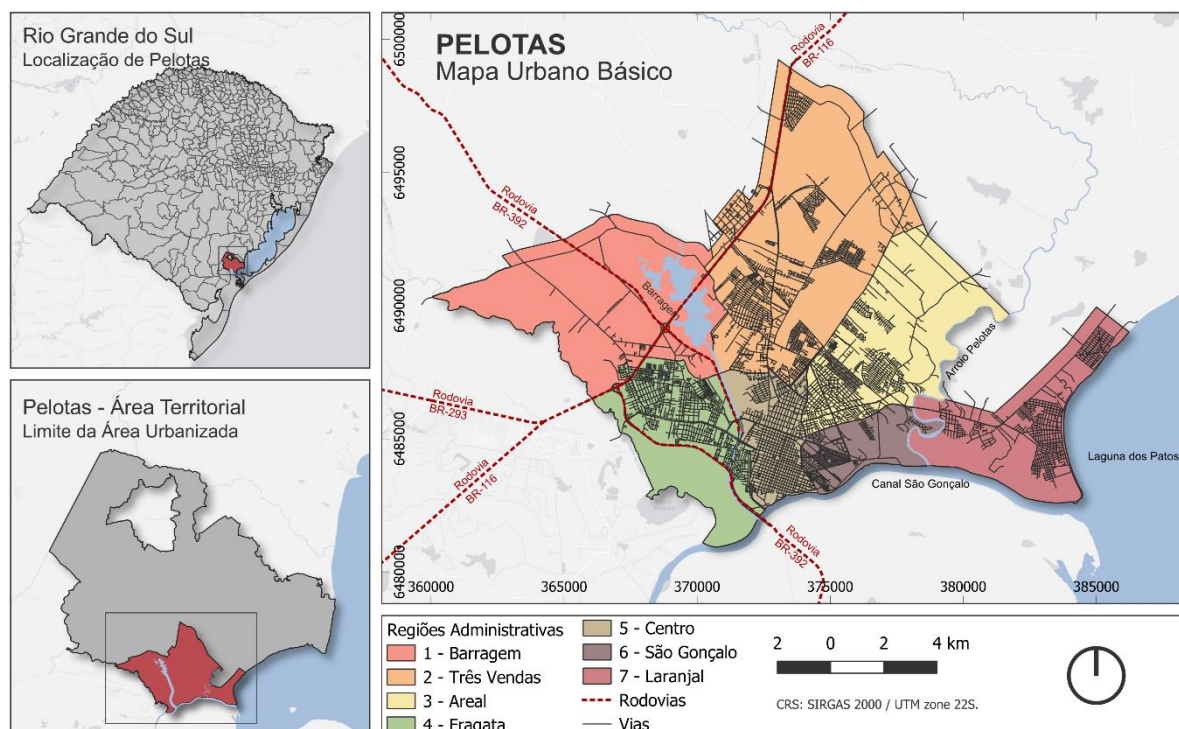


Figura 3 – Localização de Pelotas/RS e suas Regiões Administrativas. Elaboração: Pela autora (2024).

A cidade assume relevância na hierarquia regional, como indicado pela pesquisa Região de Influência das Cidades (REGIC) do IBGE (2020), que a designa como Capital Regional C, característica de centros urbanos com alta concentração de atividades de gestão. Pelotas apresenta área territorial de 1.608,78 km² [2022]. Os indicadores socioeconômicos revelam um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) considerado alto, de 0,739 (IBGE, 2011) e um PIB per capita de R\$ 31.347,60 (IBGE, 2021).

A escolha da cidade para o estudo seguiu critérios específicos. Primeiramente, foi decidido por uma cidade média, conforme definido pelo IBGE, que possui uma população entre 100 e 500 mil habitantes. A seleção da cidade média como base para o estudo empírico deu-se em virtude do tamanho de sua rede espacial, que não é excessivamente grande, tornando-a viável para representar diversos períodos ao longo do tempo. Outro critério era que a cidade selecionada não fosse conurbada e não pertencesse a Regiões Metropolitanas, com o intuito de minimizar influências externas e efeitos de borda. Por fim, era importante que a cidade apresentasse características relevantes para a investigação da forma urbana, tornando-se assim um objeto de estudo da pesquisa.

Em relação à forma urbana, diversos autores caracterizam a cidade de Pelotas como dispersa e fragmentada (Soares, 2002; Pinto, 2016; Sá Britto, 2016). Para melhor compreensão da forma urbana da cidade, foi realizada a análise do processo de crescimento, levando em consideração a relação entre as propriedades da forma urbana e da sua configuração interna no seu processo de evolução. Esse conjunto de informações busca fornecer evidências do quanto as formas de crescimento da cidade influenciaram distribuição espacial da centralidade.

3.3. DEFINIÇÃO DOS PERÍODOS DE ANÁLISE DO CRESCIMENTO URBANO EM PELOTAS

A definição dos períodos relevantes para análise da forma e da configuração da cidade de Pelotas foi baseada nos seguintes critérios: a) revisão bibliográfica de trabalhos sobre crescimento urbano de Pelotas; b) análise da curva de crescimento populacional urbana e rural; c) análise da cartografia histórica disponível.

Primeiramente, foi realizado um estudo bibliográfico em trabalhos significativos como Soares (2002), Polidori (2004), Moura (2006), Peres (2010), Britto (2011) e Ferreto (2021).

Soares (2002) analisa a produção da morfologia urbana pelotense, explorando a dinâmica da produção do espaço, os agentes envolvidos, projetos urbanos desenvolvidos e os ciclos de crescimento da cidade desde a sua fundação em 1812 até o ano 2000. No mesmo sentido, Ferreto (2021) realiza uma análise dos padrões espaciais e das repercussões dos processos de segregação nas estruturas intraurbanas de Pelotas, assim como em outras três cidades médias do Rio Grande do Sul: Caxias do Sul, Passo Fundo e Santa Maria. Britto (2011) explora o processo de industrialização e desindustrialização da cidade, acompanhando as resultantes espaciais da atividade na produção do espaço urbano em Pelotas.

A autora Moura (2006) buscou compreender o desenvolvimento da habitação social e sua relação com a expansão urbana e a configuração de Pelotas desde 1880 até metade do século XX. Analisando a relação entre o ambiente natural e a configuração morfológica. Polidori (2004) propôs um modelo de simulação de crescimento urbano que incorpora fatores urbanos, naturais e institucionais, com o objetivo de fornecer ferramentas que auxiliem na compreensão da dinâmica do

crescimento urbano e suas relações com a paisagem. Seguindo a mesma temática, Peres (2010) também investiga as dinâmicas morfológicas e a interação com a paisagem natural, buscando identificar como questões relacionadas à hidrografia podem influenciar na dinâmica do crescimento urbano.

Os trabalhos selecionados evidenciam como as questões espaciais, demográficas e socioeconômicas impactam o crescimento e a estruturação da morfologia urbana. A análise desses estudos teve como objetivo investigar os fundamentos, ritmos e padrões espaciais, além de, sobretudo, relacioná-los aos processos de estruturação intraurbana.

Junto ao embasamento teórico, foi analisado o crescimento demográfico de Pelotas por meio da elaboração de uma curva de evolução da população urbana e rural (Figura 5). Essa análise populacional buscou identificar períodos significativos de mudança populacional, os quais tendem a se refletir na ocupação do espaço.

Finalmente, foi identificada e selecionada uma cartografia da evolução de Pelotas, que deu suporte à identificação de fases significativas de crescimento físico da cidade, especificada conforme Quadro 3, abaixo.

Período	Mapa	Ano	Fonte
1812 - 1910	Planta cadastral	1909	Arquivo da Prefeitura de Pelotas
1911 - 1967	Levantamento Aerofotogramétrico	1965	Agência da Lagoa Mirim, UFPel, Disponibilizado no Portal de Informações Geográficas da Prefeitura de Pelotas
1968 - 1995	Levantamento Aerofotogramétrico	1995	Portal de Informações Geográficas da Prefeitura de Pelotas
1996 - 2023	Imagem de satélite	2023	Google 30 Apr 2023 13:31 UTC ID: ACQ_PNEO3_02906206901940 RESOLUTION: 0.3 m SENSOR: Pléiades Neo - Airbus

Quadro 3 – Descrição da cartografia utilizada para a definição dos quatro períodos analisados.
Elaboração: Pela autora (2024).

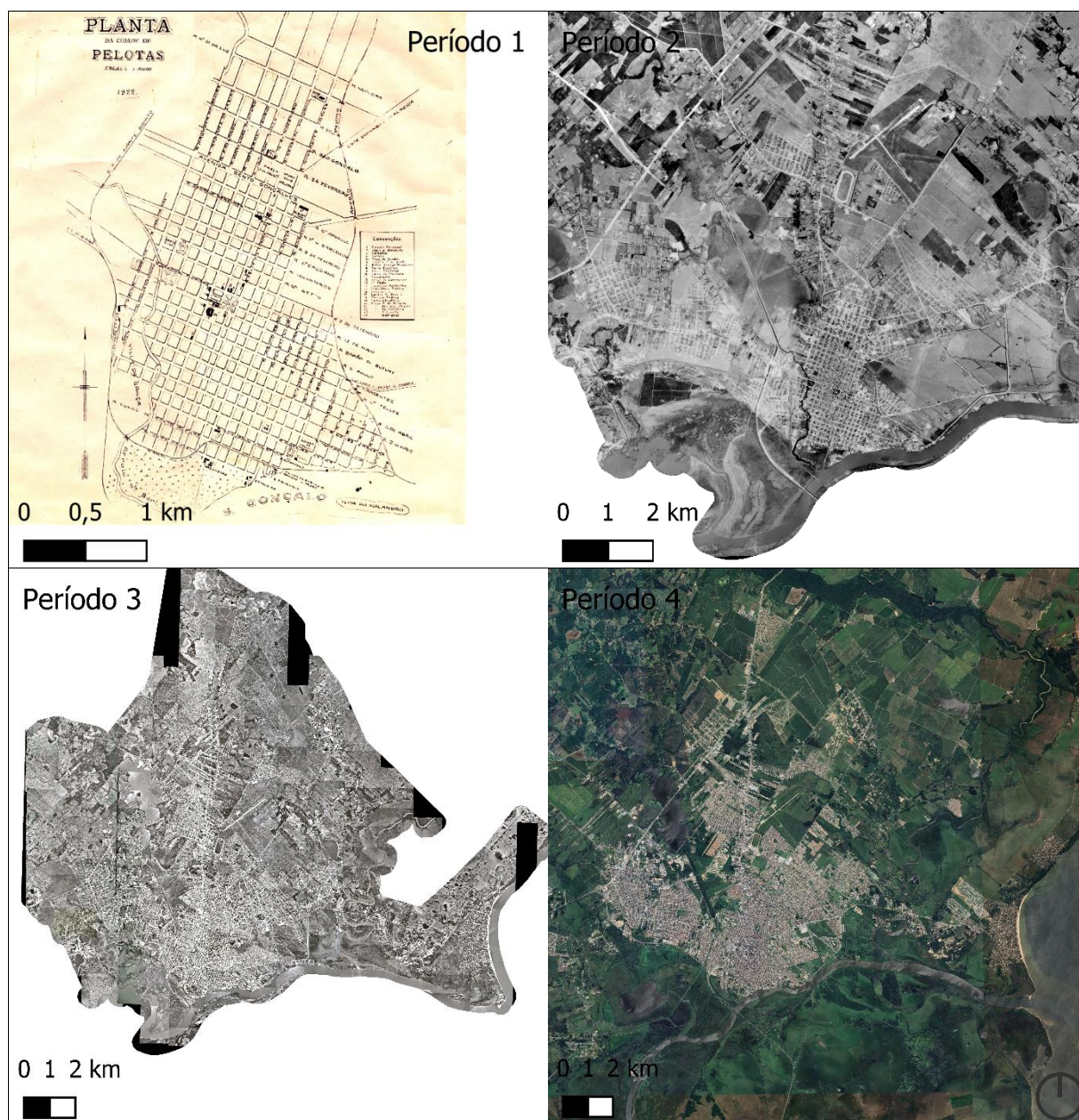


Figura 4 – Cartografia utilizada nos quatro períodos analisados. Fonte das imagens: Quadro 3.

Dessa maneira, ao associar conhecimentos teóricos, demográficos e espaciais, foram definidos quatro períodos de análise do crescimento urbano em Pelotas conforme apresentado a seguir:

Período 1: 1812 – 1910 – Estruturação do núcleo urbano

Período 2: 1911 – 1967 – Expansão linear nos eixos de acesso

Período 3: 1968 – 1995 – Crescimento periférico

Período 4: 1996 – 2023 – Crescimento descontínuo polarizado

Na figura a seguir, é apresentado o gráfico da evolução populacional de Pelotas, dividido por períodos de análise, destacando a relação numérica entre população urbana e rural.

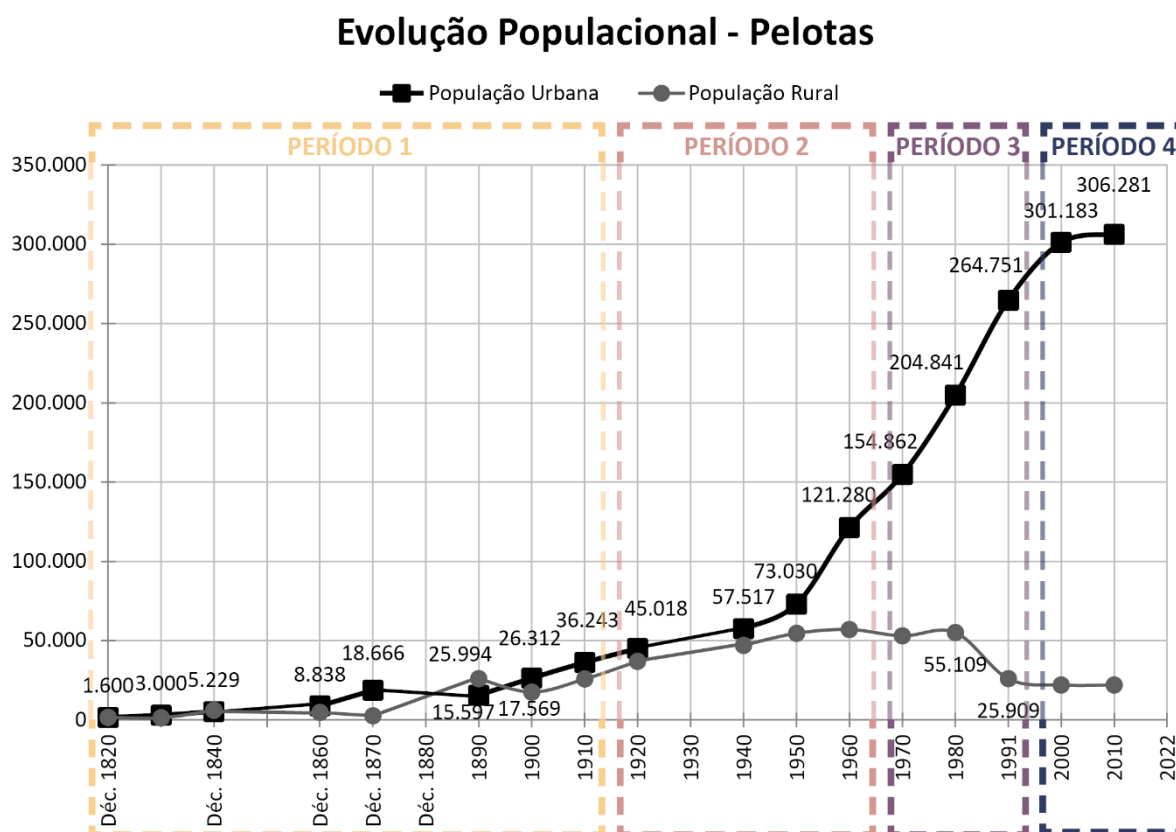


Figura 5 – Evolução Populacional de Pelotas setorizada por períodos de análise. Base de dados: Déc. 1820 até 1900, 1930, 1940 (Vieira, 1997, p. 119 e 127), 1910 e 1920 (Ferretto, 2018, p. 142) e 1950 até 2022 (Censo, IBGE). Elaboração: Pela autora (2024).

O primeiro período inicia-se com a fundação da freguesia, a implantação de seu traçado xadrez e a consolidação da ocupação urbana. O segundo período é marcado pela intensificação da atividade loteadora nos principais eixos de acesso à cidade. O terceiro período inicia em 1968 com a aprovação do primeiro Plano Diretor da cidade. Este período é caracterizado pelo enorme crescimento demográfico e pela implantação de grandes conjuntos habitacionais com localização periférica. O quarto período inicia-se em 1991 com o Censo demográfico mostrando altas taxas de crescimento, que irão estabilizar a partir dos anos 2000. Neste período atual, Pelotas apresenta uma estrutura espacial mais complexa, incluindo processos de descentralização de atividades e de grupos de maior renda.

No capítulo de 4.1 O CRESCIMENTO URBANO DE PELOTAS, apresenta-se uma análise mais detalhada dos processos históricos e socioeconômicos referentes a cada um dos quatro períodos.

3.3.1. ANÁLISE DA FORMA URBANA

Neste trabalho, os indicadores de forma urbana são construídos com base na identificação de uma mancha urbanizada em cada período. Para a delimitação da mancha urbana de Pelotas nos quatro períodos definidos para análise, foram empregadas plantas, aerolevantamentos e imagens de satélite, conforme descrito no Quadro 3. No ambiente SIG, procedeu-se à demarcação do polígono correspondente à mancha urbana sobre áreas urbanizadas, conforme registrado visualmente.

É importante destacar que esse polígono de representação da mancha urbanizada estava obrigatoriamente contido no perímetro urbano legal do respectivo período, conforme indicado no Quadro 4, abaixo:

Período	Fonte para delimitação do perímetro urbano
1812 - 1910	Perímetro urbano de 1910 (Soares, 2002, p. 72)
1911 - 1967	Plano Diretor de 1967 (Pelotas, 1968)
1968 - 1995	Plano Diretor de 1988 (Pelotas, 1980)
1996 - 2023	Plano Diretor de 2018 (Pelotas, 2018).

Quadro 4 – Detalhe das fontes do Perímetro Urbano de Pelotas setorizada nos períodos analisados.
Elaboração: Pela autora (2024).

Para a demarcação da área urbanizada, foram retirados os vazios internos (áreas não ocupadas no interior da mancha) em todos os períodos temporais. Outro critério adotado foi em relação aos loteamentos recém-implantados. Somente foram incluídas em cada período as porções de loteamento com ocupação (construções) em pelo menos 1/3 da extensão da via que lhes dá acesso. Os loteamentos com pouca ocupação (menos de 1/3 da via) foram desconsiderados como mancha urbana.

Além da análise comparativa com imagens, realizou-se a verificação utilizando as manchas urbanas de diferentes momentos temporais, desenvolvidas pela Prefeitura

Municipal de Pelotas e disponibilizadas no Portal de Informações Geográficas da Prefeitura de Pelotas (Pelotas, 2023).

3.3.2. ANÁLISE DA CONFIGURAÇÃO URBANA

O processo de modelagem do crescimento da rede urbana de Pelotas teve como passo inicial a construção das redes espaciais relativas a cada um dos quatro períodos. A representação espacial adotada foi a nodal, em que cada esquina (ou interseção) representa um nó do grafo. Nesse tipo de representação, as distâncias reais são preservadas, com o grafo equivalente idêntico a representação discretizada do sistema. Sua utilização visa facilitar a sistematização de indicadores combinados.

O processo de representação espacial, envolvendo a conversão dos sistemas de espaços abertos públicos de Pelotas em uma rede espacial, foi realizado em um ambiente SIG. Para isso, foi utilizado o banco de dados do *OpenStreetMap* (OSM), uma plataforma de mapeamento colaborativo, a fim de coletar informações sobre a rede viária da área de estudo referente ao ano de 2023. A obtenção foi realizada a partir do plugin QuickOSM no software QGIS (3.32.3), que possibilita o armazenamento do arquivo vetorial em formato shapefile.

As informações baixadas do *OpenStreetMap* foram referentes à categoria *highway*. Os dados disponíveis demonstram o traçado viário conforme sua geometria original, preservando curvas, deflexões e distâncias. Foram incluídas apenas as vias de acesso público, excluindo aquelas com acesso restrito, tais como as internas de condomínios fechados ou instalações industriais, assim como passagens de serviço, passeios, entre outros. A delimitação da representação da estrutura interna viária foi feita com base no recorte das vias internas ao perímetro urbano legal do respectivo período, conforme as informações apresentadas no Quadro 4. Dessa forma, o recorte do perímetro urbano legal também se aplica à representação da estrutura viária interna.

Os segmentos vetoriais foram fragmentados nas intersecções viárias (esquinas) por meio da utilização do comando 'v.clean'. Aquelas vias que foram abertas, mas ainda não apresentam nenhuma urbanização no entorno próximo, tiveram um corte estipulado a partir de 100 metros da rua mais próxima, a fim de demonstrar sua

continuidade no sistema. Com a conclusão do processo e obtenção dos dados, todo o produto passou por revisão comparativa, confrontando a rede com imagens de satélite (fonte conforme quadro abaixo), a fim de assegurar precisão e consistência na representação.

Após o encerramento do processo de construção da rede espacial, iniciou-se a fase subsequente de simplificação e generalização. Essa etapa visa otimizar a representação a fim de simplificar os trechos originais, diminuindo a quantidade de pontos. Para isso, utilizou-se o plugin "Space Syntax Toolkit" (Gil *et al.*, 2023) do QGIS, aplicando o parâmetro de 'mudanças angulares', estabelecido em 10.

A Figura 6 a), abaixo, apresenta a representação por trechos de vias do sistema espacial urbano de Pelotas para o ano de 2023, resultando em 10.315 entidades espaciais. Já a Figura 6 b) representa um recorte do sistema viário antes da simplificação e c) apresenta a representação simplificada dos trechos para o mesmo período, resultando em 9.563 entidades espaciais e reduzindo 752 trechos.



Figura 6 – Representação da simplificação do sistema. a) Rede completa de trechos de vias do sistema espacial urbano de Pelotas, ano 2023. b) Ampliação da rede original. c) Mesma ampliação, detalhe após simplificação. Elaboração: Pela autora (2024).

Com a obtenção da rede viária simplificada, torna-se possível construir a rede nodal. Utilizando a ferramenta 'Extrair vértices específicos' do QGIS e adotando o parâmetro '0, -1', correspondente aos pontos inicial e final da feição, identificam-se os vértices de cada trecho. Contudo, surgem automaticamente vértices sobrepostos

no final de uma linha e no início de outra devido à conexão entre os trechos. Para corrigir esse problema, utilizou-se a ferramenta 'Excluir geometrias duplicadas'. Com esse ajuste, obtém-se a representação nodal da configuração urbana.

Adotou-se a representação espacial da rede urbana sem simplificações do ano de 2023 como referência para a elaboração das redes dos demais períodos de análise. O processo de adaptação do traçado viário para os períodos anteriores envolveu a sobreposição do arquivo vetorial da rede urbana com plantas, aerolevantamentos ou imagens de satélite, conforme detalhado no quadro abaixo. Nesse processo, efetuou-se a exclusão das vias que não estavam presentes nos períodos específicos em análise realizados por meio de revisão comparativa¹.

O mesmo passo a passo foi realizado para todos os períodos, simplificação e generalização com o plugin "Space Syntax Toolkit". Elaboração do mapa nodal a partir de ferramentas 'Extrair vértices específicos' com parâmetros '0, -1' e posterior, uso de 'Excluir geometrias duplicadas'.

Uma vez construído o modelo, ele fornece várias medidas que refletem diferentes propriedades da configuração urbana e elementos de básicos e de conectividade das redes de ruas. O mapa de trechos foi usado para construir a rede nodal e para verificar alguns Indicadores básicos de rede e os Indicadores básicos de conectividade, além de ser um parâmetro para o cálculo dos Indicadores de Centralidade. Enquanto o mapa nodal foi empregado em todos os Indicadores Configuracionais.

Tendo a rede nodal construída foram calculados os Indicadores de Centralidade utilizando-se o software GAUS - Graph Analysis of Urban Systems (Dalcin; Krafta, 2021), que é um plug-in que roda no software QGIS (2023), permitindo que todo o processo fosse feito dentro do ambiente SIG. Como parâmetro de cálculo foi considerado distâncias geométricas (euclidianas) dos percursos, ou seja, a representação dos comprimentos reais (metros) dos trechos viários. Ao manter as distâncias geométricas reais para calcular medidas configuracionais com base nas distâncias de rede, é possível registrar de forma mais precisa as densidades da

¹ Quando surgiam dúvidas no processo de construção da rede urbana dos períodos mais antigos, recorreu-se a outros meios de identificação, como, por exemplo, imagens históricas organizadas no "Almanaque do Bicentenário", obra disponível em três volumes.

forma urbana, as descontinuidades nas redes viárias e barreiras eventuais (Sevtsuk, 2010).

Os indicadores foram analisados em medida global ($R=N$) que leva em conta todos os elementos do sistema, uma vez que é mais representativa, tendo como resultado a estrutura da cidade como um todo.

3.4. PARÂMETROS DE CONTROLE DOS RESULTADOS

Para a análise dos resultados serão produzidos mapas e gráficos para todos indicadores e para cada período temporal. Mais especificamente, os resultados espaciais, Indicadores de Forma e Indicadores de Centralidade serão visualizados por meio de mapas. Enquanto os resultados numéricos, Indicadores básicos de rede e Indicadores básicos de conectividade serão visualizados por meio de gráficos. Será realizada a comparação dos indicadores em cada período, e também, a comparação entre todos os períodos.

Para estabelecer parâmetros de controle do Indicador de Centralidade Freeman-Krafta, os resultados do indicador em cada período da rede urbana de Pelotas serão comparados com a respectiva grelha de controle. Esse procedimento visa identificar mudanças no comportamento geral do sistema real em relação a uma situação hipotética externa a ele. A grelha de controle representa uma situação hipotética de uma malha onde há a mesma quantidade de vértices na vertical e na horizontal, mesmo número de lados, mesmas dimensões e ângulos internos, podendo ser chamada também de grelha perfeita (Faria, 2010). Essa grelha apresenta uma distribuição mais equilibrada dos valores. Trata-se de uma estrutura altamente conectada entre si, alterando-se constantemente do centro para as bordas.

Foram desenvolvidas grelhas de controle para cada um dos quatro períodos analisados de Pelotas, com ordem similar aos encontrados na rede urbana da cidade. A estrutura da grelha perfeita é necessariamente quadrada, com igual número de vértices na horizontal e na vertical. Assim, para manter essa proporção, optou-se por utilizar um número ligeiramente maior de vértices, quando comparado ao caso real. Na construção da malha hipotética, a distância entre vértices foi de 100 metros, distância média encontrada no caso de Pelotas. Essa comparação busca confrontar os valores mais equilibrados apresentados na rede de referência com a

situação real encontrada na cidade. As dimensões das redes da grelha perfeita e de Pelotas, são apresentadas no Quadro 5.

Grelha	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4
Dimensão	22 x 22	42 x 42	71 x 71	80 x 80
Ordem	484	1.764	5.041	6.400
Ordem no caso de Pelotas	461	1.722	5.002	6.318

Quadro 5 – Dimensão e ordem da Grelha de controle e de Pelotas. Elaboração: Pela autora (2024).

Além disso, o resultado Indicador Configuracional de Centralidade por intermediação para das redes de tamanho crescente é apresentado na Figura 7, abaixo.

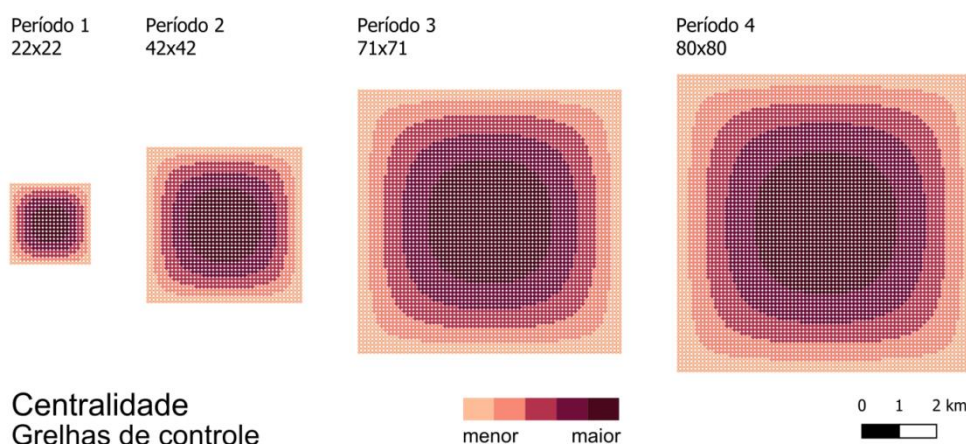


Figura 7 – Resultado da Centralidade por Intermediação para as Grelhas de controle, em cada um dos respectivos períodos. Elaboração: Pela autora (2024).

Para cada período foram comparados individualmente os resultados da Centralidade por intermediação de Pelotas com os resultados da grelha de controle. A primeira comparação da distribuição dos valores será apresentada na sequência, por meio de gráficos e pela análise do gráfico de boxplots.

O gráfico de boxplot é uma representação visual da distribuição de um conjunto de dados. O retângulo, ou caixa (box), representa os valores do primeiro quartil (Q1, 25º percentil) ao terceiro quartil (Q3, 75º percentil), contendo 50% dos dados, separados pela linha que indica a mediana do conjunto (50º percentil). As linhas que se estendem a partir da caixa representam valores mínimos e máximos dentro de 1,5 vezes a amplitude interquartil (Q3-Q1), enquanto valores que excedem esses limites são considerados atípicos e chamados de outliers. Portanto, como as grelhas de controle têm número de elementos ligeiramente maior, foram desconsiderados os menores resultados de centralidade para manter ordem igual na comparação.

A análise comparativa dos resultados espaciais dos indicadores de forma e configuração será realizada por meio de indicadores compostos. Serão identificadas algumas relações: número de ciclos fechados pela área urbanizada, distâncias na rede e variação da centralidade com a distância ao centro. Para este último indicador, será estipulado o ponto central da rede no tempo t_0 e, a partir dele, serão criados círculos com raios métricos que aumentam 1km de distância, de maneira a ocupar toda a mancha e a rede urbana. Conforme a estrutura urbana for expandindo, serão criados 'n' novos círculos, todos concêntricos e equidistantes, conforme a necessidade, para cobrir toda forma da cidade, como ilustrado na Figura 8.

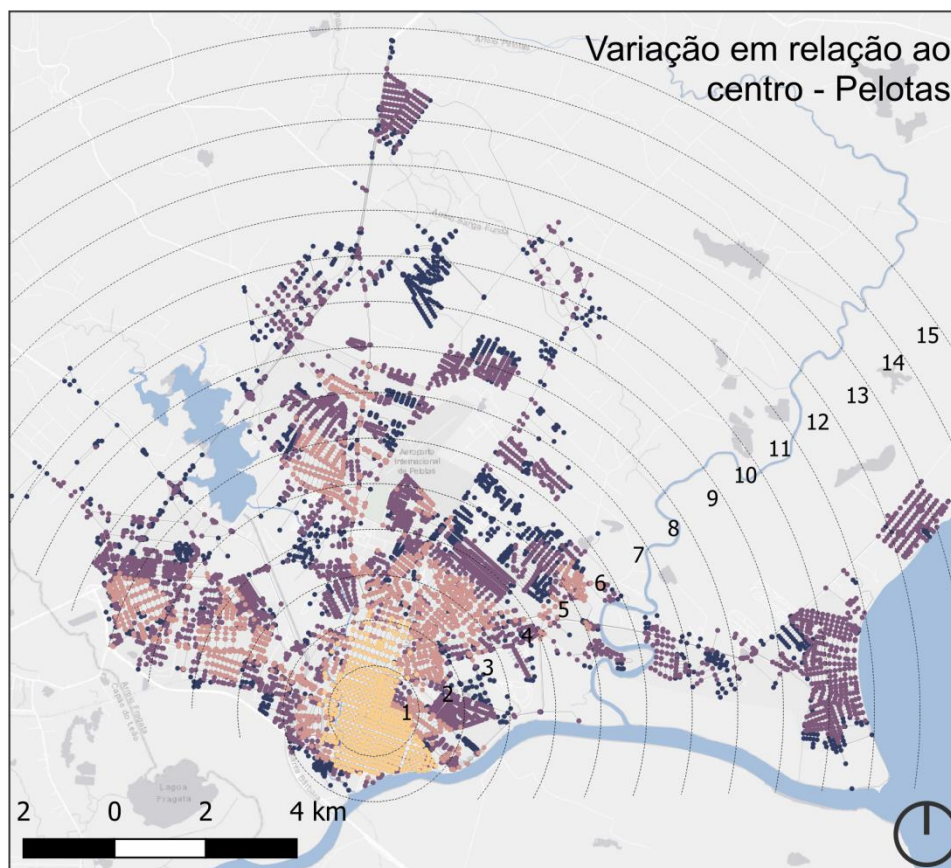


Figura 8 – Ilustração do indicador de variação da centralidade com a distância ao centro. Redes urbanas identificadas por cores com anéis concêntricos equidistantes sobrepondo a estrutura configuracional. Elaboração: Pela autora (2024).

Os novos elementos estarão inseridos dentro desses novos círculos, facilitando o processo de comparação entre os diferentes períodos. Este método facilita a identificação das variações da centralidade no território em cada período temporal.

3.4.1.1. Normalização dos Indicadores de Centralidade

Para a análise comparativa dos indicadores configuracionais, mostra-se necessário realizar a normalização dos resultados. A normalização tem como objetivo eliminar o efeito do tamanho da rede na determinação dos valores das medidas. Nessa pesquisa, a normalização absoluta será utilizada para comparar os valores das medidas configuracionais em diferentes temporalidades, que, conseqüentemente, apresentam redes de diferentes tamanhos. Para isso, a normalização dos valores é feita pelo valor máximo que um vértice pode assumir numa rede de mesma ordem (Faria, 2010). Os valores normalizados variam de 0 a 1, onde 0 corresponde a um vértice desconectado e 1 define o valor máximo da medida para um vértice.

O valor normalizado do Indicador de Acessibilidade é definido como:

$$A'_i = \frac{A_i}{(v - 1)} \quad (11)$$

Fonte: (Crucitti; Latora; Porta, 2006; Porta; Crucitti; Latora, 2006a, 2006b; Faria, 2010). Onde: A_i é o valor integral da medida para o vértice i e v é o número de vértices da rede.

O valor normalizado do Indicador de Centralidade Freeman-Krafta é dado pela razão entre o valor atribuído ao vértice e o valor máximo que um vértice pode assumir numa rede de mesma ordem. É definido como:

$$FK_{max} = \frac{(v - 1)}{2} + \frac{(v^2 - 3v + 2)}{6} \quad FK'_i = \frac{FK_i}{FK_{max}} \quad (12)$$

Fonte: (Faria, 2010). Onde: FK_i é o valor integral da medida para o vértice i ; v é o número de vértices.

4. RESULTADOS

4.1. O CRESCIMENTO URBANO DE PELOTAS

Conforme demonstrado na metodologia e na Figura 9, o crescimento urbano da cidade foi analisado em quatro períodos. A seguir são apresentados os períodos de análise do crescimento urbano em Pelotas.

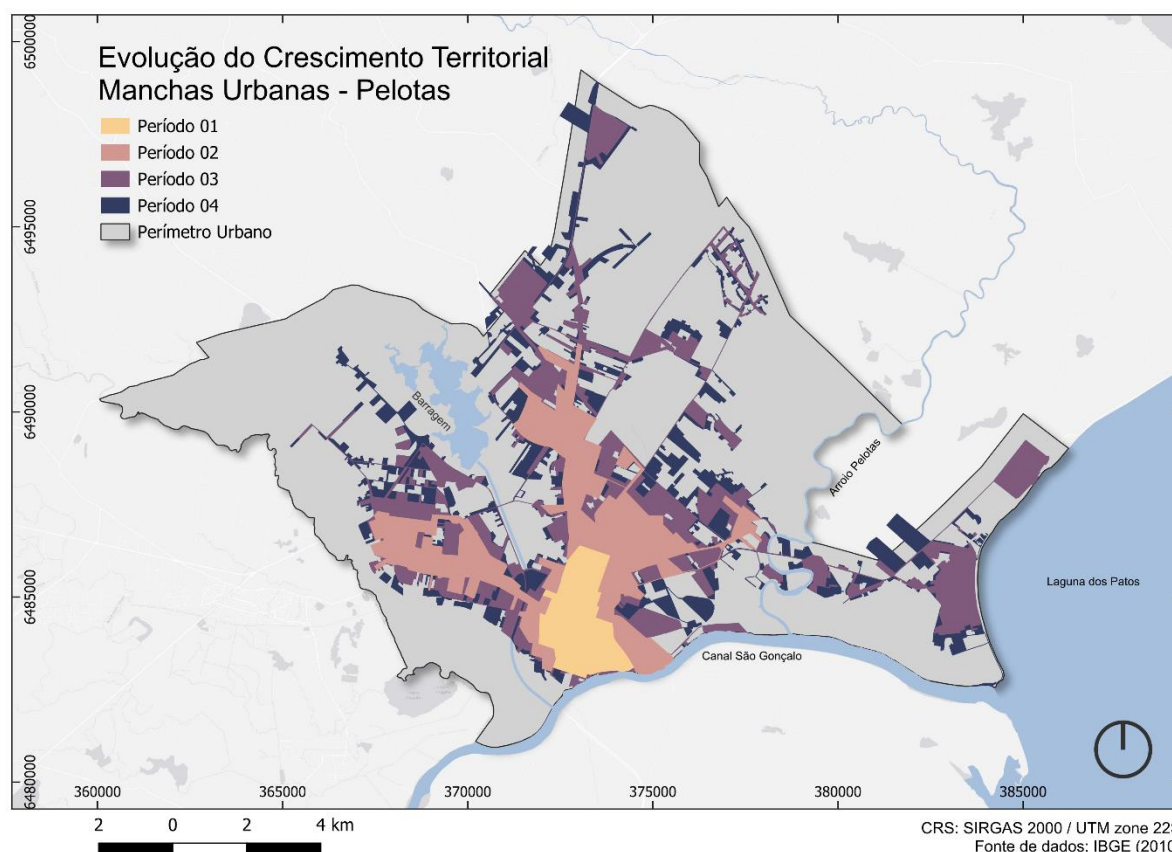


Figura 9 – Evolução do Crescimento Territorial, setorizado nos períodos analisados. Elaboração: Pela autora (2024).

4.1.1. PERÍODO 1 (1812 - 1910): ESTRUTURAÇÃO DO NÚCLEO URBANO

A ocupação inicial do sítio onde hoje é a cidade de Pelotas teve início na década de 1770 (Chiarelli, 2014) e ocorreu na região delimitada pelo Canal São Gonçalo (ao sul), o Arroio Pelotas (a leste) e o Arroio Santa Bárbara (a oeste). A formação da cidade resultou do êxito na produção do charque, que consiste na conservação da carne bovina, salgada e seca ao sol, realizada por mão-de-obra escravizada. Essa atividade econômica era dominante no extremo sul do estado e representou a principal fonte de desenvolvimento do município entre 1780 e 1890 (Vara, 2009). A produção estava estritamente ligada aos fatores naturais que eram essenciais para o desenvolvimento dessa atividade. Isso incluía as vastas planícies, que permitiam a criação de gado, e a proximidade dos cursos d'água, que facilitavam o transporte fluvial para a exportação no porto de Rio Grande e o escoamento dos dejetos. Portanto, a localização estratégica das charqueadas, local de produção do charque, no território da cidade ocorria nas margens dos recursos hídricos (Gutierrez, 2004).

A prosperidade na produção e exportação do produto proporcionou uma acumulação de riquezas à elite de estancieiros. Segundo Soares (2002), essa elite procurava estabelecer-se em um centro urbano de negócios como maneira de exercer seu poder sobre toda a região da Campanha Gaúcha e assegurar maior controle sobre os fatores de produção. Assim, em 1812 foi criada a Freguesia de São Francisco de Paula, nome original da localidade que posteriormente se tornaria a cidade de Pelotas.

Havia a necessidade de encontrar terrenos em melhores condições para a inserção do assentamento urbano, ou seja, uma região plana, distantes das planícies inundáveis, das áreas de várzea e dos terrenos alagadiços próximos aos inúmeros cursos d'água. O desenvolvimento da população deveria estar "o mais próxima possível das charqueadas para manter o controle da produção e, da mesma forma, o mais distante possível das situações desconfortáveis geradas pelo trabalho de produção da carne salgada" (Soares, 2002, p. 32, tradução minha).

O local escolhido para estabelecer o primeiro núcleo urbano foi influenciado pelos condicionantes do ambiente natural e estrategicamente situado no planalto entre o arroio Santa Bárbara a oeste, o canal de São Gonçalo ao sul e o arroio Pelotas a leste (Gutierrez, 2004). Em 1815, o núcleo urbano foi fundado por particulares em terras derivadas das doações de sesmarias. Neste "terreno ligeiramente levantado para que pudesse esgotar e assear as ruas", na "lomba não alagadiça até a caída para o Santa Bárbara", foram traçadas 12 ruas em uma área aproximada de 53 ha (Cruz, 1984). Os arruamentos foram organizados em um traçado xadrez, adotando a forma de quadrículas nos 40 quarteirões criados.

Em 1830, a freguesia foi elevada à condição de vila, representando autonomia política e emancipação de Rio Grande. Durante esse período, ocorreu a primeira ampliação da cidade (1834), por meio da concessão de terras para parcelamento. Essa importante ação para o desenvolvimento da cidade previa o acréscimo de 314,7 hectares ao núcleo urbano, seis vezes mais área que a cidade possuía até então. A expansão era em direção ao Sul, até as margens do Canal São Gonçalo.

Nessa expansão, houve a consolidação da morfologia da cidade, uma vez que se "manteve o mesmo estilo de traçado xadrez, racional, reticulado, heterogêneo (as

quadras não têm todas as mesmas dimensões), com uma predominância da quadricula sobre os retângulos” (Soares, 2002, p. 41). A expansão aconteceu de forma simétrica pelo prolongamento das ruas longitudinais (sentido Norte-Sul), e pela criação de 16 novas ruas no sentido Leste-Oeste. As novas ruas traçadas apresentavam dimensões maiores que as do primeiro loteamento, embora as dimensões das quadras tenham sido mantidas.

Após a primeira expansão, o núcleo urbano totalizou 23 ruas transversais e 12 longitudinais, além de 142 quadras, das quais 40 estavam delimitadas e desocupadas. Dessa maneira, o formato da área urbana tornou-se mais extenso no sentido Norte-Sul, acompanhando o sentido dos arroios Pepino e Santa Bárbara. Logo, estabeleceu-se uma hierarquia viária na qual as vias prolongadas para o Sul (longitudinais) passaram a ser consideradas as principais.

Em 1835, a vila ascendeu à categoria de cidade e adotou definitivamente o nome de Pelotas. A estrutura urbana do período está representada na Figura 10, onde se observa a malha regular xadrez, localizada entre as margens do Arroio Santa Bárbara e Arroio Pelotas, juntamente com as estradas e caminhos preexistentes. O dinamismo econômico, o adensamento da área central e a disponibilidade de terras impulsionaram novas iniciativas para expandir a área urbana. No ano de 1858, foi projetado o Bairro da Luz, representando uma expansão da cidade na direção norte do núcleo original. O bairro acrescentou 35 novos quarteirões à área urbana, totalizando uma extensão de 100 hectares seguindo o padrão de traçado xadrez, mas, nessa situação, as dimensões longitudinais dos quarteirões foram ampliadas para 200 metros, diferentemente dos 110 metros encontrados nos primeiro e segundo loteamentos.

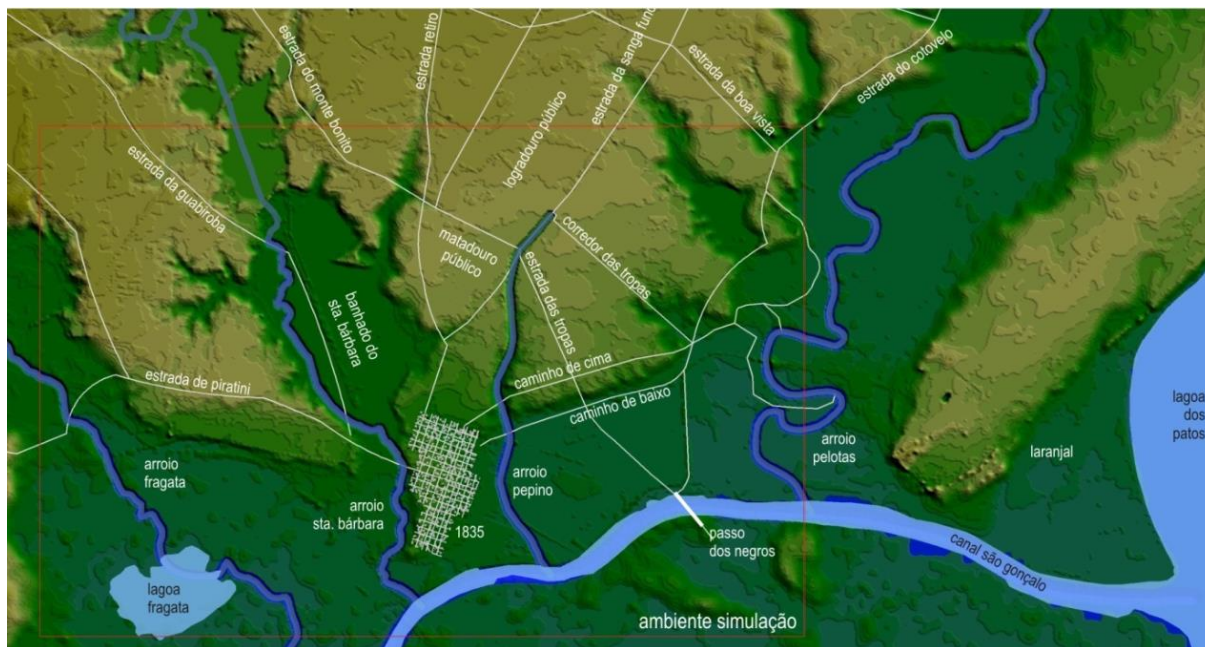


Figura 10 - Estrutura da paisagem da cidade de Pelotas no ano de 1835; destacando área urbana; estradas, percursos e caminhos; topografia formada por terraços e áreas baixas; recursos hídricos.
Fonte: (Peres, 2010, p. 66)

A etapa sucessiva de expansão ocupou as terras baixas, úmidas e suscetíveis a inundações, ao sudeste, com a formação do bairro Várzea em 1870. O loteamento, composto por sessenta quarteirões, atendia a população de renda mais baixa devido à sua proximidade ao porto da cidade, nas margens do Canal São Gonçalo.

Entre as décadas de 1860 e 1890, foram realizados inúmeros melhoramentos urbanos com o objetivo de corrigir o sítio urbano e modelar a forma urbana. O desenvolvimento industrial possibilitou a implementação de infraestruturas básicas, como sistema de abastecimento de água e de coleta de esgoto, provisão de iluminação pública e particular, bem como melhorias no transporte público e nas comunicações (Vieira, 1997; Soares, 2002; Moura, 2006).

Na segunda metade do século XIX, as transformações urbanas buscavam expressar “a personalidade urbana” da cidade por meio da construção de edifícios monumentais, que visavam transmitir a importância política, econômica e intelectual da elite pelotense. Esses elementos, que conferiram valor simbólico ao centro, foram projetados por técnicos estrangeiros, seguindo os padrões europeus da arquitetura eclética. Este momento, caracterizado pelo auge do desenvolvimento saladeril e pela opulência evidenciada na arquitetura de edifícios, tanto públicos quanto privados, é denominado pelo autor Magalhães (1993) de ‘*Belle Époque* pelotense’. Segundo o

autor, esse foi um período de notável maior progresso social e científico, explicado pela “convergência de boas condições urbanas e econômicas” (Magalhães, 1993, p. 11).

No que diz respeito aos índices populacionais, é possível observar aumentos significativos durante esse período. Conforme observações de Magalhães (1993), ao analisar os números para o ano de 1880, Pelotas teria uma população praticamente equivalente à de Porto Alegre e São Paulo, embora fosse cerca de dez vezes menor que a do Rio de Janeiro na mesma época. Essa comparação destaca a notável expansão demográfica que a cidade experimentou durante esse período. Conforme explicita o levantamento do Plano Diretor de Pelotas de 1967, “Em 1900 já contava Pelotas com uma população [urbana] de 26.312 habitantes, apresentando, pois, no período 1865-1900, uma taxa de crescimento anual de 2,8%. Em 1910, sua população [urbana] era de 36.243 habitantes com uma taxa de crescimento anual de 3,25%, inusitada para a época e justificada pelo historiador Fernando Osório pela imigração estrangeira provocada por conflitos no Prata” (Pelotas, 1968, p. 68).

4.1.2. PERÍODO 2 (1911 – 1967): EXPANSÃO LINEAR NOS EIXOS DE ACESSO

O cenário econômico da cidade de Pelotas demonstrou mudanças após o declínio da indústria saladeril, devido a consequências da Revolução Federalista (1893) na escala regional, que quase inviabilizou o comércio do gado; e também, devido ao surgimento dos frigoríficos, na escala nacional (Magalhães, 1993).

Concomitantemente à crise e decadência do ciclo charqueador, inicia-se o processo de industrialização de Pelotas entre o final do século XIX e início do XX. Nesse período, as fábricas apresentavam um caráter diversificado, abrangendo a industrialização de produtos derivados da pecuária e a produção de bens de consumo não duráveis, além de se especializarem nos ramos moveleiro, têxtil e alimentício. Eram indústrias de pequeno e médio porte, com mão de obra livre e assalariada, direcionadas para o mercado consumidor interno, mais especificamente da região da Campanha Gaúcha (Britto, 2016; Ferretto, 2018). Porém, conforme Magalhães (1993, p. 91), “as atividades econômicas que nos anos seguintes a substituiriam [produção de charque], em nível local, não tiveram força suficiente para

sustentar, com a mesma intensidade e o mesmo ímpeto, iguais padrões de prosperidade”.

O processo de industrialização impulsionou a imigração do campo e das cidades vizinhas para Pelotas, o que estimulou o crescimento demográfico (187,5% entre as décadas de 1910 a 1960, com a população urbana passando de 36.243 para 121.280 habitantes). Nesse período, a organização social da cidade passou a abrigar uma diversidade de grupos, incluindo escravos libertos, imigrantes (comerciantes) e trabalhadores da indústria (Carrasco, 2017). Esse aumento no contingente populacional gerou demandas por moradia e infraestrutura, resultando em uma expansão territorial e ampliação expressiva do perímetro urbano da cidade em 1910.

Com disponibilidade de áreas urbanas, deu-se início à incorporação de novos loteamentos privados ao tecido urbano da cidade. Nesse contexto, agentes urbanos individuais (investidores, industriários ou prefeitura) realizaram operações de parcelamento de pequenas glebas e venda de lotes desmembrados (Moura, 2006). Essas novas urbanizações eram de pequena escala, localizando-se em áreas periféricas e de maneira fragmentada em relação ao centro da cidade. Fato que promoveu o crescimento físico da cidade e a disseminação de vilas e bairros populares dispersos do núcleo urbano original (Soares, 2002; Britto, 2016; Ferretto, 2018). A descontinuidade entre o núcleo urbanizado e essas áreas suburbanas contribuiu para a formação vetores de crescimento linear ao longo dos eixos viários (Peres, Otavio Martins; Polidori, 2011).

A primeira incorporação de núcleos suburbanos teve início em 1914 com a inserção do loteamento Augusto Simões Lopes no bairro Fragata, a oeste, devido à acessibilidade proporcionada pela linha de bonde. Posteriormente, a partir da década de 1920, o crescimento estendeu-se tanto para o norte, no bairro Três Vendas, quanto na direção leste, no bairro Areal. A expansão ao norte foi estimulada por equipamentos urbanos, como o Jockey Club (1930), a sede da Sociedade Agrícola (1930), o Aeródromo (1933), além do anúncio da construção de um parque municipal (1932) (Ferretto, 2018; Moura, 2006; Soares, 2002).

Os novos parcelamentos não seguiam o padrão regular do traçado xadrez do núcleo original e ocupavam regiões periféricas situadas fora da área atendida pela infraestrutura básica e pelo saneamento. Os vazios urbanos entre o centro e a periferia incentivaram a especulação imobiliária, à medida que os bairros populares se tornavam mais densos. Como exemplo dessas promoções em áreas de extrema periferia, próximas ao limite do perímetro urbano, destacam-se a Vila Santa Therezinha (1929 - Três Vendas), Jardim Europa e Vila Bom Jesus (1930-31 - Areal), e Vila Gotuzzo (1947 - Fragata) (Soares, 2002; Carrasco, 2017; Ferretto, 2018).

Segundo Soares (2002), entre os anos de 1922 e 1938, foram incorporados pelo menos 18 novos loteamentos periféricos e suburbanos, disponibilizando cerca de 3.170 lotes para a venda. Peres e Polidori (2011) justificam que o critério usado para a inserção dos novos loteamentos foi o mesmo usado na escolha do local para o núcleo original: a busca por áreas elevadas e distantes dos cursos d'água.

Com a acessibilidade proporcionada pela construção de rodovias nacionais a partir dos anos 1940, a cidade se consolidou como um centro regional e comercial (Soares, 2002). O desenvolvimento econômico atraiu, mais uma vez, a população para a cidade, demonstrando acelerado crescimento demográfico. A população urbana aumentou de 57.517 habitantes em 1940 para 73.030, em 1950, representando um acréscimo aproximado de 30%. O crescimento foi ainda mais expressivo no ano de 1960, quando a população urbana atingiu 121.280 habitantes, registrando um acréscimo de quase 70% em relação à década anterior.

O crescimento expressivo da urbanização foi no eixo norte (Três Vendas), assim como a expansão contínua nos bairros Fragata, a oeste, e Areal, a nordeste (Ferretto, 2018). Entre os anos de 1950 e 1966, foi registrada a promoção de 82 novos loteamentos, que inseriram mais de 15 mil terrenos no mercado urbano pelotense. A expansão urbana demandou a ampliação da área urbanizada, resultando em modificações sucessivas no perímetro urbano oficial. Em 1951, esse abrangia 2.844 hectares, e até 1966, essa extensão foi aumentada para 3.300 hectares (Soares, 2002).

No entanto, conforme Soares (2002), o desenvolvimento urbano não acompanhou a velocidade da progressão populacional, ocasionando problemas como a concentração de pessoas e a necessidade de adaptação da forma urbana. A cidade recebeu as primeiras iniciativas de Planejamento Urbano, que consistiam em regulamentações urbanísticas fundamentadas em princípios higienistas-sanitaristas. Os principais exemplos do período foram os Planos de Ordenamentos Territoriais, que incluíam normas de crescimento, zoneamento e bom funcionamento da cidade. A gestão municipal tentou coordenar os diferentes agentes da produção espacial por meio do Plano Geral de 1922 (Plano Rullmann) e do Plano de Expansão de Saturnino de Brito (1926-7). Nem todas as diretrizes dos planos foram aplicadas, mas representaram uma iniciativa de racionalização, planejamento e controle do espaço urbano (Soares, 2002).

Além do Plano de Expansão, o escritório do engenheiro Saturnino de Brito desenvolveu o Segundo Plano de Saneamento da cidade, em 1947. O plano previa uma estratégia de saneamento para a cidade, expandindo os sistemas de abastecimento de água para os novos bairros e prolongando a coleta de esgoto para a região norte. Em relação ao manejo das águas pluviais, foram realizadas obras de canalização do arroio Pepino e a transposição do arroio Santa Bárbara (1965). Este, posteriormente, teve suas águas represadas na Barragem Santa Bárbara em 1968. Essa iniciativa visava prevenir enchentes na área urbana de Pelotas e proporcionar reserva para o abastecimento público de água potável (Soares, 2002; Peres, 2010).

Além da construção da Barragem, outra obra de infraestrutura importante foi a criação do Aeroporto Internacional de Pelotas, em 1935. Antes disso, desde 1928, Pelotas estava incluída na rota de voo, mas apenas em 1935 uma pequena estação de passageiros foi construída. A partir de 1980, o aeroporto passou à jurisdição da Infraero. Localizado a cerca de 7 km do centro da cidade, quando foi implantado, a área ao redor do aeroporto não possuía urbanização, com poucas edificações ao longo do eixo norte. No entanto, com o crescimento urbano, a zona de proteção ao redor do aeroporto tornou-se um limitador para a expansão urbana.

Conforme destacado por Soares (2002), o plano de saneamento influenciava a valorização de determinadas áreas urbanas. Locais designados como prioritários para receber infraestrutura urbana, como pavimentação viária e redes de água e

esgoto, eram alvos de empreendedores imobiliários. Estes planejavam estrategicamente a criação de novos loteamentos nessas áreas valorizadas. Dessa forma, a valorização da cidade direcionava o crescimento para os lugares beneficiados pela presença de infraestrutura.

No período que se prolonga até 1966, segundo Soares (2002), o crescimento urbano seguiu três padrões: inserção de loteamentos na extensão da rede de esgoto, orientado pelo Plano de Saneamento de 1947, que estendeu a infraestrutura de esgoto para a periferia; grandes loteamentos no limite do perímetro legal; extensão das parcelas realizadas no período anterior. O padrão estrutural dos loteamentos criou uma discrepância em relação ao modelo desenvolvido no período anterior no núcleo original, evidenciando a disparidade entre o centro, com padrão morfológico formal e regulado, e a periferia, caracterizada por um padrão informal e desregulado.

4.1.3. PERÍODO 3 (1968 – 1995): CRESCIMENTO PERIFÉRICO

O marco inicial do período é caracterizado pela produção do Plano Diretor de Pelotas, de 1967. Esta foi a primeira tentativa global de controlar e organizar a produção urbana da cidade. O plano apresentava uma distribuição de funções, hierarquização espacial e incentivava a verticalização, uma prática incentivada desde a segunda metade da década de 1950 (Pelotas, 1968; Soares, 2002).

O período em análise é marcado, no contexto nacional, por mudanças políticas, sociais e econômicas, pelo desenvolvimentismo a partir da década de 1950, pela presença do regime militar (1964-1985) e pela ocorrência do milagre econômico com investimentos na industrialização do país, juntamente com notáveis obras de infraestrutura (Soares, 2002; Chiarelli, 2014; Ferretto, 2018).

Na década de 1960, a cidade contava com 121.280 habitantes na zona urbana. Ao longo do período, observou-se um expressivo crescimento populacional, alcançando 264.751 habitantes urbanos, conforme registrado no censo de 1991. Esse aumento representou uma elevação de aproximadamente 120% entre a década de 60 e de 90 do século XX.

As políticas federais de investimentos na produção do ambiente construído, em obras de infraestrutura e na produção de moradia assumem um papel central,

evidenciado pela criação do Sistema Financeiro de Habitação (SFH) e do Banco Nacional de Habitação (BNH) em 1964. Essas políticas estatais estabeleceram uma fonte constante de financiamento imobiliário a partir de recursos da caderneta de poupança e do Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS) (Soares, 2002; Chiarelli, 2014; Britto, 2016; Ferretto, 2018). Com o objetivo de “coordenar a política habitacional dos órgãos públicos em âmbito nacional e estimular a construção de moradias populares, através de subsídios captados na iniciativa privada” (Chiarelli, 2014, p. 67), essas políticas impulsionam a economia nacional por meio do setor da construção civil.

Assim, com a criação das Companhias de Habitação (COHABs) nos Estados e Municípios, inaugura-se a era da produção massiva de moradias em Pelotas. Os grandes conjuntos habitacionais voltados para população de média e baixa renda localizavam-se na periferia da cidade, caracterizando o espraiamento da mancha urbana. A concentração de um grande número de unidades habitacionais em lotes menores e distantes da área central é fundamental para maximizar a rentabilidade na promoção imobiliária capitalista (Soares, 2002; Britto, 2016).

Um levantamento realizado por Chiarelli (2014) analisa a distância dos 46 conjuntos habitacionais construídos no período BNH. Ao considerar a distância de cada conjunto em relação a um ponto central, estabelecido na Praça Coronel Pedro Osório, constatou-se que a média de distância entre todos os conjuntos foi de 3,1 km. No entanto, é importante ressaltar situações extremas, como a Cohab Lindóia, que se encontra a 7,3 km de distância, e a Cohab Pestano, localizada a 9,5 km do núcleo central. Esses dados evidenciam os problemas de inserção urbana no Período BNH, uma vez que os conjuntos habitacionais se encontravam distantes das áreas comerciais e de serviços, o que dificultava o acesso da população a esses recursos essenciais.

O auge de lançamentos de empreendimentos da construção civil ocorreu entre 1978 e 1982 (Soares, 2002). Após esse período, em 1986, as políticas do SFH e do BNH foram extintas, diminuindo consideravelmente a promoção de habitação social. Assim, o foco dos promotores imobiliários foi direcionado para os edifícios de alto padrão.

Em 1980, foi promovida a elaboração do II Plano Diretor do município. Neste Plano, houve a ampliação do perímetro urbano até a orla da Laguna dos Patos, no Laranjal (leste) e inserção dos Balneários Santo Antônio (1948 e 1952), dos Prazeres (1953) e Valverde (1959) na área urbanizada. Além disso, novos parcelamentos surgiram ao longo da Avenida Adolfo Fetter, estrada do Laranjal, com destaque aos loteamentos Recanto de Portugal (1981), Marina Ilha Verde (1981), Las Acácias (1982) e Chácara da Baronesa (1985), todos destinados às classes média e alta. Em contraponto aos empreendimentos de elevado padrão, o espaço urbano da cidade convivia com assentamentos informais, resultantes de ocupações de terra (Soares, 2002).

4.1.4. PERÍODO 4 (1996 – 2023): CRESCIMENTO DESCONTÍNUO POLARIZADO

A década de 1990 ainda demonstrou altas taxas de crescimento populacional em Pelotas (13,8% entre 1991-2000). No entanto, a partir dos anos 2000, a cidade apresentou uma tendência à estabilidade nesse aspecto, com um crescimento de apenas 1,7% entre 2000 e 2010. Os processos migratórios observados em períodos anteriores já não ocorrem, e a população urbana estabilizou em torno de 325.000 habitantes.

Outros motivos influenciaram o desenvolvimento da cidade de Pelotas no período analisado, como por exemplo, o impacto regional da implantação do Polo Naval em Rio Grande (desde 2010, passando pelo ápice em 2014 e declínio entre 2015 e 2016). O crescimento na oferta de vagas e cursos oferecidos pela Universidade Federal de Pelotas (UFPeI) impulsionou a atração de estudantes de outras regiões do país para a cidade (Britto, 2016).

O panorama nacional era de consolidação da democracia após o regime militar, crescimento econômico na década de 2000 e, na sequência, crise econômica mundial a partir de 2008. A aprovação do Estatuto da Cidade, em 2001, e a criação do Ministério das Cidades, em 2003, retoma o investimento estatal em políticas urbanas nacionais. O Programa de Arrendamento Residencial (PAR - 2001), o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC 1 e 2 - 2007) e o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV - 2009) repercutiram no espaço urbano da cidade de Pelotas e dinamizaram o setor da construção civil (Ferretto, 2018).

Conforme Chiarelli, o Programa de Arrendamento Residencial “teve como objetivo propiciar moradia à população de baixa renda concentrada nos grandes centros urbanos e, também, reduzir o déficit em relação aos domicílios de coabitação familiar e com ônus excessivo de aluguel” (Chiarelli, 2014, p. 149). Os critérios do programa estipulavam que os empreendimentos deveriam estar inseridos na malha urbana, dotados de infraestrutura básica e localizados em áreas acessíveis a centros de emprego e renda. Os conjuntos foram distribuídos em 5 regiões administrativas de Pelotas (Porto, Centro, Fragata, Areal e Três Vendas). Com base na pesquisa conduzida pela autora citada, constatou-se que a média da distância entre os 15 conjuntos habitacionais e um ponto central, tendo como referência a Praça Coronel Pedro Osório, é de aproximadamente 3,5 km. Além disso, observou-se que seis desses empreendimentos estão situados a menos de 2,5 km dessa referência. Os conjuntos habitacionais localizados em áreas mais distantes do centro da cidade podem estar relacionados à busca por terrenos com custo mais baixo (Chiarelli, 2014).

Segundo Medvedovski, Carrasco e Lima e Silva (2021, p. 22) “Em Pelotas, o Programa PAR implantou, entre 2001 e 2008, 3.181 unidades habitacionais no PAR (3 a 6 salários mínimos) e no PAR Especial (2 a 4 salários mínimos) [...]”. Assim, Pelotas passou a ser considerada “o segundo município brasileiro em número de empreendimentos e unidades habitacionais construídas” por meio do programa, conforme destaca Soares (2006, p. 184).

Outro exemplo de política pública implementada nos anos 2000 foi o PAC, responsável pela urbanização de assentamentos precários situados em regiões de urbanização consolidada. Em Pelotas, as áreas remodeladas estavam próximas ao centro administrativo e comercial da cidade, nas regiões administrativas Centro, São Gonçalo e Fragata. Os locais selecionados para a intervenção são classificados, segundo o III Plano Diretor de Pelotas, como Áreas Especiais de Interesse Social, o que justifica que tenham sido objeto de um Plano de Urbanização específico. Os exemplos desenvolvidos na cidade foram os Loteamentos Farroupilha, Ceval, Anglo, Osório e Mário Meneguetti, beneficiando cerca de 2.400 famílias (Chiarelli, 2014; Medvedovski; Carrasco; Lima e Silva, 2021).

O Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) instituído em 2009, tinha como objetivo gerar empregos por meio de novos investimentos na construção civil e combater o déficit habitacional (Chiarelli, 2014). O programa era focado na produção de conjuntos habitacionais direcionados à venda de unidades para setores de baixa renda e de classe média. Em Pelotas, foram produzidos 94 empreendimentos e 15.500 unidades habitacionais entre o período de 2009 e 2018 nas Faixas de renda 1 a 3, sendo que 50% da produção foi distribuída para a Faixa 2 (Medvedovski; Carrasco; Lima e Silva, 2021, p. 23). A faixa 1, identificada como prioritária para suprir o déficit habitacional, recebeu apenas 19,68% das unidades produzidas, conforme indicado por Medvedovski et. al. (2021). Isso evidencia uma inversão na distribuição objetivada pelo programa.

No caso pelotense, assim como em inúmeros casos brasileiros, o PMCMV apresentou localizações muito periféricas na malha urbanizada. A ausência de definições pelo programa sobre as localizações urbanas resultou no afastamento das áreas centrais. Conforme levantamento realizado por Chiarelli (2014), os conjuntos residenciais da Faixa 0 a 3 salários mínimos apresentavam uma distância média de 7,6 km até o centro da cidade, enquanto a dos conjuntos da Faixa 3 a 6 salários mínimos era de 3,6 km. Isso demonstra a longitude significativamente maior dos conjuntos residenciais direcionados à população de baixa renda em relação aos conjuntos de classe média. Essa distância do centro dificulta a acessibilidade da população da camada de baixa renda a locais de trabalho, educação, saúde e equipamentos urbanos.

No ano de 2008, foi instituído o III Plano Diretor de Pelotas, o instrumento da política urbana responsável por regulamentar os demais previstos pelo Estatuto da Cidade (Medvedovski; Carrasco; Lima e Silva, 2021). Entre as novas regulações do plano e juntamente com a Lei nº 5.660/2009, foi instituído o Condomínio Horizontal de Lotes para fins residenciais na zona urbana da cidade de Pelotas. Essa legislação possibilitou a incorporação de loteamento, condomínio urbanístico ou condomínio urbanístico com edificação integrada. Conforme citam Britto e Sobarzo (2020), novos critérios, como a ampliação da área total dessas incorporações de 100.000m² para 350.000m², facilitaram a incorporação de grandes empreendimentos residenciais fechados.

O eixo leste, composto pela Avenida Ferreira Viana e sua continuação, Avenida Adolfo Fetter, estruturam a conexão do centro com o bairro Laranjal, tornando-se o foco de interesse de incorporação de empreendimentos de alto padrão. Essa via de conexão revela-se como de grande relevância, uma vez que é a principal ligação para os bairros com maior renda e passou por obras de melhoramento e duplicação no ano de 2010. A Figura abaixo mostra a renda per capita segundo o Censo 2010 (IBGE). Nela, pode-se observar que a Região Administrativa de São Gonçalo e Laranjal são os locais de maior renda, áreas onde as avenidas mencionadas proporcionam acesso. Nas imediações, encontram-se o Complexo Judiciário, o shopping center da cidade (lançado em 2010 e inaugurado em 2013), podendo ser considerados atrativos urbanos para as camadas de média e alta renda (Britto; Sobarzo, 2020).

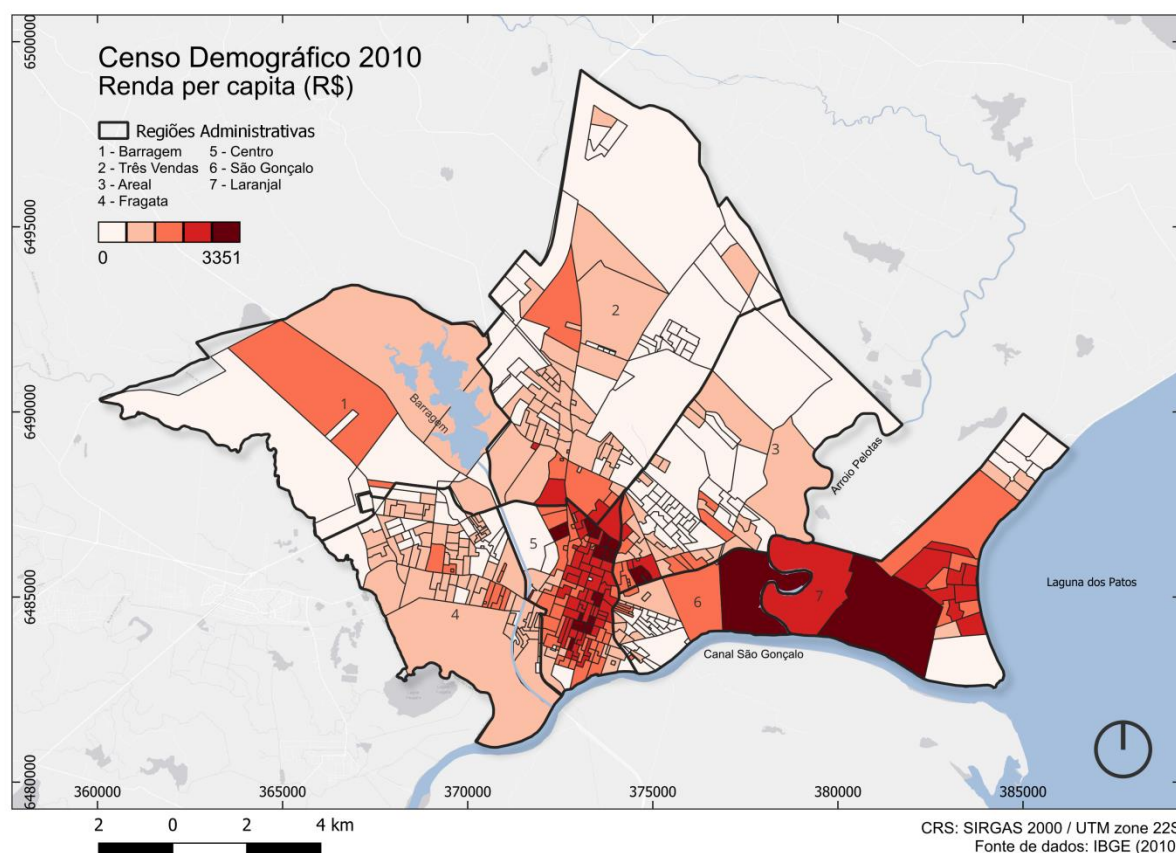


Figura 11 – Renda per capita de Pelotas segundo Censo 2010 (IBGE, 2010). Elaboração: Pela autora (2024).

No entorno desse local de bastante destaque, foi lançado o primeiro condomínio horizontal de lotes, chamado ‘Lagos de São Gonçalo’, no ano 2010. O condomínio fechado, de uso exclusivo e acesso restrito, possui área de 35 hectares, parcelados

em 365 lotes urbanizados, com áreas comuns e espaços de lazer e serviços. Ele se diferencia dos anteriormente incorporados na cidade, uma vez que apresenta descontinuidade da malha urbana consolidada. Segundo Britto e Sobarzo (2020), os condomínios anteriores a este apresentavam conexão com logradouros públicos, ausência de muro perimetral ao empreendimento e eram três vezes menores que o Lagos. Posteriormente, outros grandes condomínios horizontais de alto padrão foram lançados na cidade, como o Alphaville Pelotas, com 556 lotes, e o Veredas, que apresenta 454 lotes, ambos localizados na Avenida Adolfo Fetter, principal via de acesso ao bairro Laranjal.

Além dos condomínios fechados, outro produto imobiliário foi promovido nos últimos anos em Pelotas. Trata-se do bairro planejado, seguindo os pressupostos do Novo Urbanismo, como a priorização dos pedestres, a diversidade de usos e a sustentabilidade. Seguindo esse padrão, foi lançado o 'Bairro Quartier' em 2013, projeto desenvolvido pelo escritório de arquitetura de Jaime Lerner. O empreendimento está localizado no bairro Três Vendas, em uma gleba de 30 hectares, com lotes disponibilizados para incorporadoras de prédios comerciais, residenciais e de lazer. A Rua João Jacob Bainy, via de acesso ao bairro, passou por obras de infraestruturas em 2015, com investimentos de recursos federais para a melhoria na pavimentação, na rede pluvial e de esgoto, entre outros aspectos. O entorno próximo foi valorizado e novos negócios imobiliários foram inseridos, como complexos escolares, universitários e hospitalares (Britto; Sobarzo, 2020).

Mais um exemplo do modelo de bairro planejado, o "Parque Una", foi lançado em 2015. A incorporação está adjacente a Avenida Ferreira Viana, eixo leste estruturante ao Complexo Judiciário, ao shopping center e ao condomínio fechado Lagos de São Gonçalo. Com uma área de 19 hectares, o bairro tem foco na produção e comercialização de edifícios de alta densidade, icônicos, destinados à população de alta renda (Britto; Sobarzo, 2020).



Figura 12 – Vistas aéreas: a) Shopping Pelotas, fundo a esquerda bairro Parque Una, fonte: <https://www.jornaldocomercio.com/colunas/minuto-varejo/2023/11/1129753-shopping-pelotas-vai-ter-expansao-de-area-e-novas-lojas.html>; b) Condomínio Lagos de São Gonçalo, fonte: <https://www.blog.idealizacoes.com.br/alto-padrao-para-o-norte-de-macapa/>; c) Ao centro, Condomínio Alphaville, a esquerda, Condomínio Veredas, fonte: https://www.facebook.com/flycamerapel/photos/pb.100063753542356.-2207520000/1423542417830576/?type=3&locale=pt_BR.

Assim sendo, a densidade populacional da cidade de Pelotas segundo o Censo Demográfico de 2010, está representada no mapa (Figura 13) abaixo.

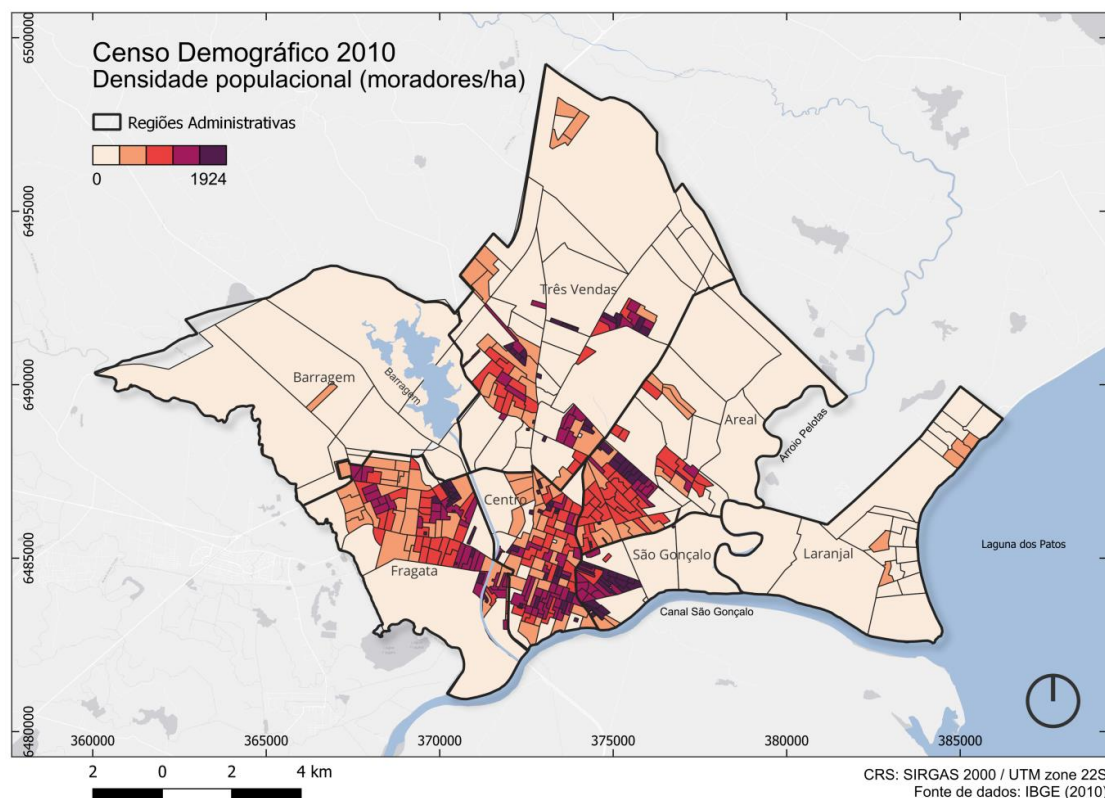


Figura 13 - Densidade populacional de Pelotas classificação por setor censitário, segundo Censo 2010 (IBGE, 2010). Elaboração: Pela autora (2024).

4.1.5. Síntese do Capítulo

O núcleo original de Pelotas teve sua forma e urbanização planejadas. A ocupação inicial se deu em uma região elevada, delimitada entre as margens do Arroio Santa Bárbara (a oeste), do Arroio Pepino (a leste) e do Canal São Gonçalo (ao sul). Depois de implantado o loteamento planejado, as expansões desse período ocorreram com mais intensidade junto a esse loteamento. O primeiro momento analisado na evolução urbana de Pelotas (1812 – 1910, abordado no item 4.1.1) foi associado por Peres e Polidori (2011) aos modelos de estrutura espacial urbana tradicionais concêntricos de Parks e Burgess (1925).

Após esse crescimento compacto e planejado, na década de 1910, a urbanização se expande para além dos recursos hídricos, próximo aos eixos de acesso. Houve a inserção de loteamentos privados de pequena escala, de forma fragmentada na mancha urbana. Esse modo de crescimento difuso e fragmentado era direcionado à população de baixa renda, incluindo escravos libertos, imigrantes que saíram do campo para a cidade e trabalhadores da indústria. Nesse momento, já se instaura a dicotomia entre a população de maior renda, que ocupava predominantemente a área central, e a população de baixa renda, que ocupava as áreas mais afastadas da cidade. Enquanto a área central era valorizada, passava por inúmeros melhoramentos urbanos e recebia regulamentações urbanísticas, a área suburbana crescia sem padrão e sem regulações, desprovida de qualquer infraestrutura básica. Sendo que, a descontinuidade entre o núcleo urbanizado e essas áreas suburbanas contribuiu para a formação vetores de crescimento linear ao longo dos eixos viários.

Os vazios urbanos entre o centro e a periferia impulsionaram a ação do mercado imobiliário, especialmente à medida que os bairros populares se tornavam mais densos. Além disso, a construção de equipamentos e obras de infraestrutura, como a Barragem e o Aeroporto Internacional de Pelotas, teve um impacto no crescimento e na composição da forma urbana da cidade. Essas estruturas atuaram como limitadores de expansão urbana, influenciando diretamente a forma como a cidade se desenvolveu ao longo do tempo.

Com o surgimento de políticas habitacionais, no terceiro período, o crescimento passou a ser periférico. Os grandes conjuntos habitacionais, produzidos de forma massiva, caracterizaram o espraiamento da mancha urbana. Esses produtos das

políticas habitacionais acabaram por reforçar a tendência de a população de baixa renda ocupar as áreas de periféricas.

Ao longo do processo de crescimento, grupos de maior renda não residem apenas no centro, mas passam a ocupar novas áreas ao longo de eixos - Av. Ferreira Viana e sua continuação, Av. Adolfo Fetter - tendendo a formar um setor de altas rendas (Hoyt, 1964). O último período demonstra novos tipos de incorporações, como os condomínios fechados, o shopping center e os subcentros, diferentes das demais épocas. Atualmente, o setor ocupado pela população de maior renda também está sendo acompanhado pelo surgimento dessas novas áreas com localização mais espalhada, periférica e descontínua. Borsdorf (2003) chama esse processo de crescimento fragmentado. O shopping center reforça o setor de expansão das camadas de média e alta renda se deslocando do centro em direção à área de balneário, no Laranjal. O papel do Estado na renovação da infraestrutura, com alargamento de vias e pavimentação, também, reforça a conformação de um eixo de expansão.

4.2. RESULTADO DOS INDICADORES DA FORMA URBANA

4.2.1. Indicador de Continuidade

O Indicador de Continuidade compara o perímetro da mancha urbanizada em relação ao perímetro do polígono convexo mínimo. Este indicador busca refletir o grau de fragmentação e de reentrâncias da forma urbana. A continuidade espacial é um atributo associado à eficiência urbana, de modo que descontinuidades da forma geral urbana geralmente resultam em percursos mais longos, que afetam as viagens que têm origem e destino nas zonas semi-isoladas pela fragmentação (Krafta, 2014). Sendo assim, na Figura 14 abaixo, observa-se a relação entre a mancha urbanizada, com diferentes cores para cada fase analisada, e seu respectivo polígono convexo mínimo, representado pelo cinza claro.

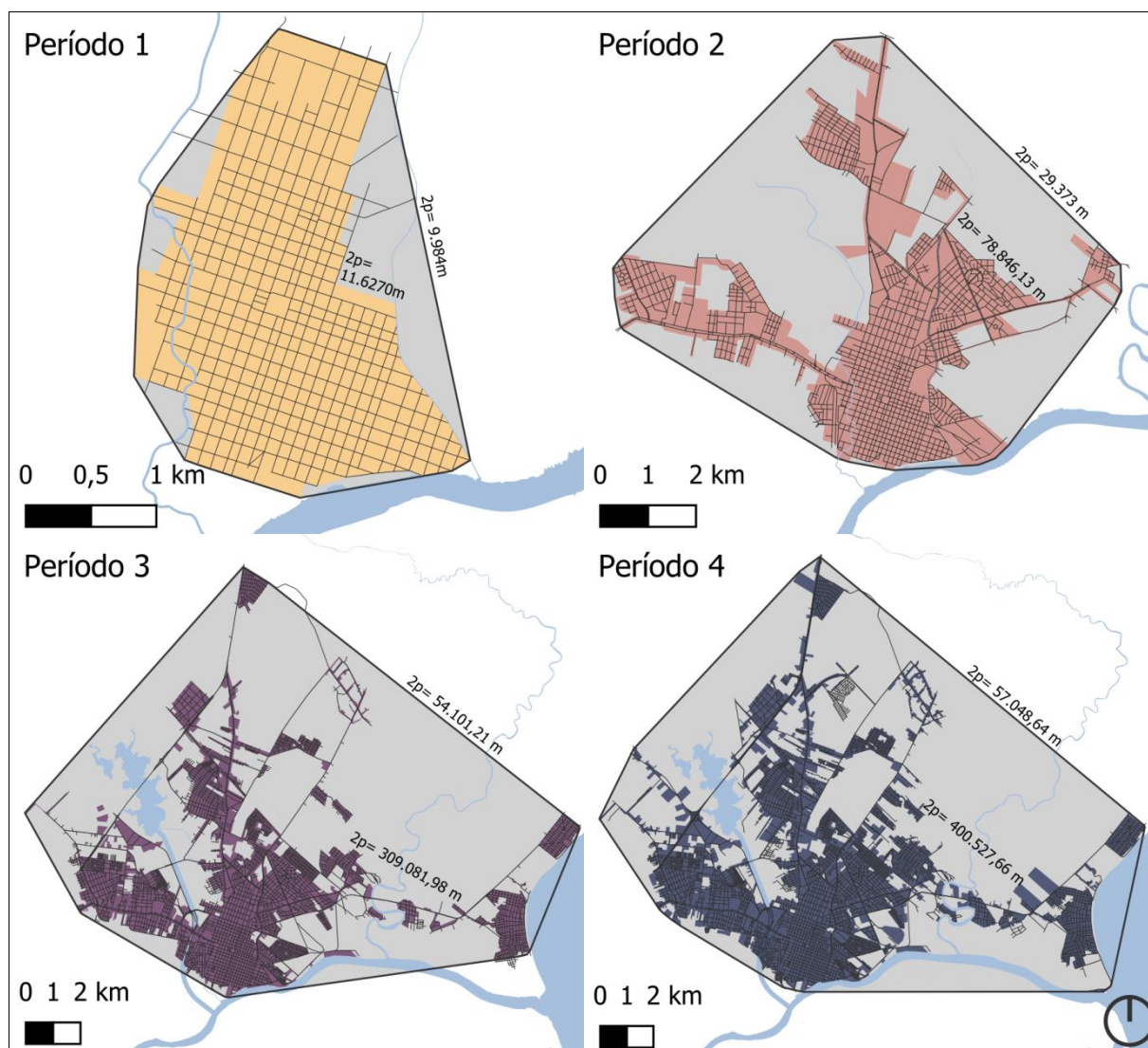


Figura 14 – Análise do Indicador de Continuidade em cada um dos períodos, comparação da mancha urbanizada com seu respectivo polígono convexo. Elaboração: Pela autora (2024).

Os valores dos perímetros, o resultado do Indicador e sua variação estão demonstrados no Quadro 6, abaixo. O indicador varia de (0) a (1), sendo que o limite inferior representa um alto grau de descontinuidade e fragmentação.

	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4
Perímetro polígono convexo (m)	9.984,02	29.373,16	54.101,21	57.048,64
Perímetro mancha urbanizada (m)	11.627,85	78.846,13	309.081,98	400.527,66
Indicador de Continuidade	0,859	0,373	0,175	0,142
Variação do Indicador	-	-57%	-53%	-19%

Quadro 6 - Dados do Indicador de Continuidade. Elaboração: Pela autora (2024).

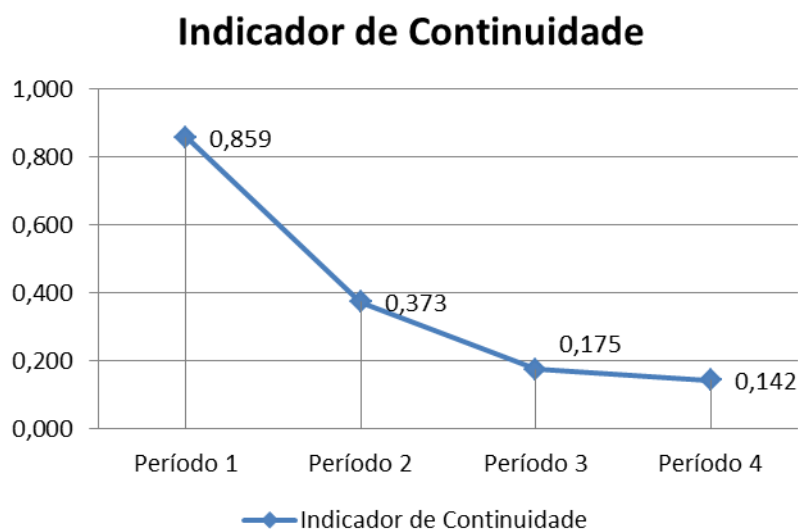


Figura 15 – Gráfico do Indicador de Continuidade, comparação entre os períodos. Elaboração: Pela autora (2024).

No Período 1, o Indicador de Continuidade registra o valor mais elevado na análise do crescimento urbano de Pelotas. Nesse período, o indicador de continuidade atinge o valor de 0,859, o mais próximo a 1, apresentando uma mancha urbana altamente contínua que está associada ao traçado de fundação da cidade. No entanto, observa-se uma considerável diminuição nos valores do indicador nos períodos subsequentes: uma redução de 57% do primeiro para o segundo período; seguida por uma queda de 53% do segundo para o terceiro período; e uma redução de 19% entre o terceiro e o quarto período. Na análise geral do indicador, houve diminuição de 83%. Essa queda evidencia que o desenvolvimento urbano perdeu continuidade, resultando em um perímetro irregular e fragmentado, com áreas internas de vazios urbanos e reentrâncias.

É importante destacar que os períodos 2, 3 e 4 contaram com imagens aéreas ou de satélite, enquanto o período 1 foi baseado em um mapa desenhado manualmente, que provavelmente não representava os espalhamentos descontínuos existentes ao redor.

4.2.2. Indicador de Compacidade

O Indicador de Compacidade compara a área da mancha urbanizada em relação à área do círculo que a circunscreve. Esse indicador utiliza a forma geométrica do círculo como referência, partindo do pressuposto de que essa é a figura que

minimiza a distância desde o centro aos pontos extremos. Dessa forma, a regularidade é medida considerando a distância média de viagem mínima, o que pode estar associado à eficiência urbana. Uma menor compactidade implica em percursos mais longos aos usuários e também em redes de infraestrutura e serviços mais extensas. Para a visualização dos elementos compostos do indicador, na Figura 16 é apresentada a relação de cada mancha urbanizada, caracterizada por diferentes cores em cada momento analisado, com o respectivo círculo que a circunscreve, em cinza claro.

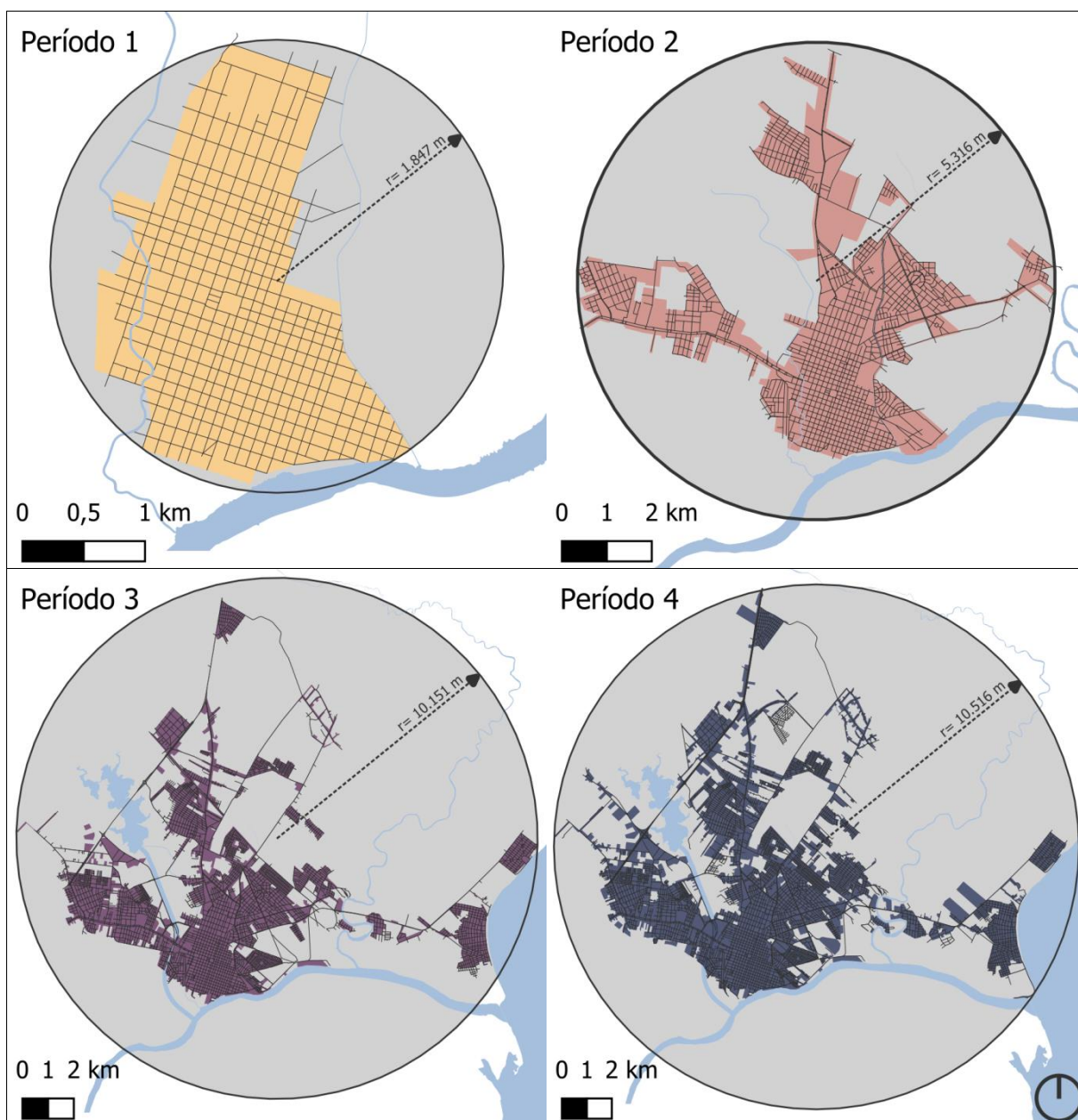


Figura 16 - Análise do Indicador de Compacidade em cada um dos períodos, comparação da mancha urbanizada com seu respectivo círculo circunscrito. Elaboração: Pela autora (2024).

Os valores das áreas, o resultado do Indicador e sua variação estão demonstrados no Quadro 7, abaixo. O indicador varia de (0) a (1), sendo que o limite superior representa a máxima compacidade.

	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4
Área da mancha urbanizada (ha)	515,39	2.365,51	4.632,40	6.418,90
Área do círculo circunscrito (ha)	1.072,74	8.878,68	32.375,27	34.742,27
Raio do círculo circunscrito (m)	1.847,88	5.316,17	10.151,54	10.516,09
Indicador de Compacidade	0,480	0,266	0,143	0,185
Variação do Indicador	-	-45%	-46%	+29%

Quadro 7 - Dados do Indicador de Compacidade. Elaboração: Pela autora (2024).

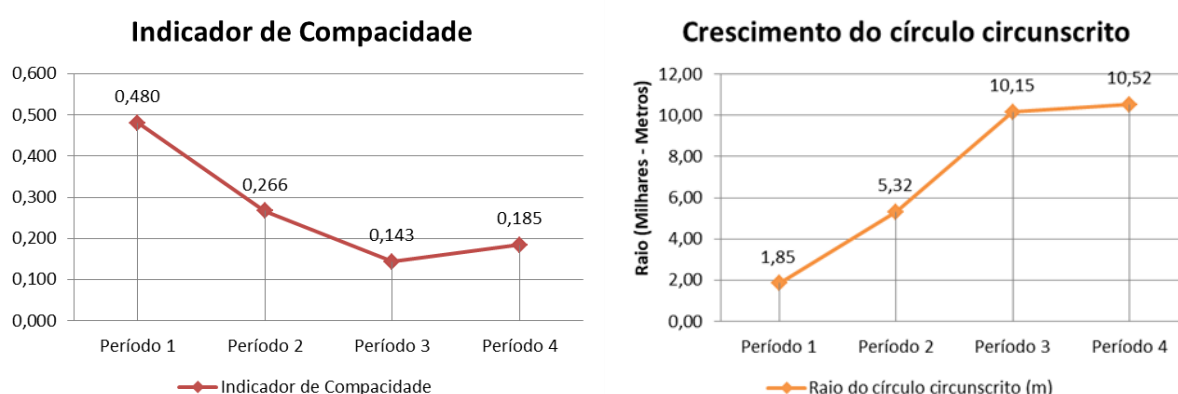


Figura 17 – Esquerda: Gráfico do Indicador de Compacidade. Direita: Gráfico de comparação do crescimento do raio do círculo circunscrito. Elaboração: Pela autora (2024).

O Período 1 registra o valor mais alto do Indicador de Compacidade, alcançando o número 0,480, representando o período mais próximo da formação morfológica compacta, semelhante a um círculo. No entanto, o indicador apresenta uma considerável diminuição nas duas fases subsequentes: diminuiu 45% entre o primeiro e segundo período; em seguida, cai 46% entre segundo e terceiro período. Em ambos os períodos, a expansão territorial resultou em um acréscimo de cerca de 4 mil metros no raio do círculo circunscrito, com valores variando acima e abaixo desse referencial. Porém, a perda de compacidade acentuada persiste até o terceiro período, sendo que essa tendência foi revertida entre o terceiro e quarto períodos. Ao comparar o Período 3 e 4, observa-se um aumento de 39% na área da mancha urbanizada e um aumento de 7% na área do círculo circunscrito. Assim, como o crescimento da área urbanizada foi mais expressivo do que o aumento na área do círculo circunscrito, o fato resultou em um aumento de 29% no Indicador de Compacidade urbana entre os dois últimos períodos analisados. Os dados revelam

que, no Período 4, o crescimento ocorreu mais por preenchimento dos vazios da mancha existente do que por acréscimo de novas áreas. De qualquer modo, a análise global do indicador revela uma redução de 62% do período 1 ao 4.

4.2.3. Discussão dos Indicadores de Forma

Alguns períodos foram significativos na estruturação da forma urbana. O início da urbanização da cidade de Pelotas foi projetado com traçado xadrez, reticulado e racional. As expansões desenvolvidas até o ano de 1910 seguiram esse mesmo padrão e se estenderam desde o planalto entre os Arroios Santa Bárbara e Pepino até as margens desses cursos d'água e do Canal São Gonçalo. A forma urbana encontrada no período era contínua, sem vazios internos, resultando em altos valores dos indicadores de forma urbana.

No segundo período, três eixos estruturantes de crescimento urbano ficam evidentes: um eixo Nordeste, que deu origem ao bairro Areal; um eixo Norte, onde se desenvolveu o bairro Três Vendas; e um eixo Oeste, onde o bairro Fragata se estabeleceu. Essa composição foi impulsionada pela incorporação de loteamentos privados ao tecido urbano, produzidos por agentes individuais envolvidos na produção do espaço. Esses novos loteamentos eram suburbanos, situando-se ao longo dos eixos viários, distantes do núcleo principal, uma vez que estavam no limite do perímetro urbano da época. O crescimento físico com o alongamento da mancha urbana foi constatado com o decréscimo dos indicadores de forma, indicando a descontinuidade da forma urbana no período 2. A intensificação desse tipo de crescimento pode ser observada nos períodos subsequentes de expansão urbana.

O espraiamento da mancha urbana foi novamente observado com a promoção de políticas federais de habitação a partir de 1964, resultando na produção massiva de moradias em Pelotas, localizadas na periferia da cidade. Outra expansão significativa do tecido urbano ocorreu em 1980 com a incorporação da urbanização dos balneários da Laguna dos Patos à mancha urbanizada, conforme previsto no II Plano Diretor de Pelotas. Os balneários do Laranjal, especialmente, foram influenciados pela sua localização próxima à Laguna dos Patos. Essa relação com o ambiente natural condicionou a expansão urbana, marcando uma descontinuidade na forma urbana. O eixo estruturante Nordeste expandiu consideravelmente em

direção ao Leste, tornando-se um eixo fundamental de crescimento para o acesso ao bairro. Da mesma forma, a criação da Vila Princesa promoveu uma grande expansão territorial para o Norte.

Seguindo os condicionantes da forma urbana, duas obras de infraestrutura condicionam o crescimento de modo que atuam como delimitadores de expansão. Estas foram a inserção do Aeroporto Internacional de Pelotas em 1935, e a construção da Barragem Santa Bárbara em 1968, reserva para o abastecimento de água potável. Ambas as obras de infraestrutura estabelecem uma zona de proteção com restrições relativas às implantações que possam comprometer a segurança. Atualmente, o III Plano Diretor, instituído em 2018, delimita uma Área de Preservação Permanente de cem metros no entorno da Barragem Santa Bárbara, além de considerar o seu entorno como uma Área Especial de Interesse do Ambiente Natural (AEIAN). No caso do Aeroporto, a área delimitada segue recomendação emitida pelo Ministério da Defesa.

Recentemente (período 3 ao 4), a expansão territorial foi mais contínua através do preenchimento de reservas fundiárias presentes na mancha urbanizada. Ainda existem vazios urbanos para expansão, porém, a expansão descontínua ocorreu com menor intensidade, através da incorporação do Pontal da Barra à área da mancha urbanizada.

Ao analisar a evolução através da população urbana, medida em número de habitantes, e da área, medida em hectares, pode-se perceber que as duas variáveis crescem constantemente ao longo dos períodos observados. A população avança de 36.243 habitantes no Período 1 para 306.281 no último, passando por maiores oscilações do que a evolução da área da mancha urbanizada, a qual indica 515,39 hectares no período inicial e 6.418,90 ao final.

	Período 1	Período 2		Período 3		Período 4		Total
Ano de levantamento	1909	1965	%	1995	%	2023	%	1909-2023
População urbana (hab)	36.243	154.862	327,29	264.751	70,96	306.281	15,69	745,08
Área da mancha urbanizada (ha)	515,39	2.365,51	358,97	4.632,40	95,83	6.418,90	38,57	1145,45

Quadro 8 - Evolução da população urbana e Evolução área da mancha urbanizada (ha). Fonte dos dados populacionais: ver Figura 5. Elaboração: Pela autora (2024).

Apesar da evolução contínua, a taxa de crescimento da população está diminuindo ao longo dos anos. A Tabela 8 apresenta que, ao passo que a área aumenta 359% entre os dois primeiros períodos, a população cresce 327%. Proporcionalmente, o crescimento da área da mancha urbanizada foi superior ao da população urbana em todos os períodos.

Em razão do descompasso entre o crescimento da população e o da mancha urbanizada, temos o decaimento da densidade populacional ao longo dos períodos observados. A densidade expressa a razão entre a população e área ocupada por ela, amplamente utilizado para quantificar a dispersão. Visando ter uma real dimensão da densidade, é indicado considerar população urbana e área da mancha urbanizada, desconsiderando os vazios. Desse modo, a Figura 17 mostra a densidade urbana de Pelotas ao longo dos períodos de estudo.

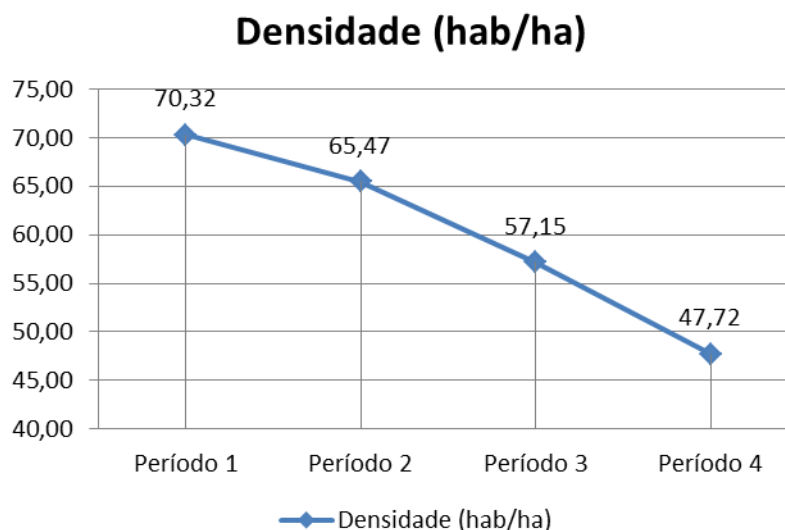


Figura 18 – Gráfico de Densidade, comparação entre os períodos. Elaboração: Pela autora (2024).

A Figura 18 reforça a ideia do descompasso entre o crescimento da população urbana e o crescimento da área urbanizada em Pelotas.

4.3. RESULTADO DOS INDICADORES CONFIGURACIONAIS

A partir da representação do sistema viário de Pelotas por meio de redes, foram exploradas relações de hierarquia e comportamento global das redes, mediante a investigação estatística dos padrões de distribuição dos indicadores adotados.

4.3.1. INDICADORES BÁSICOS DE CONECTIVIDADE

4.3.1.1. ORDEM E TAMANHO DO GRAFO

Buscando verificar como se deu o crescimento da rede viária ao longo das diferentes temporalidades, foram analisados os comportamentos de crescimento da rede através da evolução do número de vértices, do número de arestas e por meio da relação entre população e número de vértices, demonstrados no quadro abaixo. Cabe ressaltar que neste trabalho, foi construído o grafo primal, onde os vértices representam cruzamentos de ruas e as arestas correspondem aos trechos de via.

Indicador	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4
Ordem do grafo	461	1722	5002	6318
Δv_t	-	1261	3280	1316
% Δv_t	-	274%	190%	26%
Tamanho do grafo	794	2747	7712	9512
Δa_t	-	1953	4965	1800
% Δa_t	-	246%	181%	23%
Relação população / Ordem grafo	78,62	89,93	52,93	48,48

Onde: Δv_t é a variação do número de vértices no tempo t; % Δv_t é a variação percentual do número de vértices no tempo t; Δa_t é a variação do número de arestas no tempo t; e, % Δa_t é a variação percentual do número de arestas no tempo t.

Quadro 9 – Indicadores Básicos de Rede. Elaboração: Pela autora (2024).

Ao analisar o crescimento da ordem e do tamanho do grafo ao longo dos períodos, observa-se que ambos apresentam aumentos mais expressivos no intervalo entre o primeiro e o segundo período. Nesse período inicial, o número de vértices aumentou em 1261 unidades, o que representa uma variação percentual de aproximadamente 274%. Da mesma forma, o número de arestas também mostrou um crescimento considerável, com uma variação percentual de 246%. Por outro lado, os aumentos percentuais nas temporalidades subsequentes são menores.

No entanto, ao considerar os números absolutos, tanto o número de vértices quanto o de arestas continuam a apresentar aumentos substanciais entre o segundo e o terceiro período. A adição de 3280 vértices e 4965 arestas reflete um crescimento intenso na rede durante esse intervalo. Já na comparação entre os dois últimos intervalos de tempo, nota-se uma desaceleração na taxa de crescimento da rede. As variações percentuais nesses períodos são de 26% para o número de vértices e 23% para o número de arestas.

Outra maneira de analisar a evolução urbana é através da relação de população urbana e o número de vértices do sistema ao longo dos períodos de estudo. É possível perceber pela Figura 19 que a relação entre as variáveis não segue uma trajetória linear uniforme, apresentando variações distintas.

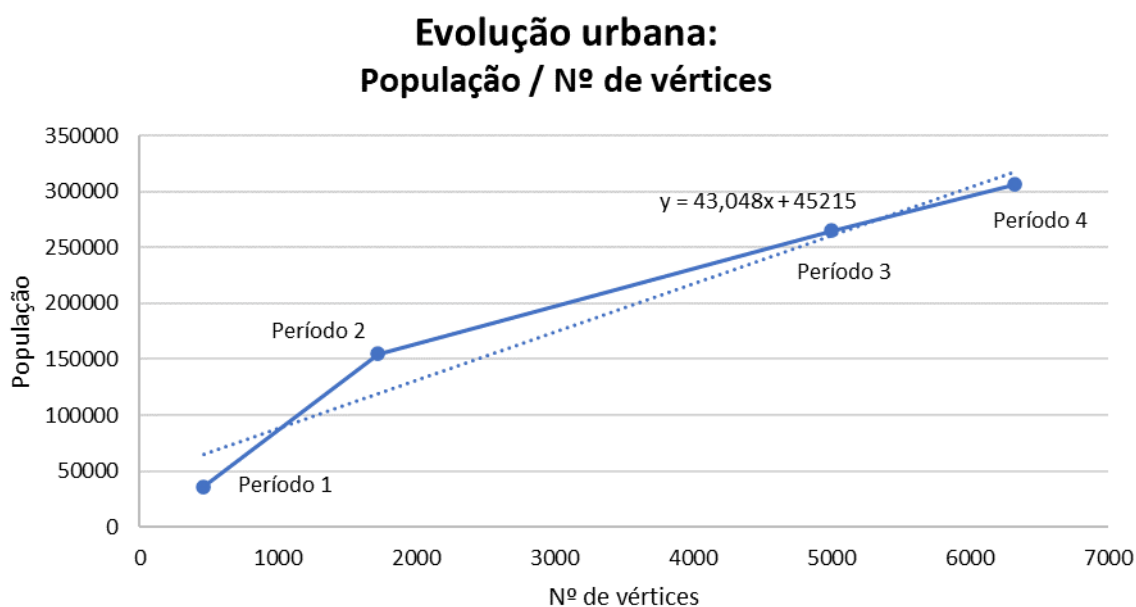


Figura 19 – Gráfico de Evolução Urbana: comparação entre evolução da população e evolução do número de vértices. Elaboração: Pela autora (2024).

Entre o primeiro e o segundo período, a variação percentual do número de vértices demonstrou crescimento de 274% contra a variação populacional de 327%, resultando em uma significativa inclinação da reta no primeiro segmento, e uma relação próxima de 90 habitantes para cada vértice. No segundo intervalo de tempo, entre os períodos 2 e 3, o cenário se inverte e temos um grande acréscimo de número de vértices frente ao crescimento populacional, com variações de 190% e 71% para as variáveis, respectivamente. A relação nesse período cai de 90 para

cerca de 53 habitantes por vértice. No último segmento, entre o terceiro e o quarto período estudado, as variações de 26% e 16% para vértices e população não foram consideráveis como as anteriores, de forma que a relação se manteve próxima à anterior, em 48,5 habitantes por uma unidade de vértice.

4.3.2. GRAU MÉDIO DO NÓ

A avaliação do grau médio do nó descreve o padrão de evolução da rede por meio da análise das conexões entre vértice e seus vizinhos imediatos. A investigação realizada abaixo explora a mudança nas propriedades da rede em função da alteração na ordem do grafo. Os indicadores Grau médio do nó e Distributividade (na sequência) foram calculados para todo o sistema e para cada um dos períodos analisados.

Indicador	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4
Grau médio do nó	3,445	3,190	3,084	3,011

Quadro 10 – Indicadores de Grau médio do nó. Elaboração: Pela autora (2024).

O grau médio de um nó em um grafo é determinado pelo número médio de arestas que incidem sobre ele, o que representa a média de conexões entre os vértices da rede. Observa-se que o número de arestas cresce quase linearmente com o número de vértices, o que indica uma leve alteração no grau médio do nó ao longo do tempo. O primeiro período revela o maior valor de grau médio, alcançando resultado de 3,445. Isso se deve ao traçado em grelha da fundação da cidade, em que predomina o grau 4 numa representação nodal. Nos períodos subsequentes, há uma diminuição gradual nesse valor: 3,190 no segundo período, 3,084 no terceiro período e 3,011 no último período. Isso sugere que, em média, cada vértice está se conectando com um número ligeiramente menor de vizinhos em decorrência da adoção de traçados menos regulares ao longo do tempo.

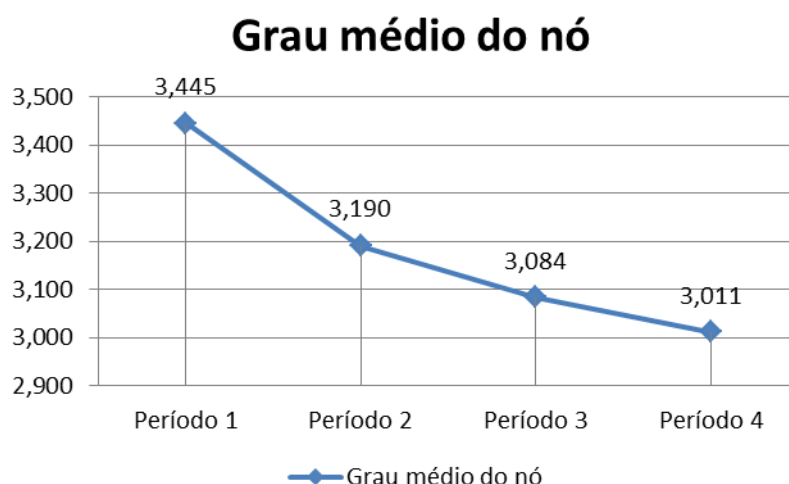


Figura 20 – Gráfico do Indicador de Grau Médio, comparação entre os períodos. Elaboração: Pela autora (2024).

4.3.3. DISTRIBUTIVIDADE

A distributividade se relaciona com a conectividade interna na rede. Ela analisa a quantidade de caminhos potenciais entre dois vértices quaisquer, refletindo a capacidade do sistema urbano em oferecer alternativas de conexão.

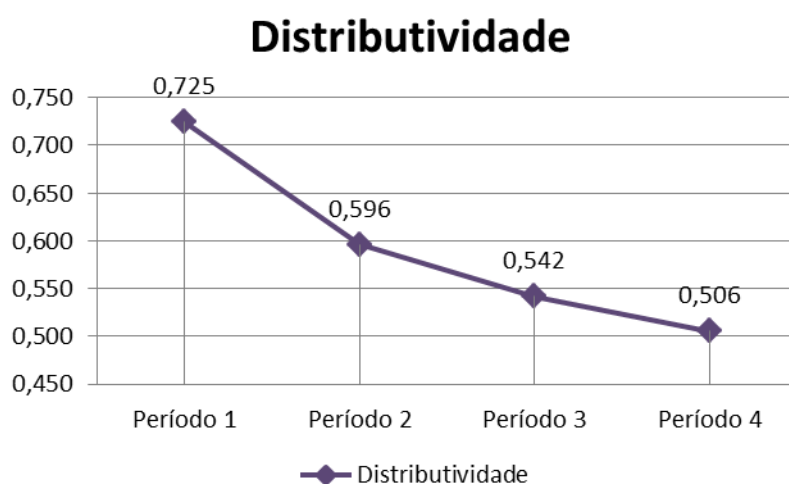


Figura 21 – Gráfico do Indicador de Distributividade, comparação entre os períodos. Elaboração: Pela autora (2024).

A máxima conectividade é encontrada em sistemas teóricos, como nos grafos do tipo diamante, onde todos os vértices se conectam entre si. Em Pelotas, o maior Índice de Distributividade é observado no primeiro período, alcançando 0,725. Conforme interpretação de Krafta (2014, p. 173), o conceito de número ciclomático pode ser traduzido como “a medida de quantidade de ilhas ou quarteirões num

assentamento urbano”. Utilizando esse conceito, percebe-se que, no primeiro período, havia uma prevalência de ciclos fechados no sistema urbano, ou seja, mais quarteirões.

Ao longo dos períodos subsequentes, houve uma variação significativa no Índice de Distributividade. A variação percentual do primeiro para o segundo período foi mais expressiva, com uma queda de 17,8%, resultando em um índice de 0,596. No período seguinte, houve uma variação negativa de 9%, alcançando o valor de 0,542 no terceiro período. No último período, o índice apresentou uma queda de quase 7%, chegando a 0,506.

Essas quedas refletem uma tendência de redução na distributividade após o projeto original do primeiro período. Isso sugere que os acréscimos na malha urbana subsequentes contribuíram para uma diminuição na conectividade interna. Consequentemente, houve uma redução na quantidade de ciclos fechados na estrutura urbana, indicando uma transição para formações urbanas mais abertas. Essas formações são caracterizadas pela presença de ruas sem saída ou por arranjos com uma via principal e múltiplas transversais.

4.3.3.1. Discussão dos Indicadores Básicos de Conectividade

Aproximando os dois Indicadores de Conectividade, o Grau médio do nó e a Distributividade, buscou-se apresentar informações adicionais sobre a estrutura das redes viárias, analisando a conectividade de cada nó. O quadro a seguir apresenta os dados de conectividade dos vértices ao longo dos quatro períodos distintos, incluindo o número absoluto de vértices para cada nível de conectividade de 1 a 6, assim como a porcentagem correspondente, representando a proporção desses vértices em relação à rede total.

Conectividade	Período 1		Período 2		Período 3		Período 4	
1	63	14%	194	11%	679	14%	990	16%
2	3	1%	0	0%	3	0%	1	0%
3	63	14%	827	48%	2586	52%	3332	53%
4	330	72%	686	40%	1697	34%	1947	31%
5	2	0%	13	1%	29	1%	40	1%

Quadro 11 – Conectividade dos vértices ao longo dos quatro períodos. Elaboração: Pela autora (2024).

E também, ilustra-se a evolução percentual da conectividade em cada período na figura abaixo.

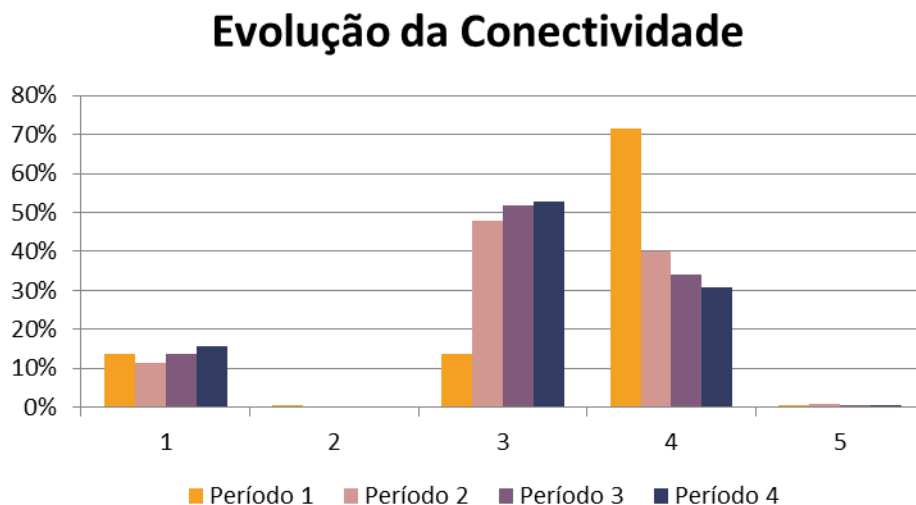


Figura 22 – Evolução da conectividade dos vértices ao longo dos quatro períodos. Elaboração: Pela autora (2024).

No primeiro período, observa-se que 72% dos vértices estão conectados a outros 4 vértices, delineando uma estrutura de malha reticular decorrente do traçado regular da fundação da cidade. Essa configuração não apenas confirma a predominância de ciclos fechados, indicativo de uma rede bem interligada e redundante, mas também valida o resultado elevado de grau médio do nó. Esses resultados são consistentes com a estrutura da rede observada durante este período inicial, onde os quarteirões eram compostos principalmente por formas quadradas e retangulares.

Em seguida, percebe-se uma mudança no padrão morfológico da rede urbana. A predominância da conectividade igual a 4 vértices diminui progressivamente: cai de 72% para 40% no segundo período, 34% no terceiro e 31% no último período. Por outro lado, a conectividade igual a 3 aumenta de 14% para 48% no segundo período, ampliando-se para 52% no terceiro período, e alcançando 53% no último período. A partir do segundo período, nota-se uma diversificação nos padrões morfológicos, ainda mantendo a estrutura ortogonal, porém agora incluindo vias com inclinações agudas e conexões em formatos de "T" e "L", elementos que eram pouco frequentes anteriormente.

Além disso, em todos os períodos, havia a presença de alguns componentes lineares sem conexão final, demonstrando uma tendência de continuidade do sistema viário que sugere um potencial crescimento futuro. Essa situação é demonstrada pelos vértices com conectividade igual a 1. As ruas sem continuação ou sem saída apresentam pouca alteração ao longo do tempo, passando de 14 para 11%, 14% e 16%.

Verifica-se também a presença de vértices que se conectam com outros 5, mas essa contribuição é pouco significativa. O mesmo acontece com vértices que se conectam com outros 2 ou 6 vértices.

Esse aumento no número de ligações ímpares e a diminuição das ligações pares, claramente visível na evolução da rede urbana de Pelotas, é caracterizado por Salat *et al.* (2014) como um reflexo do crescimento nas quebras de simetria de um plano regular. Nesse tipo de plano, a organização mais simétrica é composta por nós com 4 ligações, formando uma grade, ou por nós com 6 ligações, que integram duas diagonais à grade.

4.4. INDICADORES DE CENTRALIDADE

4.4.1. ACESSIBILIDADE – CENTRALIDADE POR PROXIMIDADE

A acessibilidade é uma medida configuracional de diferenciação espacial que avalia a distância relativa entre os nós numa rede espacial, utilizando o conceito de caminho mínimo. Essa medida está intuitivamente associada à proximidade e à facilidade de alcance entre todos os elementos do sistema urbano. Assume-se que os nós mais acessíveis são aqueles que possuem um menor somatório de distância a todos os outros, representando os espaços mais próximos e de fácil alcance na rede.

Os resultados da acessibilidade para o sistema global ($R=n$) são apresentados na Figura 23, na sequência. Os mapeamentos são classificados por meio de escala de cores, onde tons mais quentes indicam maior acessibilidade, e consecutivamente, tons mais frios são usados para áreas com menor acessibilidade.

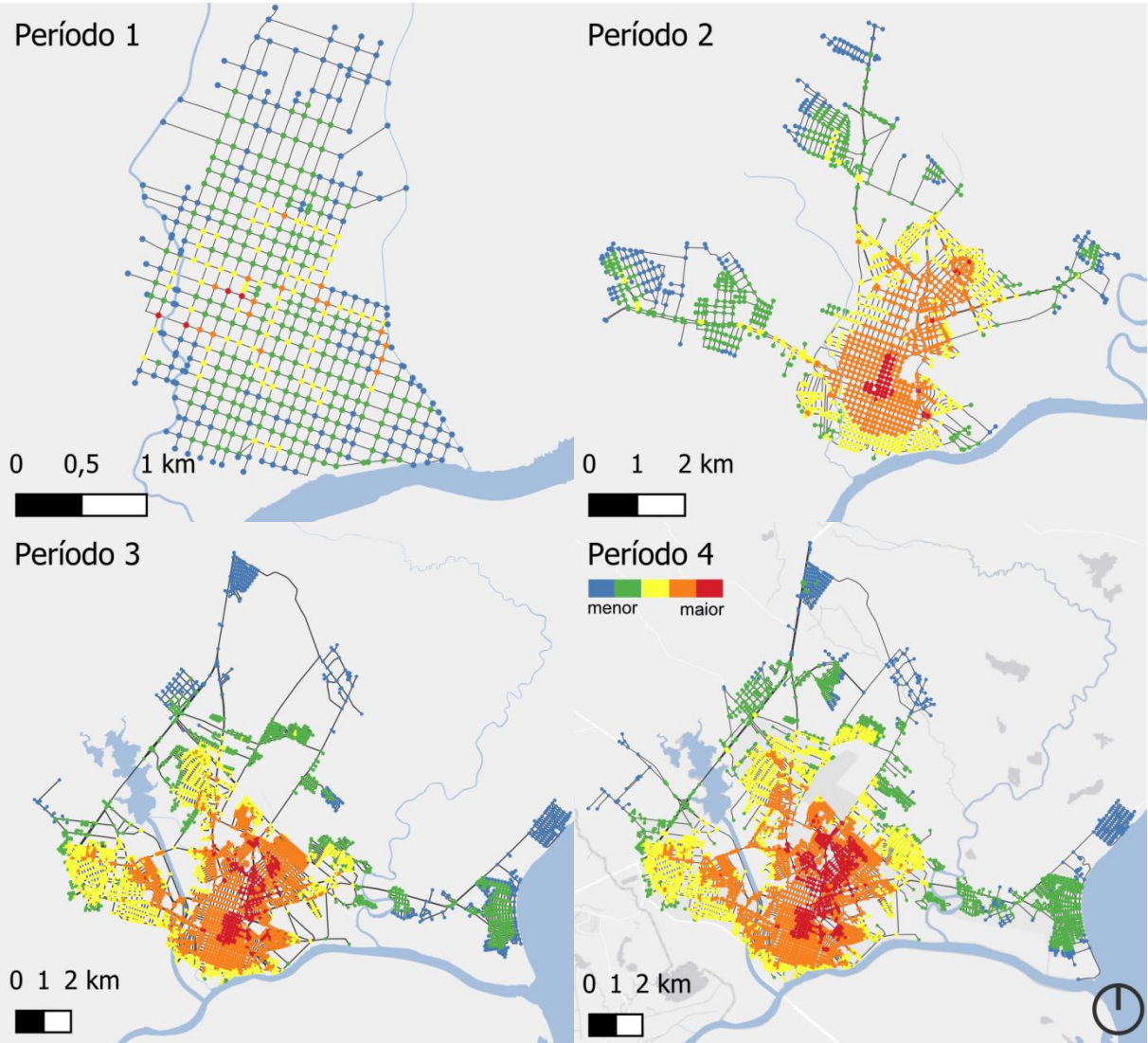


Figura 23 - Resultado da Acessibilidade nos quatro períodos analisados. Valores normalizados, classificados em intervalos iguais, 5 classes. Elaboração: Pela autora (2024).

	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4
Acessibilidade (média)	$9,5569 \times 10^{-4}$	$4,1624 \times 10^{-4}$	$2,4835 \times 10^{-4}$	$2,3070 \times 10^{-4}$

Quadro 12 – Valores de Acessibilidade (Centralidade por Proximidade) média para cada período, valores normalizados. Elaboração: Pela autora (2024).

No resultado da acessibilidade do Período 1 é possível identificar que quanto mais à periferia, menor o valor da acessibilidade. Nesse período, alguns trechos da rede eram interrompidos pelo curso do Arroio Santa Bárbara; logo, essa interrupção também diminuía a acessibilidade desses trechos. Havia apenas 2 travessias sobre o Arroio, e essas, por lidarem com interrupções e serem a única conexão, apresentam alta acessibilidade.

A identificação de um padrão ou lógica entre os pontos de maior acessibilidade não é prontamente evidente. Pelotas possuía uma malha reticular bem ordenada. Havia um padrão predominante nos quarteirões, com dimensões frequentes como 100x100, 150x100 e 200x100. No entanto, alguns quarteirões se diferenciavam desse padrão morfológico, apresentando dimensões menores. Esses quarteirões de menor dimensão são os que apresentam alta acessibilidade.

No segundo período, ocorre uma significativa mudança na morfologia urbana, além de uma perceptível diferenciação nos níveis de acessibilidade. Os maiores valores estão concentrados no Centro, que corresponde aos trechos preexistentes no Período 1. Além disso, novos eixos viários foram introduzidos e conectados à malha reticular urbana. A parte inicial dos eixos, onde se conecta a malha preexistente, apresenta valores elevados e médios de acessibilidade. Destaca-se o eixo nordeste pela sua representatividade de índices altos. Com a densificação da rede ao seu redor, este eixo se torna crucial como caminho mínimo de conexão entre diversos pontos, resultando em índices significativos de acessibilidade. Por outro lado, a periferia exibe índices baixos de acessibilidade, devido à sua localização distante e à complexidade na conexão com o restante da cidade.

A evolução do período 2 para o período 3 revela a expansão de todos os eixos de crescimento existentes no período anterior: Norte, Leste e Oeste, além do surgimento de novas conexões. Com isso, a acessibilidade se modifica mais uma vez, acompanhando a alteração morfológica da rede urbana.

O eixo nordeste se expande mais a leste para integrar ao sistema a trama viária do bairro Laranjal. Os balneários da Laguna dos Patos apresentam baixos valores de acessibilidade, devido à sua separação física dos núcleos urbanos anteriormente consolidados. O mesmo acontece com a expansão do eixo Norte até a Vila Princesa, que surge com distanciamento locacional do centro da cidade.

O crescimento da malha urbana para a porção Norte pode ser atribuído à presença do Canal São Gonçalo, uma barreira natural de contenção do crescimento urbano na porção Sul. Com isso, a expansão territorial para o Norte faz com que locais anteriormente pouco significativos em termos de acessibilidade se potencializem, pois se tornam rotas disponíveis para lugares mais distantes espacialmente. Ao

mesmo tempo, parte do Centro Histórico (extremo sul da cidade e bairro Porto) perde em termos de acessibilidade, não mantendo a mesma facilidade de alcance observada em períodos anteriores.

As conexões sobre o Arroio Santa Bárbara, que já foi submetido a obras de canalização nesse período, ampliam a facilidade de acesso ao bairro Fragata sendo mais uma alternativa de trajeto. Além disso, a intensa densificação da malha urbana nesse bairro resulta em áreas com alta e média acessibilidade, melhorando as condições de deslocamento e acesso. No mesmo sentido, as obras de infraestrutura de contenção das águas do Arroio Santa Bárbara em Barragem limitam o crescimento urbano, tornando a BR-116 uma rota para a conexão entre os bairros do Norte e do Oeste, trazendo novas conexões intraurbanas na cidade de Pelotas.

O quarto período não apresenta expansões muito significativas que gerassem mudança na acessibilidade, tanto por ser muito distante, ou por ser grande encurtador de caminho. Nesse período, há o aumento da trama da rede urbana, apresentando mais variedade de conexões e maior possibilidade de caminhos mínimos.

A obra de duplicação da BR-116 trouxe modificações inclusive para o movimento intraurbano na cidade de Pelotas. As obras trouxeram mais opções de deslocamento e novos trechos de conexão entre os bairros e seu entorno. A criação de viadutos, ligações em diferentes alturas e a construção de vias vicinais trouxe maior segurança na conexão intraurbana pelo entorno da BR.

Realizando a comparação entre os 4 períodos analisados, fica evidente, em todos os períodos, a importância do Centro Histórico como representativo de alta acessibilidade. Devido à sua morfologia em grelha e à sua localização central, com eixos que emanam a partir dele, o Centro Histórico demonstra grande estabilidade da medida de acessibilidade ao longo do tempo. Além disso, observa-se a relevância dos eixos estruturadores, que apresentam maior acessibilidade ao longo do tempo, refletindo no direcionamento do crescimento urbano, bem como no principal caminho de conexão entre os bairros.

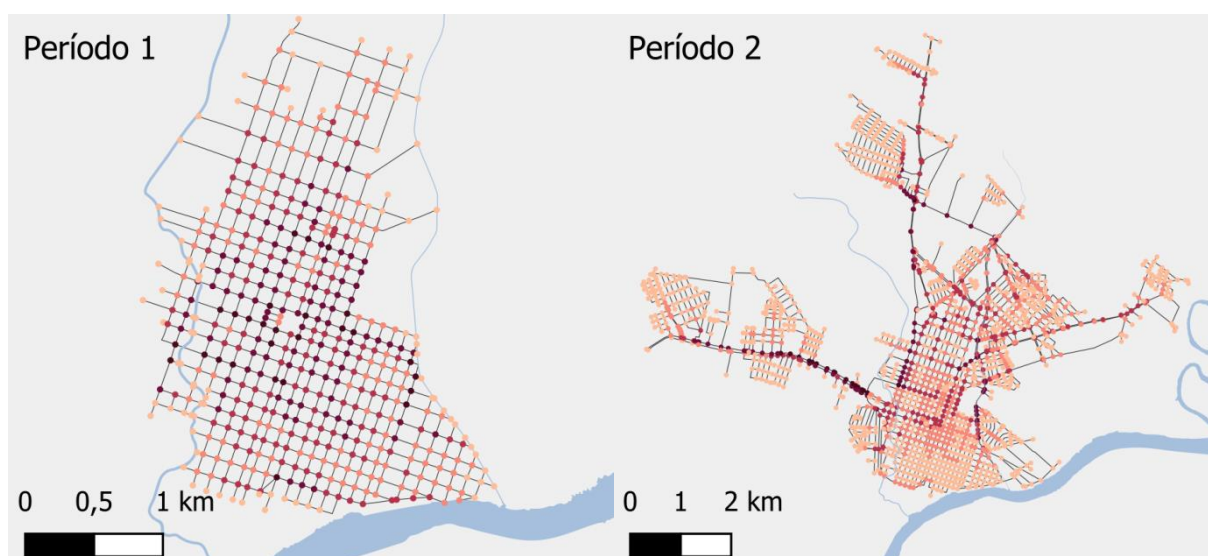
O padrão de distribuição analisado no caso da acessibilidade foi a comparação entre os valores médios da medida para cada um dos períodos. Conforme figura abaixo,

os valores normalizados de acessibilidade diminuíram ao longo do tempo. Conforme já mencionado, a acessibilidade é uma medida de distância relativa entre os vértices de uma rede. Observa-se uma queda nos valores da acessibilidade média em Pelotas ao longo do tempo (Quadro 12). Como os resultados foram normalizados, essa diminuição dos valores não pode ser atribuída ao aumento das distâncias que ocorre com o crescimento da cidade. Assim, pode-se relacionar a queda da acessibilidade média a fatores vinculados à forma da mancha urbana.

4.4.2. CENTRALIDADE POR INTERMEDIAÇÃO

O indicador de centralidade por intermediação identifica a hierarquia viária implícita no sistema, identificando as vias mais centrais que encurtam caminhos no sistema, sendo potencialmente estruturadoras dos deslocamentos. A medida consegue capturar as vias arteriais da cidade, responsáveis por conectar as distintas partes (bairros) mais afastadas.

Os resultados da Centralidade Freeman-Krafta para o sistema global ($R=n$) são apresentados na Figura 24, na sequência. Os mapeamentos são classificados com as mesmas cores, usando tonalidades diferentes que variam do claro ao escuro. A centralidade aumenta conforme a tonalidade escurece.



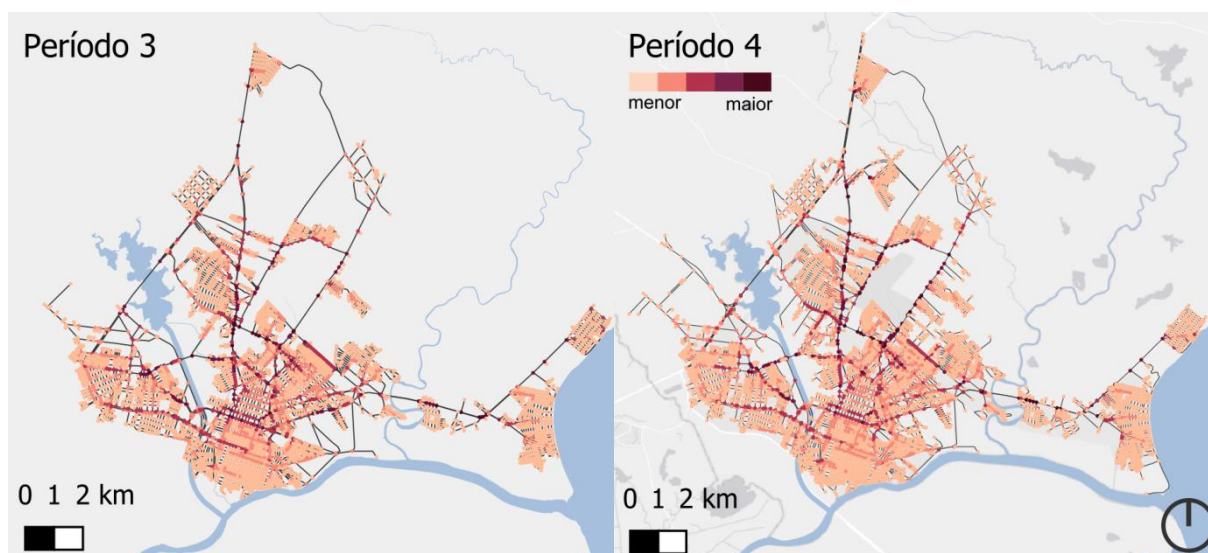


Figura 24 – Resultado Centralidade Freeman-Krafta nos quatro períodos analisados. Valores normalizados, classificados em quebras naturais, 5 classes. Elaboração: Pela autora (2024).

O resultado do período 1 trata de uma rede viária compacta, de modo que a homogeneidade da estrutura em grelha torna mais numerosas as alternativas de caminhos mínimos que aparecem entre cada par de vértices. Assim, a maior diferenciação entre os vértices será a distância que os separam dos demais elementos da rede. Uma vez que a medida de centralidade Freeman-Krafta é sensível às distâncias, e para o cálculo da medida foram consideradas as distâncias geométricas, os quarteirões que diferem em dimensões também apresentam variação nos resultados de centralidade.

Com o surgimento dos eixos estruturadores de crescimento no segundo período, há uma reorganização no resultado da Centralidade. O eixo Oeste, bastante próximo da malha reticular do primeiro período, é o que apresenta maior centralidade. Além disso, o eixo Norte assume importância na hierarquia viária implícita no sistema. Nota-se que vias do Centro Histórico que estabelecem a conexão entre esses dois eixos, também apresentam valores significativos de centralidade.

Essa reconfiguração reflete a dinâmica da expansão urbana, onde novos eixos estruturais passam a influenciar a distribuição da centralidade. Os eixos Oeste e Norte emergem como rotas essenciais, ampliando a conectividade e redistribuindo a centralidade ao longo do sistema viário. O eixo Noroeste também possui importância na estruturação do movimento intraurbano, porém um pouco menos pronunciada em comparação aos citados anteriormente.

A cada evolução do crescimento urbano de Pelotas, torna-se mais fácil observar a organização da malha viária e a centralidade torna evidente esse contexto. Os eixos de maior centralidade são o eixo Norte, Noroeste e Leste. O eixo Norte conecta inúmeras microrregiões da Região Administrativa das Três Vendas, enquanto o eixo Nordeste delimita e conecta as regiões Três Vendas e Areal. O eixo Leste proporciona acesso direto à região do Laranjal. Sua alta centralidade também pode ser justificada por ser a única alternativa de acesso para o trecho de urbanização, evidenciando um alto grau de vulnerabilidade do sistema.

Além disso, alguns caminhos representam importantes conexões entre os eixos de grande centralidade. Nesse sentido, a medida de centralidade por intermediação identifica as principais conexões estruturadoras do deslocamento, as quais coincidem com algumas vias de grande hierarquia. Dessa forma, destacam-se como importantes conexões entre os eixos de centralidade os seguintes caminhos: Avenida Bento Gonçalves, Dom Joaquim, Domingos de Almeida e Salgado Filho. Essas vias exemplificam bem a eficácia do método em identificar as principais rotas para o deslocamento intraurbano.

O eixo Oeste, que proporciona acesso à região do Fragata, já teve uma grande importância na centralidade urbana; no entanto, frente à mudança morfológica do sistema como um todo, sua influência diminuiu. A conexão criada sobre o Arroio Santa Bárbara e a BR-116 utilizada como via de conexão intraurbana têm relevância na centralidade, pois encurtaram distâncias entre localidades.

A evolução da malha urbana do período 3 para o período 4 não apresentou mudanças morfológicas significativas, como novas conexões que modificassem a estrutura do sistema e resultassem em alterações significativas na centralidade. Pode-se dizer que a estrutura viária se manteve semelhante à do período anterior. Os novos vértices da malha podem ter diversificado os caminhos mínimos, mas não geraram alteração nas vias estruturadoras de deslocamentos.

4.4.3. COMPARAÇÃO COM A GRELHA DE CONTROLE

A análise da deformação do sistema ao longo do tempo busca comparar cada período da rede urbana de Pelotas com sua correspondente grelha de controle.

A primeira comparação do padrão da distribuição dos valores encontrados de Centralidade de Pelotas e da grelha está apresentada na Figura 25.

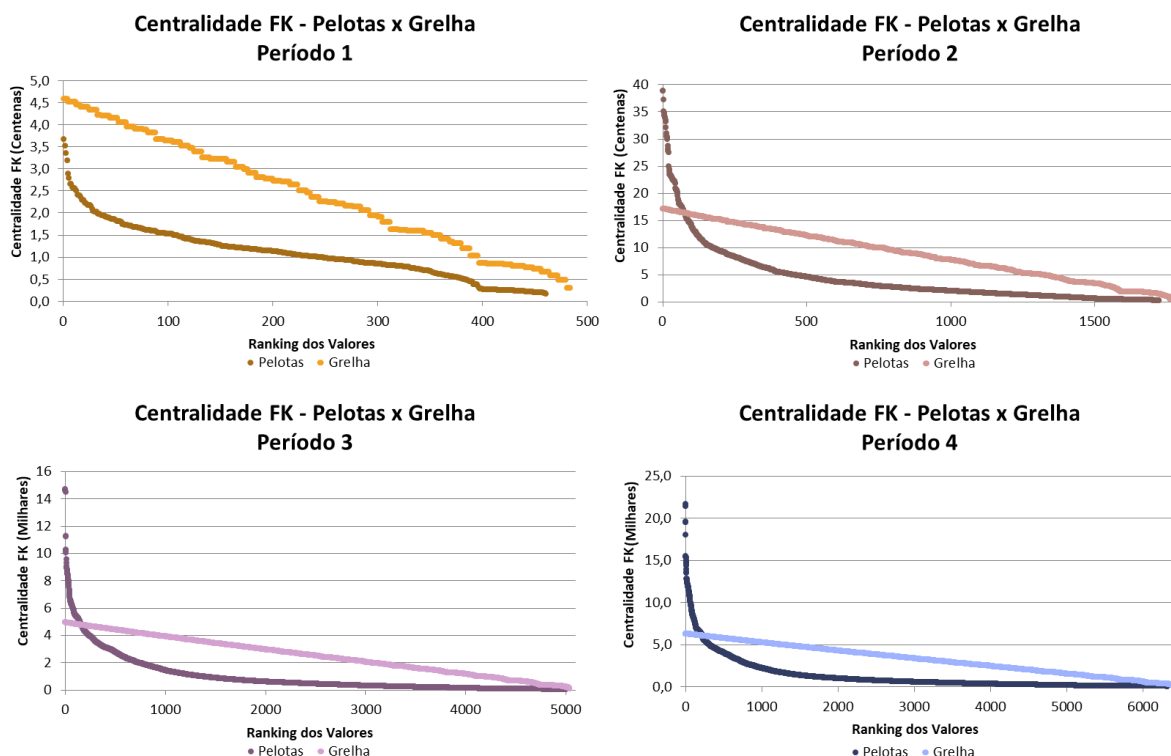


Figura 25 – Comparativo do padrão de distribuição entre os resultados de centralidade no caso de Pelotas e da grelha de controle, por período. Valores originais, ou seja, sem normalização.
Elaboração: Pela autora (2024).

Observa-se que há semelhanças nos padrões distributivos das quatro redes analisadas tanto no caso de Pelotas quanto na grelha de controle. A distribuição dos valores de Centralidade Freeman-Kraft na grelha apresenta características de uma função linear, com valores próximos à média. Em contraste, o gráfico dos resultados da cidade demonstra um comportamento do tipo lei de potência, em que poucos trechos possuem altíssima centralidade, enquanto a maioria apresenta valores baixos.

Do segundo ao quarto período no caso de Pelotas, todas as fases apresentam valores com maior amplitude do que os encontrados na grelha. No Período 2, o maior resultado é aproximadamente duas vezes superior ao maior resultado encontrado na grelha. À medida que a análise avança, essa diferença se acentua. No Período 3, o maior valor é cerca de três vezes maior, enquanto no Período 4, o valor superior excede de 3 a 4 vezes o maior valor encontrado na grelha.

O primeiro período deve ser tratado de forma isolada dos demais, pois é o único que se diferencia entre os períodos analisados. Visualizando o gráfico da distribuição, esse momento é o único que não apresenta valores superiores aos encontrados na grelha. Além disso, os resultados reais apresentam um declínio menos acentuado, com menor variação dos resultados.

A análise da distribuição dos dados de Centralidade pode ser associado ao que é descrito por Jiang (2008), o qual afirma que o sistema viário é organizado hierarquicamente, com a maioria das vias tendo pouca relevância, enquanto apenas uma minoria é primordial para o deslocamento.

Segundo conceito do autor, a estrutura viária segue o princípio da Lei de Pareto (80/20), onde aproximadamente 80% das vias são pouco conectadas, ou seja, abaixo da média de centralidade, enquanto cerca de 20% das vias são bem conectadas, acima da média. Dentro desses 20%, apenas 1% das vias são extremamente bem conectadas. A hipótese é que o fluxo de tráfego segue essa hierarquia, os 20% das vias mais importantes recebem 80% do fluxo de tráfego e o 1% delas recebem mais do que 20% do fluxo.

Em Pelotas, a estrutura radial da centralidade se estrutura no período 2 (1911-1967), a partir da formação de vetores de crescimento linear, ou seja, novos eixos radiais conectando loteamentos mais distantes. No período 3, os grandes conjuntos promovidos pela política habitacional, além do bairro Laranjal na orla da Lagoa, intensificam o surgimento dos grandes eixos radiais que partem do centro em várias direções. Esses eixos radiais formam a estrutura da centralidade em Pelotas até hoje. Algumas avenidas conectam parcialmente alguns desses eixos radiais, fazendo um papel de perimetrais parciais.

Para uma interpretação mais detalhada dos dados, é possível analisá-los de acordo com o Quadro 13, que reúne estatísticas descritivas para cada período.

	Período 1		Período 2		Período 3		Período 4	
	Pelotas	Grelha	Pelotas	Grelha	Pelotas	Grelha	Pelotas	Grelha
Ordem (N)	461	484	1.722	1.764	5.002	5.041	6.318	6.400
Média	109	241	436	881	996	2.520	1.242	3.199
Mínimo	16	30	26	58	44	98	49	110
Máximo	366	458	3.884	1.713	14.713	4.954	21.710	6.299
Amplitude	350	428	3.859	1.655	14.668	4.856	21.661	6.189
Razão de Palma	1,08	0,95	4,41	1,03	6,99	1,05	8,55	1,05

Quadro 13 – Dados descritivos para centralidade de Pelotas e de grelhas. Elaboração: Pela autora (2024).

Os resultados demonstrados numericamente no quadro acima podem ser observados visualmente no gráfico de boxplot, na Figura 26, abaixo.

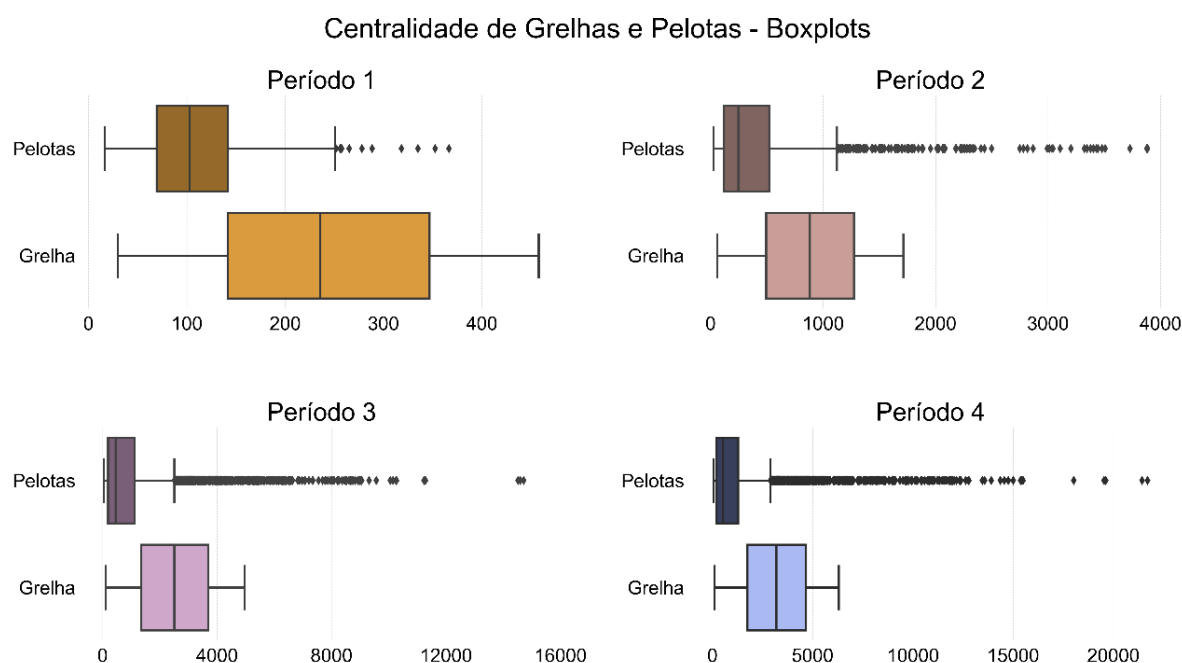


Figura 26 – Boxplots com a comparação dos dados de centralidade, com valores absolutos, de Pelotas e de sua respectiva grelha. Elaboração: Pela autora (2024).

A Razão de Palma é uma medida de desigualdade e ajuda a descrever o nível de hierarquia dos valores da medida de Centralidade por Intermediação para o caso real de Pelotas e para a grelha. Esse indicador calcula a razão entre a soma dos 10% maiores valores e dos 40% menores valores encontrados. Um valor alto da razão de Palma indica uma maior desigualdade, enquanto um valor baixo sugere uma distribuição mais equitativa de valores.

A Razão de Palma, para o caso das grelhas, demonstra uma distribuição mais equitativa dos valores de centralidade FK. A grelha permanece estável e equilibrada nos quatro períodos analisados, com a Razão de Palma variando pouco: 0,95, 1,03, 1,05, e 1,05. Os resultados mostram que as redes com traçado em grelha mantêm uma estrutura praticamente homogênea ao longo do tempo, sem grandes hierarquias ou concentração de valores.

Já para o caso de Pelotas, no Período 1, a Razão de Palma é 1,08, o que indica que a razão entre os 10% maiores valores e dos 40% menores valores é praticamente equilibrada, com uma leve diferença em favor dos maiores valores. À medida que a análise dos períodos avança, a Razão aumenta, significando um crescimento na diferença entre as categorias. Do período 2 ao 4, a soma dos 10% maiores valores foi se ampliando em relação aos 40% dos menores valores, alcançando resultados de 4,41, 6,99 e 8,55, respectivamente. Desse modo, Pelotas mostra uma tendência de aumento na hierarquia de valores conforme o tempo avança, com os maiores valores ficando progressivamente mais concentrados, indicando uma rede mais hierarquizada e desigual.

4.5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS – RELAÇÃO ENTRE FORMA E CONFIGURAÇÃO NO CRESCIMENTO DE PELOTAS

Buscando identificar as relações entre forma da cidade e da sua configuração interna ao longo do processo de crescimento, foi desenvolvido o cruzamento dessas informações para identificar as relações de espacialidade entre os elementos da rede e da forma urbana.

4.5.1. RELAÇÕES ENTRE ÁREA DA MANCHA E A REDE ESPACIAL

Salat et al. (2014) utilizam um indicador que relaciona a forma e a configuração urbana. Esse indicador é calculado a partir da proporção entre o Número Ciclométrico e a Área da Mancha Urbanizada (ciclos/km²), ou densidade de ciclos fechados. Considerando que o Número Ciclométrico é uma medida que representa a quantidade de ciclos, ou quarteirões, de uma rede urbana, esse indicador busca reconhecer a morfologia do tecido urbano. O objetivo é analisar a densidade e a granularidade do tecido, ou seja, a relação entre a ocupação dos blocos de quadras e quarteirões em relação à área urbana analisada. Nesse sentido, a utilização do

indicador permite a comparação entre diferentes períodos de evolução da rede e da mancha urbanizada de Pelotas, identificando maior ou menor densidade de ciclos e, conseqüentemente, revelando diferentes padrões de conectividade e estrutura urbana.

Dado o exposto, abaixo se apresenta, no Quadro 14, o resultado Análise da densidade de ciclos fechados (ciclos/km²) no caso de Pelotas, em cada um dos períodos analisados.

	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4
Nº ciclomático	334	1026	2711	3195
Área da mancha urbanizada (km ²)	5,15	23,66	46,32	64,19
Proporção do Nº ciclomático pela área da mancha urbanizada (ciclos/km ²)	64,81	43,37	58,52	49,77

Quadro 14 – Análise da Proporção entre Nº ciclomático pela Área da Mancha Urbanizada (ciclos/km²) no caso de Pelotas, em cada um dos períodos analisados. Elaboração: Pela autora (2024).

Ao longo da análise da cidade de Pelotas, a proporção entre a conectividade da rede urbana e a área urbanizada apresentou um comportamento oscilante, com variações tanto positivas quanto negativas nos resultados obtidos. O primeiro período analisado apresentou o maior valor, com 64,81 ciclos/km², representando a maior densidade de ciclos internamente a referência de 1 km². Esse alto valor do indicador está alinhado com o fato do primeiro loteamento de Pelotas ter sido planejado e ordenado a partir de regras que estipulavam a dimensão, geometria, proporção e ordem dos elementos do tecido urbano.

No entanto, ao longo do tempo, a expansão urbana sem o mesmo nível de regulação pode ter levado à oscilação do índice observado nos períodos subsequentes. Assim, houve um decréscimo de 33,11% do Período 1 para o Período 2, atingindo o menor valor de ciclos por km² entre todos os períodos analisados. Isso indica que, nesse segundo período, o crescimento da área ocupada foi maior que o crescimento da rede urbana. Esse fenômeno sugere que a expansão da cidade se deu por loteamentos descontínuos e uma rede viária esparsa.

Em seguida, do Período 2 para o Período 3, ocorreu um aumento de 34,91%, indicando uma tendência de recuperação após a queda anterior, embora o valor

ainda tenha ficado abaixo do registrado no Período 1. O aumento de valor aponta para um processo de preenchimento dos vazios herdados do período anterior.

Finalmente, do Período 3 para o Período 4, houve um novo decréscimo de 14,98%, resultando em uma proporção de cerca de 50 ciclos/km². Esse valor reflete um novo crescimento da mancha urbana, sugerindo que, embora a rede urbana tenha expandido em termos de área, a conectividade permaneceu em um patamar inferior ao inicial.

Nesse sentido, vale comparar os resultados observados em Pelotas com o caso de Barcelona, analisado por Salat et al. (2014). Com o plano Cerdà de 1860, Barcelona passou por uma reformulação urbana baseada em uma estrutura de superquadras, compostas por nove quadras de 113,30 metros de lado cada um, organizadas de forma regular e simétrica. Com essa configuração do tecido urbano o resultado do indicador apresentou um valor de 55 ciclos/km². Após 150 anos de evolução urbana da cidade espanhola, a partir da subdivisão de quadras maiores em menores, o que resultou no aumento da conectividade da rede, o indicador subiu para 76 ciclos/km².

Outros exemplos mencionados no texto de Salat et al. (2014) são cidades históricas que não passaram por ações de planejamento e se desenvolveram a partir da auto-organização, como Turim, que apresenta 117 ciclos/km², e Florença, que possui 156 ciclos/km², ambas cidades da Itália. Esses valores notavelmente altos indicam que essas cidades possuem uma granularidade dos quarteirões bastante pequena, o que significa que a malha urbana é composta por quadras menores, favorecendo a conectividade e a circulação.

- CENTRALIDADE POR PROXIMIDADE (ACESSIBILIDADE) E A FORMA DA MANCHA:

A análise numérica dos valores normalizados de acessibilidade média mostra que estes diminuíram ao longo do tempo. Conforme já mencionado, a acessibilidade é uma medida de distância relativa entre os vértices de uma rede. Observa-se uma queda nos valores da acessibilidade média em Pelotas ao longo do tempo (Figura 27). Como os resultados foram normalizados, essa diminuição dos valores não pode ser atribuída ao aumento das distâncias que ocorre naturalmente com o crescimento por extensão da cidade. Assim, pode-se relacionar a queda da acessibilidade média

a fatores vinculados à forma da mancha urbana, no caso a continuidade e compacidade.

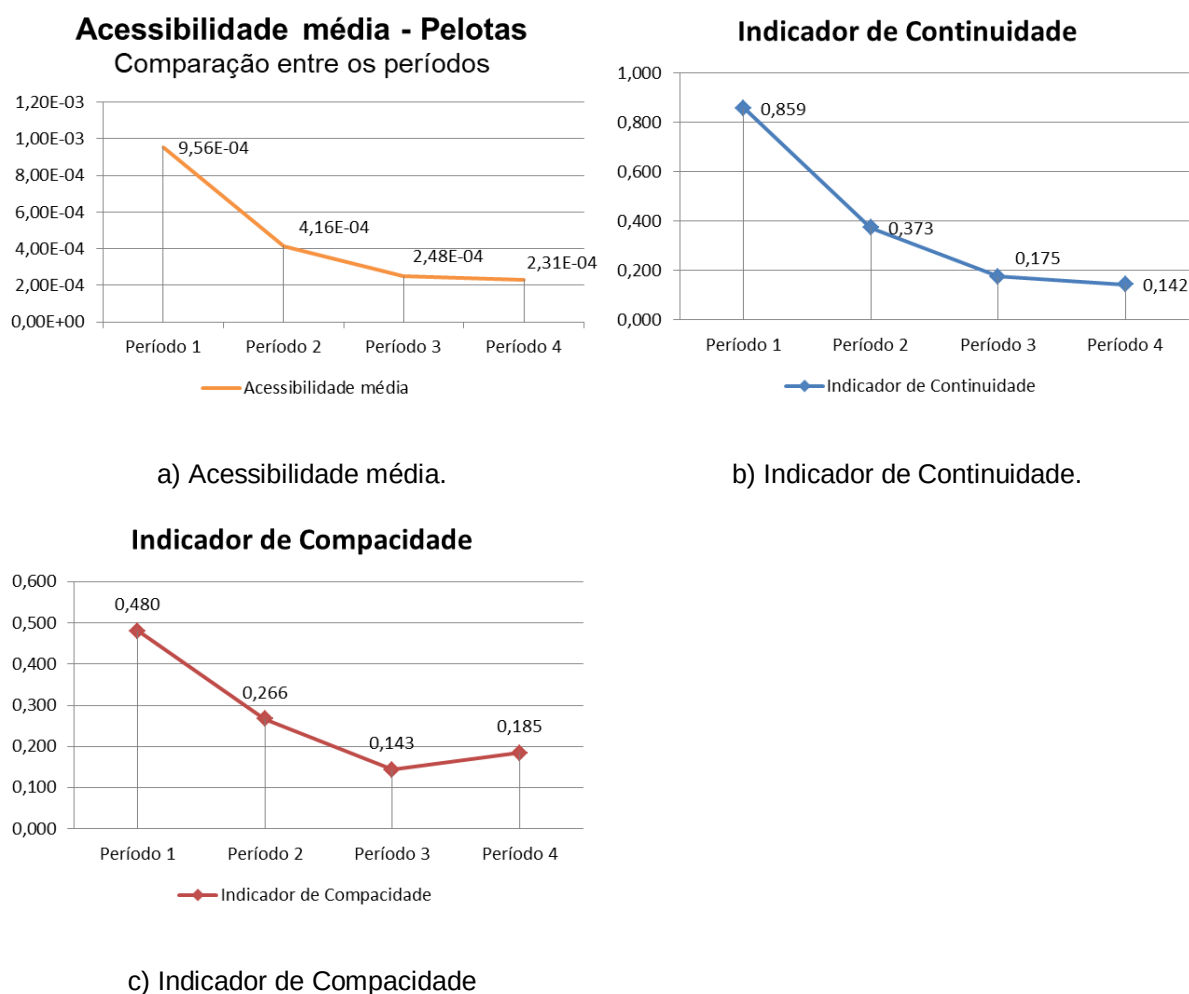


Figura 27 – Comparação dos valores médios normalizados de acessibilidade. Elaboração: Pela autora (2024).

Observa-se a tendência de que, quanto mais compacta a mancha urbana da cidade, maior a sua acessibilidade média, isto é, o sistema como um todo é mais acessível, tal como Paim (2015) observou para uma amostra de 29 cidades brasileiras.

Rigatti (2007) verifica para o caso de Porto Alegre que, ao longo de sua evolução, a centralidade morfológica (medida pelo núcleo de acessibilidade) tendeu a se deslocar para fora do centro histórico. Esse processo paulatino é, em grande parte, o responsável por alterações às vezes profundas no caráter e importância relativa de setores inteiros da cidade, afetando os padrões de uso e de movimento, a valorização ou desvalorização fundiária. Pelotas, tal como Porto Alegre, também possui um condicionante direcional para o seu crescimento, dado pela presença do

de áreas ambientais a sul. No entanto, em Pelotas, a análise da acessibilidade mostrou uma permanência do centro histórico no núcleo de espaços mais acessíveis. Com o crescimento da cidade, houve um prolongamento desse núcleo mais acessível na direção norte, porém o centro histórico, até o momento, ainda está incluído.

Em Pelotas, os eixos radiais de crescimento se originaram a partir da conexão direta com os tecidos urbanos preexistentes no Período 1. Diferentemente da situação de Porto Alegre, a malha urbana pelotense não possui uma via perimetral abrangente que conecte os bairros, reduzindo a disponibilidade de caminhos mínimos e desviando o movimento do centro. Assim, os principais fluxos de circulação ainda convergem para o centro, mantendo-o como um ponto de passagem essencial para o deslocamento dentro da cidade. Além disso, a existência de áreas não urbanizáveis internas à forma urbana, como a Barragem Santa Bárbara e o Aeroporto, atuou como limitadora de grandes intervenções viárias, dificultando a criação de novas conexões eficiente entre os diferentes eixos de crescimento urbano.

Dado o exposto, a permanência do centro histórico como o núcleo de acessibilidade mais importante em Pelotas foi reforçada por diversos fatores, incluindo a falta de vias perimetrais e obstáculos geográficos e ambientais, como as áreas de preservação. Esses elementos contribuíram para um modelo de crescimento direcionado, com menos opções de deslocamento que não passem pelo centro, resultando na continuidade da alta centralidade por proximidade ao centro histórico. Essa situação pode ser justificada pelos padrões morfológicos que se mantiveram articulados desde o Período 2 até a atualidade, sem sofrer alterações estruturais no padrão da malha viária, o que evitou que novas áreas ganhassem tanta relevância em termos de acessibilidade.

- SOBRE CENTRALIDADE POR INTERMEDIÇÃO, ÁREA URBANIZADA E DISTÂNCIA AO CENTRO:

Para identificar a distribuição da centralidade com o crescimento da mancha urbanizada, foi calculado um indicador que relaciona a Centralidade por Intermediação para diferentes raios de distância ao centro de Pelotas. A Figura 28 mostra os raios sobrepondo os resultados de centralidade.

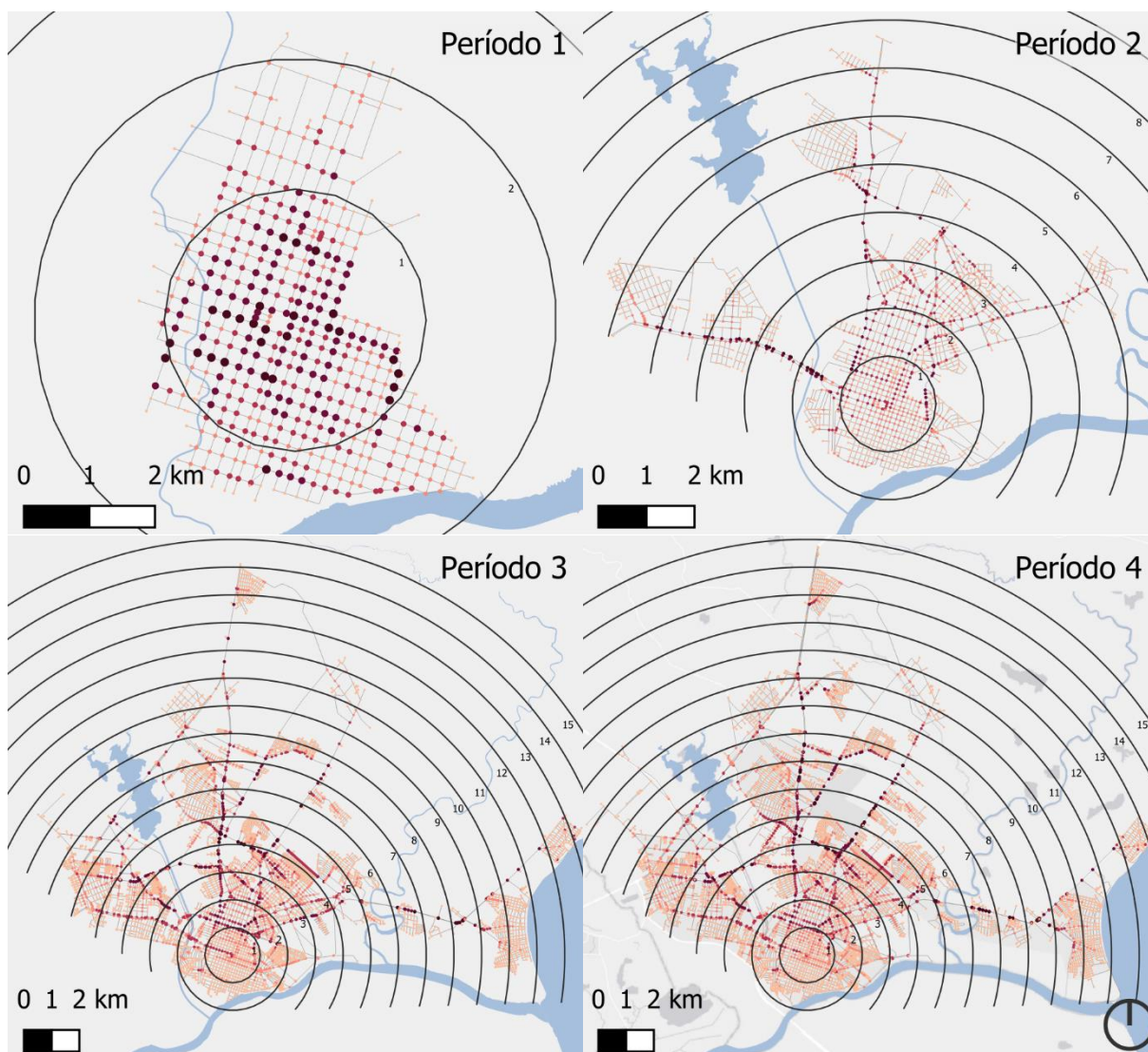


Figura 28 – Centralidade por intermediação – FK, com demonstração de cada um dos anéis.
Elaboração: Pela autora (2024).

Na sequência, compara-se a variação da centralidade com a distância ao centro fundacional ao longo do tempo. Foram considerados os resultados absolutos da Centralidade em todos os períodos, e o resultado demonstrado é o somatório dos valores encontrados em cada um dos vértices que estão contidos no anel analisado.

No primeiro período, a rede viária é bastante pequena e ocupa apenas três segmentos identificados, os Raios 1, 2 e 3. No segundo período, observa-se um crescimento, com a malha viária preenchendo oito raios. Os dois últimos períodos, terceiro e quarto, são preenchidos todos os 15 raios que abrangem completamente a malha viária, não havendo significativa expansão da rede viária entre o penúltimo e o último período, como demonstrado no Indicador de Compacidade.

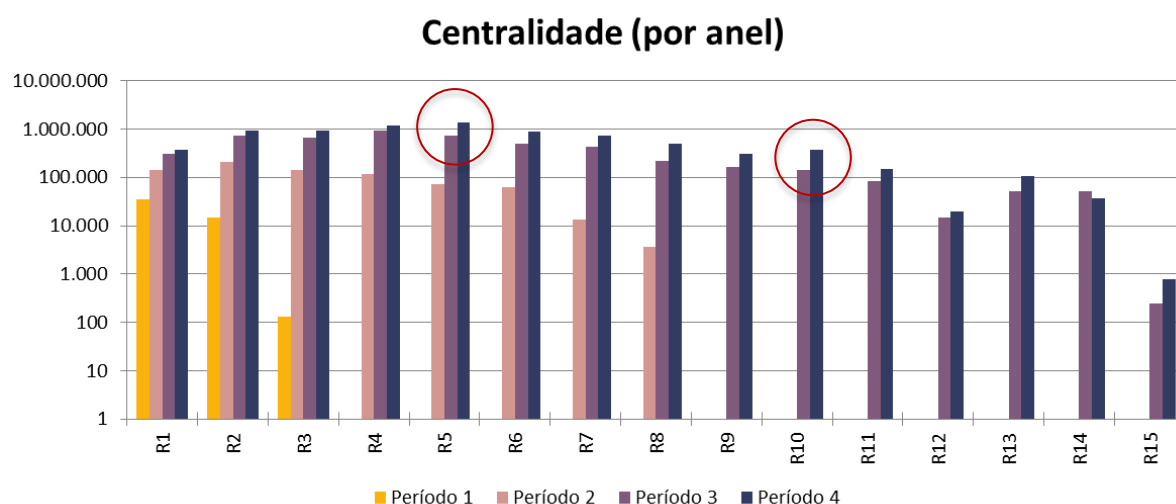


Figura 29 – Gráfico com o resultado da escala logarítmica dos valores absolutos da centralidade por intermediação FK em cada um dos anéis. Elaboração: Pela autora (2024).

No primeiro período, o maior valor de centralidade se concentra no raio R1. A rede viária, naquele momento, apresentava muita semelhança com uma malha do tipo grelha que é altamente conectada e possui uma distribuição de centralidade mais uniforme no centro, diminuindo em direção às bordas. Assim, conforme se afasta do centro, especialmente no raio R2, os vértices são menos conectados e de menor importância em relação à hierarquia da rede viária. Essa tendência se acentua ainda mais no raio R3, onde a centralidade é significativamente baixa, com a densidade de vértices representando apenas 1% do total do período. A presença de vértices pendentes e periféricos reforça a baixa conectividade e a baixa importância dos elementos nos raios R2 e R3 em relação à rede viária como um todo. Devido a esse resultado rarefeito da malha urbana, a Centralidade média diminui, o mesmo visualizado para a Centralidade Agregada média.

Apesar do crescimento, o centro histórico se mantém com alta centralidade até hoje. A estrutura da rede urbana tornou-se mais policêntrica, na qual novas áreas apareceram com potencial de tornarem-se subcentros. Esse é o caso de áreas no Raio 5 e no Raio 10, que pode ser visualizada na Figura 30.

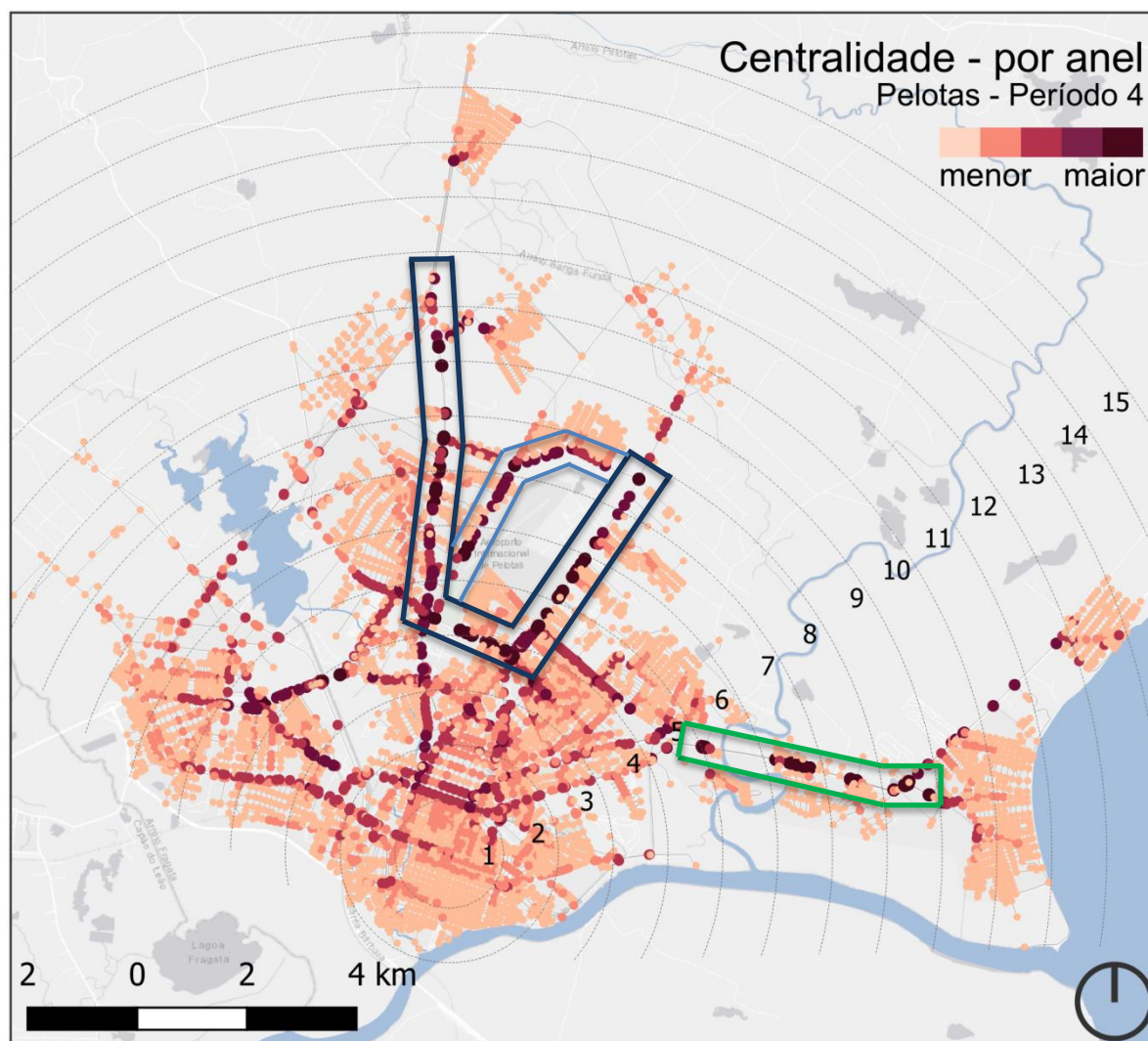


Figura 30 – Resultado da Centralidade por Intermediação – FK do Período 4, com demonstração de cada um dos anéis e ênfase nos eixos potenciais para se tornarem subcentros. Elaboração: Pela autora (2024).

O Raio 5 teve o resultado da Centralidade elevado desde o período 2. No entanto, ele se destaca nos períodos 3 e 4, atingindo o pico de maior Centralidade Agregada média de todos anéis analisados. Nessa área, ressaltase uma importante conexão viária que inclui o eixo de expansão Norte, o eixo Nordeste e uma via de grande relevância que conecta ambos os eixos. Além disso, essa via, que conecta o eixo de expansão Norte e o eixo Oeste, está parcialmente no R4 e parcialmente no R5.

O eixo de expansão Norte corresponde à Avenida Fernando Osório, enquanto o eixo Nordeste corresponde à Avenida Engenheiro Ildefonso Simões Lopes. A via que conecta esses dois eixos é a Avenida Senador Salgado Filho. Todas as vias citadas estão representadas pela poligonal azul escuro na Figura 30 e também no recorte aproximado da Figura 29.

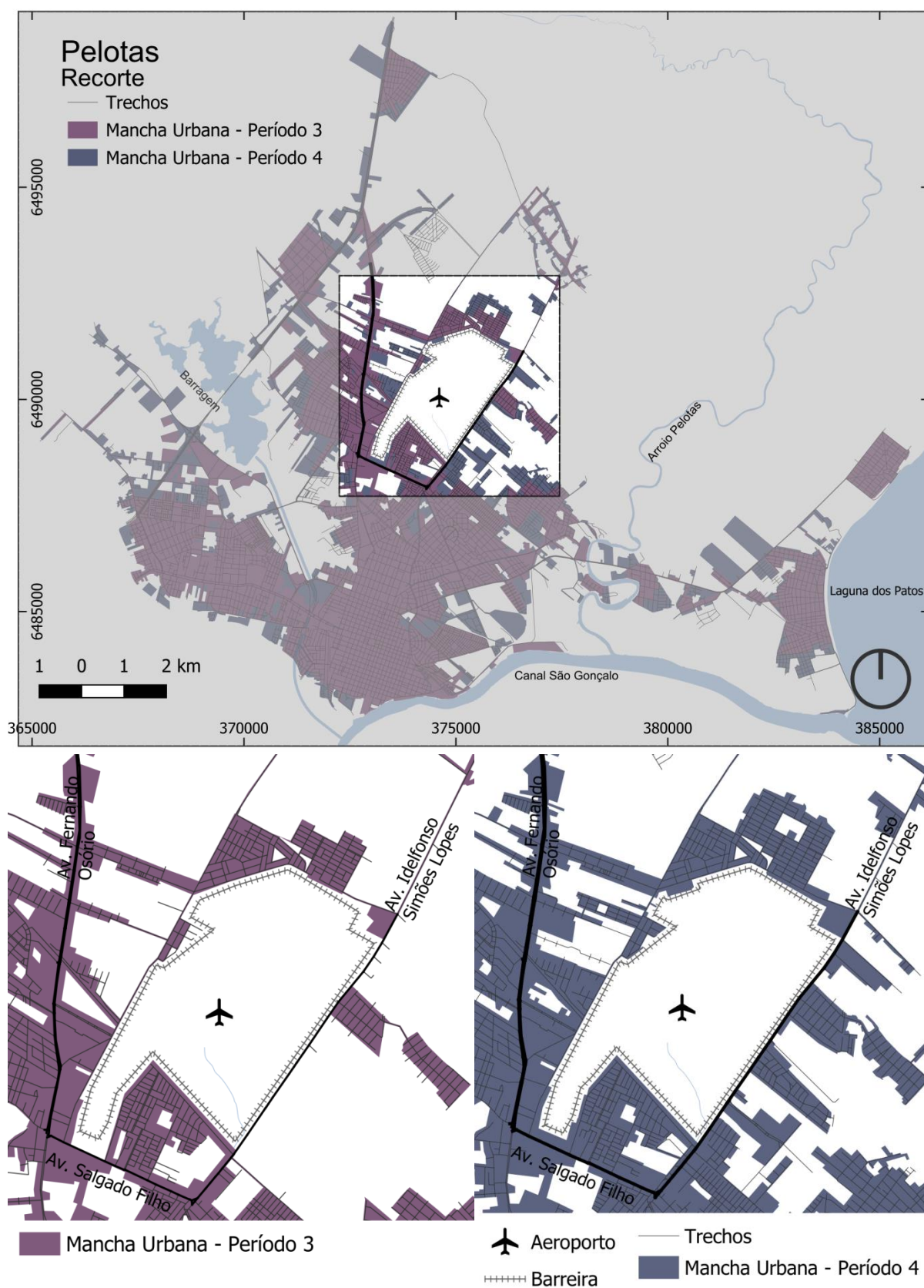


Figura 31 – Recorte urbano da cidade de Pelotas com aproximação em área próxima à Avenida Idelfonso Simões Lopes (linha preta espessa) e representação da mancha urbana do período (poligonal colorida). Local de ênfase do crescimento urbano representada pela poligonal vermelha. Elaboração: Pela autora (2024).

Essas avenidas em questão são os eixos de conexão da Região Administrativa das Três Vendas. Além de a Avenida Engenheiro Ildefonso Simões Lopes ser o limite entre esta região administrativa e a região Areal. Sendo vias significativas de conexão, tornaram-se eixos de crescimento urbano, ao longo das quais as aglomerações se instalaram e a urbanização se expandiu. Entretanto, essa expansão ocorreu apenas em um dos lados, pois no centro formado por essas avenidas encontra-se uma barreira que limita o crescimento urbano. Essa barreira engloba a área do aeroporto e seu cone de proteção, formando vazios urbanos que permanecerão sem ocupação enquanto essa atividade aeroportuária for mantida, o que cria uma interrupção na mancha urbana.

Durante o intervalo de tempo, alguns novos assentamentos foram sendo inseridos no tecido urbano. No entanto, esses assentamentos ainda estão separados espacialmente, com uma desconexão visível em relação à rede e à mancha urbana existente. Esse fato corrobora a ideia de que o processo de preenchimento das lacunas fundiárias exige não apenas sucessivas adições de porções urbanas, mas também um período prolongado para que essas novas áreas sejam integradas de maneira contínua à malha urbana. Os dois exemplos de interrupção da mancha urbana citados acima ilustram visualmente situações em que o perímetro da mancha urbanizada foi ampliado, de modo que essa falta de conexão interna foi detectada pelos indicadores de forma urbana, no item 4.2. Resultado dos Indicadores da Forma Urbana.

Entre os períodos 3 e 4, essas avenidas passaram por obras de melhoria de infraestrutura, o que contribuiu para aumentar a capacidade de tráfego e a conectividade entre as regiões que elas atravessam. Inclusive, a Avenida Senador Salgado Filho passou por obras de duplicação em determinado momento nos últimos 10 anos. Como resultado, a ambiência dessa avenida sofreu grande alteração na paisagem. Anteriormente, havia edificações grandes, em grandes lotes e alturas cerca de 6 metros, utilizadas como mercado atacadista, central de abastecimento hortifrutigranjeiros e indústrias. Além dessa característica, outra presença marcante na paisagem eram as casas unifamiliares de um e dois pavimentos, construídas pelas Companhias de Habitação (COHAB).

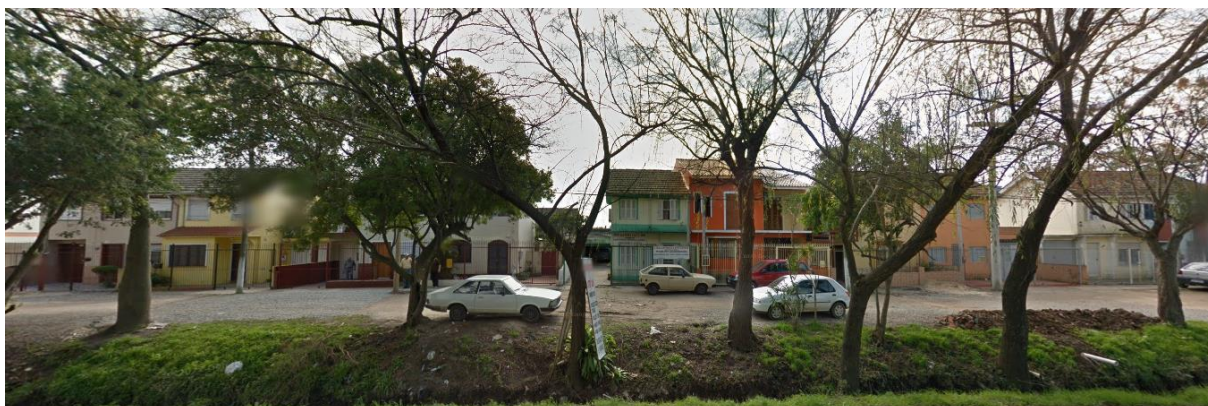
Atualmente, além desses exemplos citados que compõem a paisagem, instalaram-se uma grande rede de lojas de departamentos brasileira e uma grande rede de hipermercados rio-grandense. Esses comércios atacadistas se tornaram pontos focais de deslocamento e atração de pessoas, potencializando e sendo potencializados pela importante centralidade da avenida em questão. A visualização da ambiência da avenida é confrontada em dois períodos, no compilado de Figuras abaixo.



a) Imagem do mercado atacadista. Fonte: Google Street View, Agosto de 2011.



b) Imagem do mercado atacadista. Fonte: Google Street View, Setembro de 2022.



c) Imagem das casas unifamiliares de um e dois pavimentos, construídas pelas Companhias de Habitação (COHAB). Fonte: Google Street View, Agosto de 2011.



d) Imagem das casas unifamiliares de um e dois pavimentos, construídas pelas Companhias de Habitação (COHAB). Fonte: Google Street View, Setembro de 2022.



e) Imagem do terreno do Jockey Club de Pelotas, ao fundo. Fonte: Google Street View, Agosto de 2011.



f) A visual do Jockey Club de Pelotas cedeu espaço a grandes comércios atacadistas. Fonte: Google Street View, Setembro de 2022.



g) Imagem de edificação industrial. Fonte: Google Street View, Agosto de 2011.



h) Ambiência alterada em virtude da instalação de comércio especializado na venda de automóveis. Fonte: Google Street View, Setembro de 2022.

Figura 32 – Visuais da Avenida Senador Salgado Filho, Pelotas/RS.

Outros anéis que apresentam valores elevados de centralidade média são os Raios 8 e 9. Além de conter a continuação dos eixos de expansão Norte e Nordeste, esses anéis registram resultados elevados de centralidade, pois neles se encontram os vértices com os resultados mais elevados da via de acesso ao Laranjal, representada pela linha verde na Figura 30. A medida de Centralidade por Intermediação reflete a hierarquia implícita no sistema. Assim, a informação de que essa via é a única que dá acesso à Região Administrativa do Laranjal justifica os altos valores de centralidade.

Seguindo a avaliação do crescimento por meio da análise de raios concêntricos, fez-se a análise da mancha urbanizada e de seu crescimento nos segmentos de raios ao longo do tempo. Dando sequência na análise, foi utilizada a metodologia da taxa

de área urbanizada, apresentada no 2.3.1. Essa metodologia avalia a relação da área ocupada à medida que aumenta a distância ao centro.

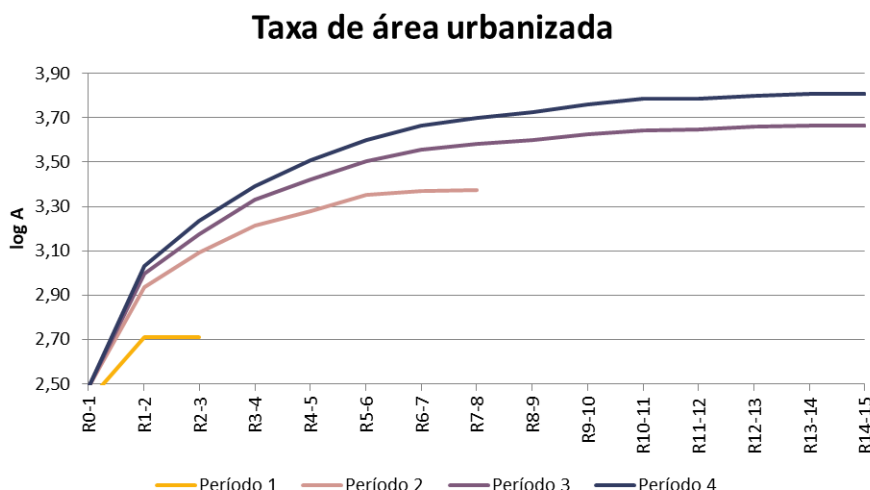


Figura 33 – Gráfico com o resultado da Taxa de área urbanizada. Elaboração: Pela autora (2024).

Esta medida, também denominada de dimensão radial, descreve a taxa com que a área ocupada aumenta conforme distância ao centro da cidade também aumenta. A Figura 33 mostra a representação gráfica dos cálculos logarítmicos do somatório da área, relacionando a área ocupada pela mancha urbana e a distância do ponto central. Nela, pode-se perceber que o crescimento da mancha urbana de Pelotas ao longo dos períodos tende a evoluir à medida que aumenta a distância ao centro. Nos quatro períodos, observa-se que há uma inclinação mais acentuada nas menores distâncias ao centro. A tendência é seguida de uma estabilização da curva com menores inclinações.

Conforme mencionado na revisão de literatura, as cidades possuiriam uma curva característica para sua dimensão radial, enquanto as áreas próximas ao centro da zona urbana apresentam crescimento mais acelerado da dimensão radial devido à maior intensidade de sua ocupação; em áreas periféricas, ocorre um crescimento mais lento, visto que estas geralmente ainda estão em processo de urbanização e, portanto, possuem mais vazios urbanos (White; Engelen; Uljee, 2016).

No caso dos resultados para Pelotas, observou-se essa mesma tendência geral. Nesse sentido, a taxa de área urbanizada seria um exemplo de algumas características urbanas que aumentam de forma similar em todas as escalas de

tamanho, ou seja, apresentam comportamentos universais de escala. Tais características exibem uma dimensão fractal e manifestam invariância de escala (Bettencourt; West, 2010).

O afastamento visualizado entre a curva do período 3 para o período 4 mostra o acréscimo de área em segmentos de anéis. Como há a estabilização da expansão da mancha urbanizada, está representada pela contenção da área nos mesmo quinze raios analisados

Na análise comparativa dos 4 períodos, fica evidente, a partir do Período 2, a importância dos eixos de crescimento para a medida configuracional de Centralidade. Observa-se que esses eixos mantêm estabilidade, com altos valores de centralidade ao longo do tempo. Além disso, nota-se uma invariância na estrutura do sistema viário. Essa análise revela que os eixos de crescimento desempenham um papel crucial na organização urbana de Pelotas, sustentando uma alta centralidade ao longo dos períodos estudados.

5. CONCLUSÃO

Esta dissertação buscou analisar a relação entre a forma urbana e sua estrutura interna no processo de crescimento, utilizando indicadores quantitativos para o caso da cidade de Pelotas/RS. Os objetivos específicos do trabalho são: identificar períodos significativos no processo da evolução de Pelotas/RS; relacionar os indicadores de forma e configuração, a fim de identificar perfis e padrões no crescimento morfológico de Pelotas.

Pode-se afirmar que a dissertação atingiu esses objetivos. Com base numa pesquisa histórica, bibliográfica e cartográfica, a dissertação identificou e sistematizou quatro períodos distintos que caracterizam a evolução da forma urbana de Pelotas, os quais foram base das análises por meio de indicadores. A seguir, retomam-se as questões de pesquisa e os principais achados.

a) À medida que a cidade cresceu como se alterou a configuração de sua rede espacial e a hierarquia da centralidade?

Cidade com origem planejada:

A ocupação inicial do assentamento que deu origem à cidade de Pelotas foi estruturada com base em esforços gerais de planejamento, sendo que o traçado adotado foi o xadrez, racional e reticulado, com quadras de dimensões similares. A limitação do sítio natural imposta ao desenvolvimento da cidade, aliada à regularidade do traçado xadrez observada no período da fundação da cidade, representou grande continuidade e compacidade à forma geral do assentamento. Essa característica implicou que, o primeiro período analisado registrou os maiores valores dos indicadores de continuidade e compacidade. Pela configuração da malha urbana, a rede exibiu uma grande quantidade de ciclos, facilmente alcançados e com alta proximidade. Além disso, pode-se afirmar que o sistema espacial era menos hierárquico quando comparado à situação hipotética da grelha de controle correspondente e especialmente, quando comparado aos demais períodos.

Crescimento com condicionantes do sítio natural e construído

A análise verificou que entre o Período 1 e o Período 2 houve um crescimento acelerado da urbanização e da população. Esse crescimento ocorreu por expansão territorial, passando de cerca 500 ha para 2.500 ha, perdendo consideravelmente a continuidade e a compacidade, apresentando fragmentação da forma, conforme exposto pelos indicadores da forma urbana.

Em Pelotas, a estrutura radial da centralidade se estrutura no período 2 (1911-1967), a partir da formação de vetores de crescimento linear, ou seja, novos eixos radiais conectando loteamentos mais distantes. A presença da Barragem Santa Bárbara e a criação do aeroporto condicionaram o crescimento da cidade, criando barreiras e direcionando espaços de crescimento. No período 3, os grandes conjuntos promovidos pela política habitacional, além do bairro Laranjal na orla da Lagoa, intensificam o surgimento dos grandes eixos radiais que partem do centro em várias direções. Esses eixos radiais formam a estrutura da centralidade em Pelotas até hoje. Essa expansão linear da rede refletiu no aumento das distâncias, no alongamento da mancha e na descontinuidade do tecido urbano, resultando em uma forma com reentrâncias.

A configuração da rede se tornou mais dispersa e com menor conectividade entre os vértices. O centro histórico manteve grande significância em relação à Centralidade por Proximidade, tornando-se o local com menor distância entre todos os outros caminhos possíveis. A rede nesse momento apresentou hierarquia viária que coincide com esses eixos criados, identificados como as vias centrais que direcionam o deslocamento do centro às áreas mais periféricas. O alongamento da forma urbana resultou em uma maior proporção de área por quarteirão e em uma maior distância média da rede viária.

Período 3 também apresentou uma nova etapa de expansão territorial, com ampliação da forma e da rede urbana, principalmente, devido ao surgimento do Bairro Laranjal e da Vila Princesa. As distâncias do centro à periferia se ampliaram novamente, refletindo mais uma vez em maior descontinuidade e menor compacidade da forma urbana. A disponibilidade de solo urbano interno à mancha urbanizada cresceu significativamente, gerando maior fragmentação da área urbanizada.

Consolidação e adensamento

Foi perceptível que houve uma estabilização no crescimento por expansão territorial em Pelotas entre o Período 3 e 4. Visto que as distâncias máximas permaneceram similares entre o centro e a periferia, o crescimento físico da cidade ocorreu pelo adensamento da mancha urbana. Esse adensamento se deu com a adição de novos elementos, como ruas e loteamentos, e também pelo preenchimento das reservas fundiárias, que representaram o crescimento de cerca de 40% da área urbanizada. A estabilização das distâncias e o crescimento da mancha urbanizada resultaram em um aumento da compacidade da forma urbana em relação ao período anterior.

Houve ampliação na rede urbana, mas o terceiro período estruturou a malha viária que se estabeleceu até o Período 4. Apesar desse crescimento, o centro histórico mantém altos resultados de Centralidade por Proximidade, ao mesmo tempo em que, visivelmente, as vias de alta hierarquia de centralidade por intermediação continuaram as mesmas.

b) Quais relações podem ser identificadas entre a forma da cidade e da sua configuração interna, ao longo desse processo de crescimento?

O crescimento da forma e da estrutura de Pelotas evidencia um processo dependente das condições iniciais (Batty, 2013). A cidade iniciou como loteamento planejado com traçado regular em grelha e seu crescimento posterior, sem controle da forma, implicou na perda de continuidade e compacidade. Este crescimento também foi influenciado por condicionantes naturais e pela localização de equipamentos e áreas institucionais de grande porte. Além disso, o processo de ocupação de áreas distantes a menores custos também pressionou o crescimento periférico. Nesse processo, a estrutura interna de Pelotas, que era no início bem conectada e com hierarquia interna homogênea, foi se alterando.

O indicador de densidade de ciclos fechados na rede (Salat et al, 2014) evidenciou um processo de alternância entre momentos de maior crescimento por expansão da mancha e momentos subsequentes de densificação da rede viária. Tal processo parece ser uma característica do *metabolismo das cidades* (Bortoluzzi da Silva, 2018). Nesse sentido, tal alternância não poderia ser considerada um padrão específico só de Pelotas.

Uma constatação importante desta dissertação é a permanência, ao longo do tempo, das vias consideradas centrais na estrutura interna de Pelotas. Um conjunto de vias constituiu uma ‘espinha dorsal’ robusta, que permaneceu estável nos últimos períodos. Esse resultado vai ao encontro do estudo desenvolvido por Strano et al. (2012), mostrando-se como mais um exemplo, agora do sul global e de um país em desenvolvimento, que mantém a configuração estruturante da rede viária com o crescimento e evolução da forma.

Outro aspecto a mencionar é que, ao longo da evolução de Pelotas, o Centro Histórico apresentou grande estabilidade configuracional, com altos valores de acessibilidade e também de centralidade. Essa situação não parece ser comum à maioria das cidades e sim decorrência de fatores específicos do crescimento de Pelotas, apontados no item 4.5.1. Para Rigatti (2007) o crescimento urbano não corresponde a um processo inexorável de perda de centralidade das áreas centrais, mas, o que realmente vai definir essa redução do papel relativo dos centros urbanos é o modo como morfologicamente são articuladas as expansões urbanas com os tecidos pré-existentes, incluindo-se aqui as grandes intervenções urbanas e especialmente as viárias. No caso de Pelotas, supõe-se que essa estabilidade tenha um papel relevante para a vitalidade e dinâmica sócio funcional do centro histórico, sendo que futuras intervenções viárias, tais como construção de vias perimetrais, devem ser estudadas de forma sistêmica e cuidadosa.

Considerações Finais

Deve-se mencionar que as conclusões aqui apresentadas estão baseadas em um estudo de caso e não permitem amplas generalizações. Futuros estudos poderão incluir outras cidades, com condições iniciais diferentes e analisar comparativamente semelhanças e diferenças em seu crescimento.

Uma contribuição dessa dissertação é o método aplicado para análise do crescimento urbano, baseado numa seleção de indicadores de forma e de estrutura da rede. Procurou-se conjugar diferentes técnicas e indicadores já disponíveis, principalmente na literatura internacional, aplicando-os a um estudo de caso no Brasil. Estudos de evolução da forma e estrutura urbana são escassos dada a grande dificuldade de obtenção dos dados em séries históricas comparáveis,

principalmente no Brasil. O método aqui apresentado pode ser replicado em outros estudos, pois depende principalmente da disponibilidade de dados de cartografia histórica e posterior elaboração e análise em ambiente de SIG (Sistemas de Informação Geográfica) e modelos configuracionais. Futuros estudos podem desenvolver análises do crescimento urbano utilizando medidas de centralidade ponderadas, por exemplo, incluindo população e atividades econômicas, para dar maior realismo às análises. No entanto, a disponibilidade desse tipo de dado em séries históricas é bastante limitada, conforme mencionado.

Esta dissertação também traz uma contribuição empírica, ao sistematizar a evolução de Pelotas nos quatro períodos propostos e sintetizar os diversos aspectos do contexto histórico e socioeconômico envolvidos no seu processo de crescimento.

Finalizando, esta dissertação contribuiu para descrever e compreender melhor os padrões espaciais complexos de crescimento urbano. Esta base de conhecimento é importante, no âmbito do planejamento urbano, para a identificação dos possíveis impactos da forma urbana e seu desempenho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMO, Pedro. A cidade COM-FUSA: a mão inoxidável do mercado e a produção da estrutura urbana nas grandes metrópoles latino-americanas. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 25–54, 2007.

ACIOLY, Claudio C.; DAVIDSON, Forbes. **Densidade urbana: um instrumento de planejamento e gestão urbano**. Rio de Janeiro, [Place of publication not identified]: MAUAD ; Institute for Housing and Urban Development Studies, IHS, 1998.

ANAS, Alex; ARNOTT, Richard; SMALL, Kenneth A. Urban Spatial Structure. *In*: UNIVERSITY OF CALIFORNIA TRANSPORTATION CENTER, 1997, UC Berkeley. **Anais [...]**. UC Berkeley: [s. n.], 1997. p. 1426–1464. Disponível em: <https://escholarship.org/uc/item/835049q3>. Acesso em: 21 jun. 2023.

BARTHELEMY, Marc *et al.* Self-organization versus top-down planning in the evolution of a city. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 2153, 2013.

BATTY, Michael. **A new theory of space syntax**. [S. l.: s. n.], 2004.

BATTY, Michael. **Cities and complexity: understanding cities with cellular automata, agent-based models, and fractals**. 1. paperback eded. Cambridge, Mass. London: MIT, 2007.

BATTY, Michael. Complexity in city systems: Understanding, evolution, and design. *In*: ROO, Gert de; SILVA, Elisabete A. (org.). **A planner's encounter with complexity**. Farnham, Surrey, England ; Burlington, VT: Ashgate, 2010. (New directions in planning theory).

BATTY, Michael. **The new science of cities**. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2013.

BENEVOLO, Leonardo. **A cidade e o arquiteto: metodo e história na arquitetura**. 2. eded. São Paulo: Perspectiva, 1991.

BETTENCOURT, Luís M. A. The Origins of Scaling in Cities. **Science**, [s. l.], v. 340, n. 6139, p. 1438–1441, 2013.

BETTENCOURT, Luis; WEST, Geoffrey. A unified theory of urban living. **Nature**, [s. l.], v. 467, n. 7318, p. 912–913, 2010.

BORSODORF, Axel. Cómo modelar el desarrollo y la dinámica de la ciudad latinoamericana. **EURE (Santiago)**, [s. l.], v. 29, n. 86, p. 37–49, 2003.

BRITTO, Natalia Daniela Soares Sá. Da cidade industrial segregada à cidade pós-industrial fragmentada: reflexões sobre a (re) produção do espaço urbano na cidade de Pelotas/RS. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 585–601, 2016.

BRITTO, Natalia Daniela Soares Sá. **Industrialização e desindustrialização do espaço urbano na cidade de Pelotas (RS)**. 2011. 108 f. Dissertação (Mestrado em

Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Rio Grande, 2011. Disponível em: <http://repositorio.furg.br/handle/1/2427>. Acesso em: 19 out. 2023.

BRITTO, Natália Daniela Soares Sá; SOBARZO, Oscar. NEXOS PRODUTIVOS E ESPACIAIS DA DINÂMICA IMOBILIÁRIA RECENTE: UM ESTUDO SOBRE A PRODUÇÃO RESIDENCIAL DE ALTO E MÉDIO PADRÃO EM PELOTAS (RS). **GEOgraphia**, [s. l.], v. 22, n. 49, 2020. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/geographia/article/view/38442>. Acesso em: 24 out. 2023.

CARRASCO, André De Oliveira Torres. O Processo De Produção Do Espaço Urbano Na Cidade De Pelotas: Subsídios Para Uma Reflexão Sobre O Desenvolvimento Das Relações De Desigualdade Entre Centro E Periferia. **Oculum Ensaios**, [s. l.], v. 14, n. 3, p. 595–611, 2017.

CASALI, Ylenia; HEINIMANN, Hans R. A topological analysis of growth in the Zurich road network. **Computers, Environment and Urban Systems**, [s. l.], v. 75, p. 244–253, 2019.

CHIARELLI, Liga Maria Ávila. **HABITAÇÃO SOCIAL EM PELOTAS (1987-2010)**. 2014. Tese (Doutorado em História) - Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://repositorio.pucrs.br/dspace/handle/10923/5786>.

CHOAY, Françoise. **O urbanismo: utopias e realidades: uma antologia**. 5. ed, 2a reimpressãoed. São Paulo: Perspectiva, 2003. (Estudos, v. 67).

CRUCITTI, Paolo; LATORA, Vito; PORTA, Sergio. Centrality measures in spatial networks of urban streets. **Physical Review E**, [s. l.], v. 73, n. 3, p. 036125, 2006.

CRUZ, Glenda Pereira da. **Espaço construído e a formação econômico-social do Rio Grande do Sul: uma metodologia de análise e o espaço urbano de Pelotas**. 1984. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) - Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1984.

DALCIN, Guilherme Kruger. **SIMULAÇÃO DOS IMPACTOS DO MERCADO IMOBILIÁRIO E DO AUMENTO DO NÍVEL DO MAR NO DESENVOLVIMENTO URBANO: Agentes e autômatos celulares aplicados à estimativa de cenários futuros em Imbé e Tramandaí, RS**. 2022. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/252785/001156416.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 8 set. 2023.

DALCIN, G; KRAFTA, R. **GAUS: Graph Analysis of Urban Systems**. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://github.com/gkdalcin/GAUS>.

ECHENIQUE, Marcial H. *et al.* Growing Cities Sustainably: Does Urban Form Really Matter?. **Journal of the American Planning Association**, [s. l.], v. 78, n. 2, p. 121–137, 2012.

ECHENIQUE, Marcial. **Modelos matemáticos de la estructura urbana**. Buenos Aires: Siap, 1975.

FARIA, Ana Paula Neto De. **ANÁLISE CONFIGURACIONAL DA FORMA URBANA E SUA ESTRUTURA COGNITIVA**. 2010. 321 f. Tede de Doutorado em Planejamento Urbano e Regional - Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/29133>.

FERRETO, Diego. Pelotas: produção do espaço intraurbano e segregação socioespacial. **Projectare: Revista de Arquitetura e Urbanismo**, [s. l.], v. 2, n. 12, p. 92–107, 2021.

FERRETTO, Diego. **Segregação socioespacial em cidades médias gaúchas: Caxias do Sul, Passo Fundo, Pelotas e Santa Maria**. 2018. Doutorado em Planejamento Urbano e Regional - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16139/tde-19122018-172558/>. Acesso em: 18 jan. 2024.

FREEMAN, Linton C. A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness. **Sociometry**, [s. l.], v. 40, n. 1, p. 35, 1977.

GALSTER, George *et al.* Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and measuring an elusive concept. **Housing Policy Debate**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 681–717, 2001.

GEHL, Jan. **Cidades para pessoas**. tradução: Anita Di Marco. Second editioned. São Paulo: Perspectiva, 2010.

GIL, Jorge *et al.* **Space Syntax Toolkit**. versão 0.3.10. The Bartlett School of Architecture, University College London (UCL): Space Syntax Laboratory, 2023.

GONÇALVES, Alice Rauber. **Indicadores de dispersão urbana**. 2011. Dissertação (Mestrado Planejamento Urbano e Regional) - Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/40404>.

GORDON, Peter; RICHARDSON, Harry W. Are Compact Cities a Desirable Planning Goal?. **Journal of the American Planning Association**, [s. l.], v. 63, n. 1, p. 95–106, 1997.

GUTIERREZ, Ester Judite Bendjouya. **Barro e Sangue: mão-de obra, arquitetura e urbanismo em Pelotas [1777-1888]**. 1. ed. Pelotas: Editora da UFPel, 2004.

HASSE, John E; LATHROP, Richard G. Land resource impact indicators of urban sprawl. **Applied Geography**, [s. l.], v. 23, n. 2, p. 159–175, 2003.

HILLIER, Bill; HANSON, Julianne. **The Social Logic of Space**. 1. ed. [S. l.]: Cambridge University Press, 1984. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/product/identifier/9780511597237/type/book>. Acesso em: 10 set. 2023.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Regiões de Influência das Cidades: 2018**, Rio de Janeiro, 2020. p. 192.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados: Pelotas**, [s. l.], 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/pelotas>.

JACOBS, Jane. **Morte e vida de grandes cidades**. 3. eded. São Paulo: WMF Martins Fontes, 2011.

JENKS, M.; BURTON, Elizabeth; WILLIAMS, Katie. **The Compact City: a Sustainable Urban Form?** 1st eded. Abingdon, Oxon: Taylor and Francis, 2003.

JIANG, Bin. Street Hierarchies: A Minority of Streets Account for a Majority of Traffic Flow. [s. l.], 2008. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/0802.1284>. Acesso em: 20 out. 2024.

KIRKLEY, Alec *et al.* From the betweenness centrality in street networks to structural invariants in random planar graphs. **Nature Communications**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 2501, 2018.

KRAFTA, R. Modelling Intraurban Configurational Development. **Environment and Planning B: Planning and Design**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 67–82, 1994.

KRAFTA, Romulo. **Notas de aula de morfologia urbana**. 1a edição. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2014.

KRAFTA, Romulo. Spatial self-organization and the production of the city. **Cybergeogeo**, [s. l.], 1999. Disponível em: <http://journals.openedition.org/cybergeogeo/4985>. Acesso em: 19 out. 2024.

KRAFTA, R. Urban Convergence: Morphology and Attraction. **Environment and Planning B: Planning and Design**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 37–48, 1996.

LAMAS, José M. Ressano Garcia. **Morfologia urbana e desenho da cidade**. 7a eded. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, Serviço de Educação e Bolsas, 2014.

LEGEBY, Ann. From Housing Segregation to Integration in Public Space: A Space Syntax Approach Applied on the City of Södertälje. **The Journal of Space Syntax**, [s. l.], v. 1, p. 92–107, 2010.

MAGALHÃES, Mario Osorio. **Opulência e cultura na Província de São Pedro do Rio Grande do Sul: um estudo sobre a história de Pelotas (1860-1890)**. 1993. Dissertação (Mestrado em História) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/112105>.

MARSHALL, Stephen; GONG, Yi; GREEN, Nick. Urban Compactness: New Geometric Interpretations and Indicators. In: D'ACCI, Luca (org.). **The Mathematics of Urban Morphology**. Cham: Springer International Publishing, 2019. (Modeling and Simulation in Science, Engineering and Technology). p. 431–456. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-12381-9_19. Acesso em: 20 ago. 2023.

MEDVEDOVSKI, N. S.; CARRASCO, A. O. T.; LIMA E SILVA, F. **Direito à Cidade e Habitação: Condicionantes institucionais e normativas para a implementação**

de políticas (programas e projetos) de urbanização de favelas no Município de Pelotas-RS. Pelotas: [s. n.], 2021. Disponível em: https://www.observatoriodasmetropoles.net.br/wp-content/uploads/2021/04/Relatorio-Final_Pelotas_UFPEL.pdf. .

MEIRELLES, João Vitor *et al.* Evolução das leis de escala urbanas: evidências do Brasil. **Revista de Morfologia Urbana**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. e00168, 2020.

MOURA, Rosa Maria Garcia Rolim de. **Habitação popular em Pelotas : 1980-1950 : entre políticas públicas e investimentos privados.** 2006. 249 f. Doutorado em História - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <https://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/2547>.

NEL, Darren; BRUYNS, Gerhard; HIGGINS, Christopher. **Urban Design, Connectivity and its Role in Building Spatial Resilience.** [S. l.: s. n.], 2018.

NETTO, Vinicius M.; KRAFTA, Romulo. A forma urbana como problema de desempenho: o impacto de propriedades espaciais sobre o comportamento urbano. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 157, 2009.

NEUMAN, Michael. The Compact City Fallacy. **Journal of Planning Education and Research**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 11–26, 2005.

OJIMA, Ricardo. **Análise comparativa da dispersão urbana nas aglomerações urbanas brasileiras : elementos teóricos e metodológicos para o planejamento urbano e ambiental.** 2007a. - [s.n.], [s. l.], 2007. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/415550>. Acesso em: 19 jun. 2023.

OJIMA, Ricardo. Dimensões da urbanização dispersa e proposta metodológica para estudos comparativos: uma abordagem socioespacial em aglomerações urbanas brasileiras. **Revista Brasileira de Estudos de População**, [s. l.], v. 24, n. 2, p. 277–300, 2007b.

PAIM, Daniel Trindade. **Comportamento agregado da medida de acessibilidade na descrição da morfologia urbana.** 2015. 258 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015. Disponível em: <http://guaiaca.ufpel.edu.br:8080/handle/prefix/5206>.

PANERAI, Philippe. **Análise urbana.** Brasília: Editora UnB, 2006.

PELOTAS, Prefeitura Municipal. **I Plano Diretor de Pelotas.** Pelotas: Prefeitura Municipal, 30 maio 1968.

PELOTAS, Prefeitura Municipal. **II Plano Diretor de Pelotas.** Integrado ao Plano de Desenvolvimento Urbano do Município de Pelotas. Pelotas: Prefeitura Municipal, 1980.

PELOTAS, Prefeitura Municipal. **III Plano Diretor de Pelotas.** Compilado da Lei Nº 5.502 de 2008 e Lei Nº 6.636 de 2018. Institui o Plano Diretor Municipal e estabelece as diretrizes e proposições de ordenamento e desenvolvimento territorial no

Município de Pelotas, e dá outras providências. Pelotas: Prefeitura Municipal, 3 out. 2018. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/plano-diretor-pelotas-rs>.

PELOTAS, Prefeitura Municipal. **Portal de Informações Geográficas da Prefeitura Municipal de Pelotas – GeoPelotas**. Pelotas, 2023. Disponível em: <https://geopelotas-pmpel.hub.arcgis.com/>.

PEREIRA, Rafael Henrique Moraes *et al.* TD 2802 - Forma urbana e mobilidade sustentável: evidências de cidades brasileiras. **Texto para Discussão**, [s. l.], p. 1–66, 2022.

PERES, Otávio Martins. **Crescimento Urbano e Hidrografia: dinâmicas morfológicas e articulação à paisagem natural**. 2010. 144 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2010. Disponível em: <http://guaiaca.ufpel.edu.br/handle/prefix/5035>.

PERES, Otavio Martins; POLIDORI, Mauricio Couto. Crescimento urbano e hidrografia natural: conflitos e articulações no espaço-tempo. *In*: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, 2011, Rio de Janeiro. **ANAIS DO XIV ENANPUR**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2011. Disponível em: <https://anais.anpur.org.br/index.php/anaisenanpur/article/view/898>.

PERES, Otávio Martins; POLIDORI, Maurício Couto. Simulação de crescimento, morfologias e o papel da hidrografia na dinâmica de expansão urbana. *In*: XIII CONFERÊNCIA IBEROAMERICANA DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS, 2011, Toluca-México. **XIII ConfibSIG**. Toluca-México: UAEM, 2011. p. 23. Disponível em: <http://www2.ufpel.edu.br/faurb/laburb/down.php?d=arquivos/110523154809F0.pdf&t=Confibsig.Peres%20ET4-13%20Rec.Hidr.Articulado.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2023.

PINTO, J. V. **Contribuições para estudo do “Programa Minha Casa, Minha Vida” para uma cidade de porte médio, Pelotas-RS: caracterização das empresas construtoras e incorporadoras privadas e inserção urbana**. 2016. 300 f. Dissertação do Programa de Pós- Graduação em Arquitetura e Urbanismo - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2016. Disponível em: https://drive.google.com/drive/folders/1A26sPRMA8j_IZRjz_H8qd2qlpX7Ac7yB. Acesso em: 22 jun. 2023.

POLIDORI, Maurício Couto. **Crescimento urbano e ambiente: Um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade**. 2004. 353 f. Tede de Doutorado em Ecologia - Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2004.

PORTA, Sergio; CRUCITTI, Paolo; LATORA, Vito. The network analysis of urban streets: A dual approach. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, [s. l.], v. 369, n. 2, p. 853–866, 2006a.

PORTA, Sergio; CRUCITTI, Paolo; LATORA, Vito. The Network Analysis of Urban Streets: A Primal Approach. **Environment and Planning B: Planning and Design**, [s. l.], v. 33, n. 5, p. 705–725, 2006b.

PORTUGALI, Juval. **Self-Organization and the City**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2000. (Springer Series in Synergetics). Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-04099-7>. Acesso em: 18 jun. 2023.

RAUBER, Alice; KRAFTA, Romulo. Alexander's Theories Applied to Urban Design. **Urban Science**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 86, 2018.

RIBEIRO, Fabiano. A física das cidades. **Revista de Morfologia Urbana**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. e00159, 2020.

RICHARDSON, Harry W. A estrutura espacial urbana. In: ECONOMIA REGIONAL : TEORIA DA LOCALIZAÇÃO, ESTRUTURA URBANA E CRESCIMENTO REGIONAL. Rio de Janeiro: Zahar, 1975. p. 127–160.

SÁ BRITTO, N. D. S. Da cidade industrial segregada à cidade pós-industrial fragmentada: reflexões sobre a (re)produção do espaço urbano na cidade de Pelotas-RS. **Geosp – Espaço e Tempo**, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 585–601, 2016.

SALAT, Serge; BOURDIC, Loeiz; LABBE, Françoise. BREAKING SYMMETRIES AND EMERGING SCALING URBAN STRUCTURES: A Morphological Tale of 3 Cities: Paris, New York and Barcelona. **International Journal of Architectural Research: ArchNet-IJAR**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 77, 2014.

SEVTSUK, Andres. Analysis and Planning of Urban Networks. In: ALHAJJ, Reda; ROKNE, Jon (org.). **Encyclopedia of Social Network Analysis and Mining**. New York, NY: Springer New York, 2018. p. 1–13. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-1-4614-7163-9_43-1. Acesso em: 20 jun. 2023.

SEVTSUK, Andres. **Path and Place: A Study of Urban Geometry and Retail Activity in Cambridge and Somerville, MA**. 2010. 215 f. Tese (PhD em Urban Studies and Planning) - Massachussets Institute of Technology (MIT), Cambridge, 2010.

SEVTUK, Andres; AMINDARBARI, Reza. Does metropolitan form affect transportation sustainability? Evidence from US metropolitan areas. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, [s. l.], v. 48, n. 8, p. 2385–2401, 2021.

SOARES, Paulo. Del proyecto urbano a la producción del espacio: morfología urbana de la ciudad de Pelotas (1812-2000). [s. l.], 2002. Disponível em: <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.1.2623.6567>. Acesso em: 22 jun. 2023.

SOARES, Paulo Roberto Rodrigues. Produção imobiliária e crescimento urbano em cidades médias: Pelotas e Rio Grande-RS. In: SILVEIRA, R. L. L.; PEREIRA, P. C. X.; UEDA, V. (org.). **Dinâmica imobiliária e reestruturação urbana na América Latina**. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2006. p. 159–192.

SPECK, Jeff. **Cidade caminhável**. 1. ed. [S. l.]: Perspectiva, 2017.

STRANO, Emanuele *et al.* Elementary processes governing the evolution of road networks. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 296, 2012.

VARA, Maria de Fátima Santos da. **Estratégias da população de baixa renda na produção do espaço urbano: o caso do Loteamento Ceval em Pelotas – RS.** 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Rio Grande, 2009. Disponível em: <https://www.repositorio.furg.br/handle/1/2418>.

VIEIRA, Sidney Gonçalves. **A fragmentação social do espaço urbano. Uma análise da (re) produção do espaço urbano em Pelotas, RS.** 1997. Dissertação (Mestrado Planejamento Urbano e Regional) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/ndh/files/2019/06/fragmenta%C3%A7%C3%A3o-social-espa%C3%A7o-urbano-pelotas.pdf>. Acesso em: 19 out. 2023.

WHITE, Roger; ENGELN, Guy; ULJEE, Inge. **Modeling cities and regions as complex systems: from theory to planning applications.** Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2016.

WOLSINK, Maarten. 'Sustainable City' requires 'recognition'—The example of environmental education under pressure from the compact city. **Land Use Policy**, [s. l.], v. 52, p. 174–180, 2016.

7. APÊNDICES

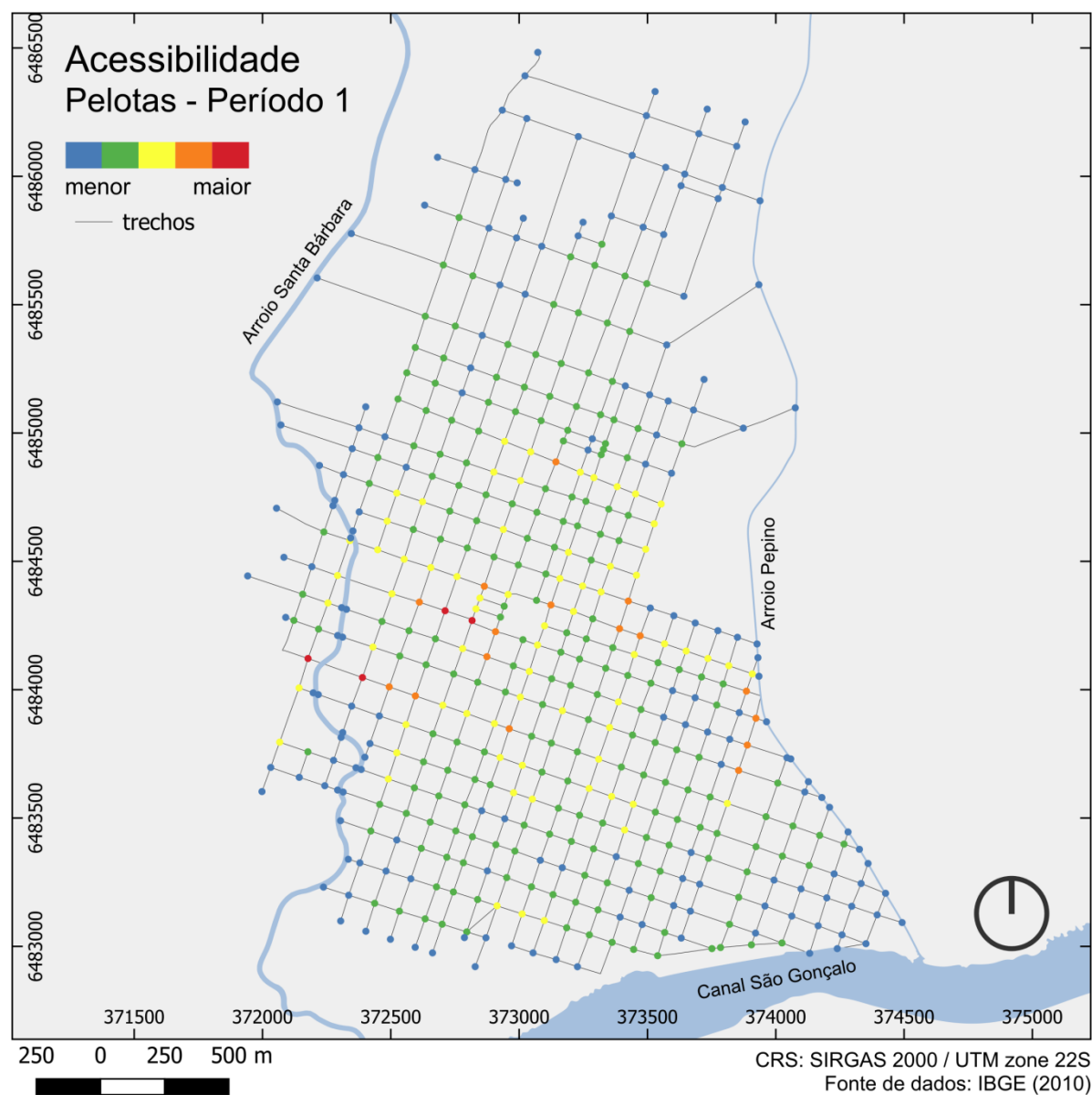


Figura 34 – Resultado da Centralidade por Proximidade de Pelotas/RS para o Período 1. Elaboração: Pela autora (2024).

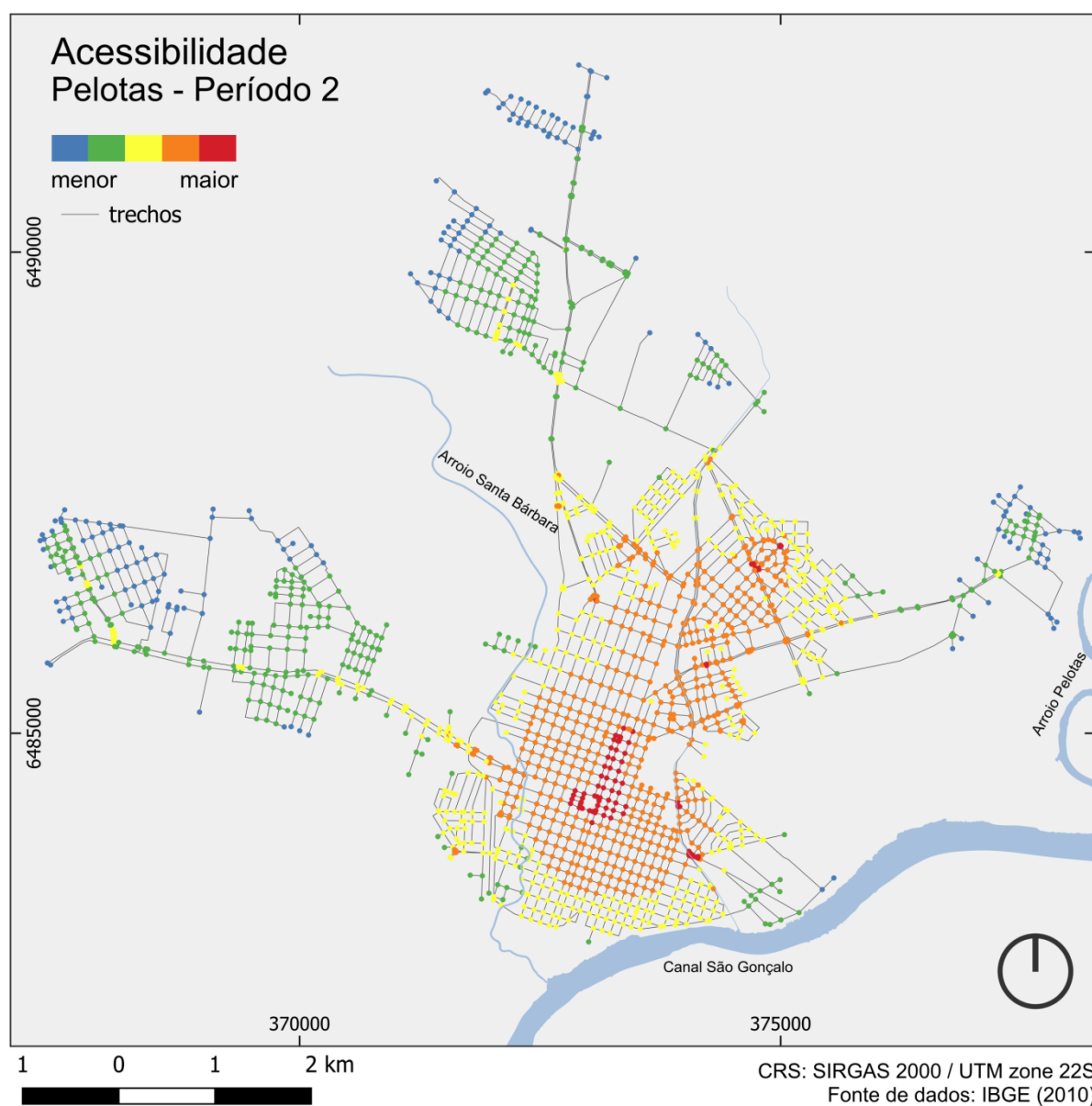


Figura 35 – Resultado da Centralidade por Proximidade de Pelotas/RS para o Período 2. Elaboração: Pela autora (2024).

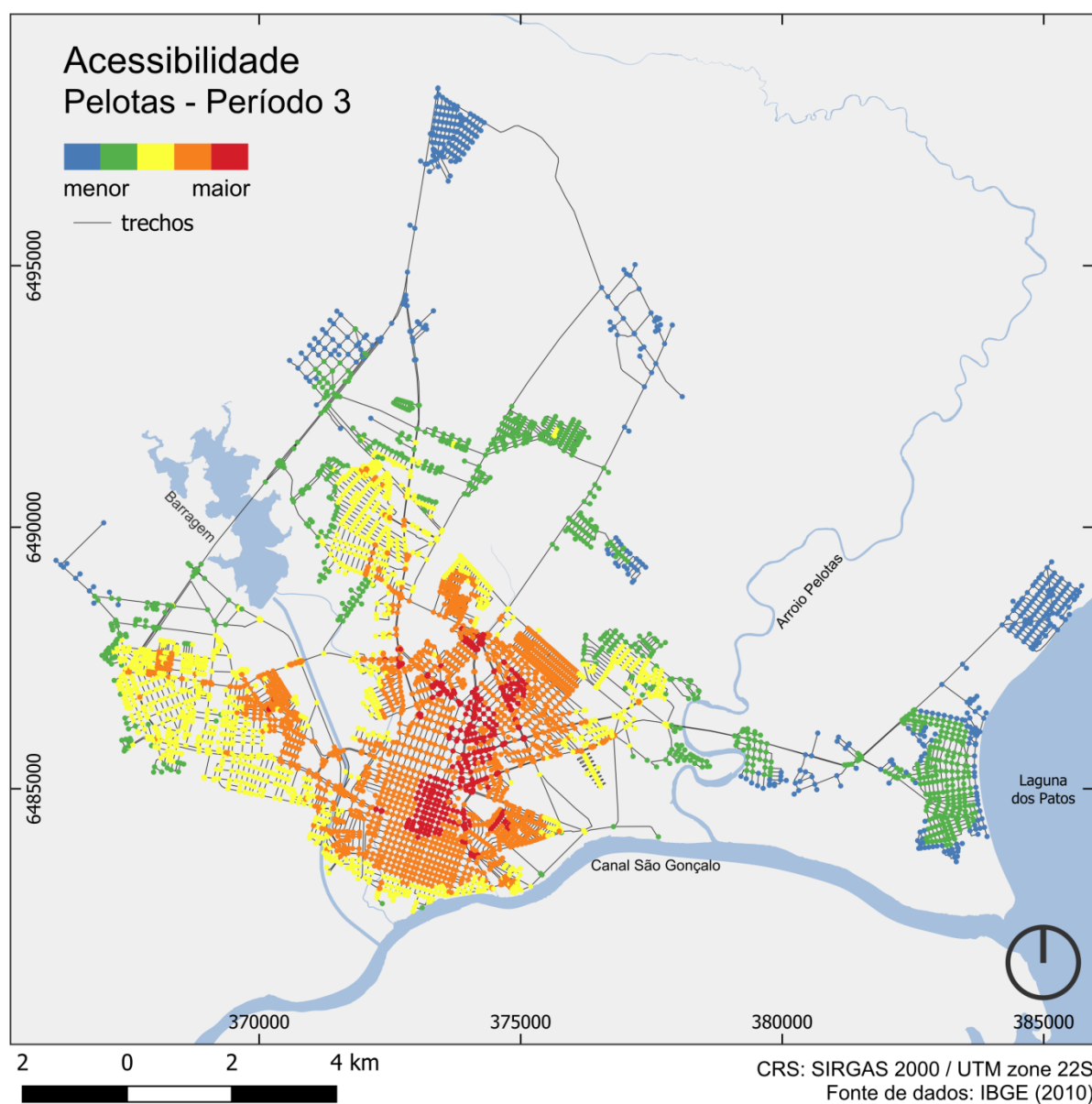


Figura 36 – Resultado da Centralidade por Proximidade de Pelotas/RS para o Período 3. Elaboração: Pela autora (2024).

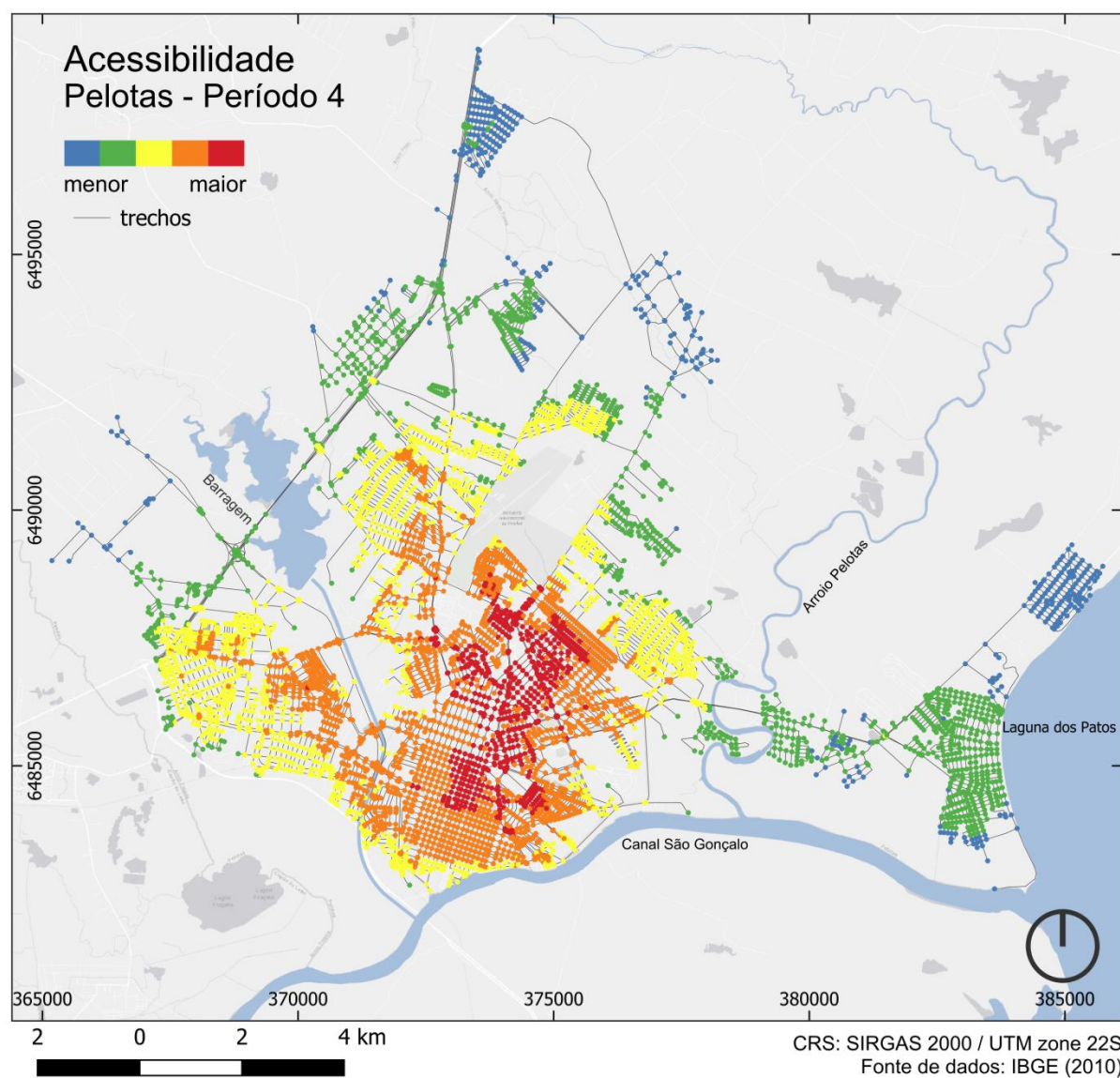


Figura 37 – Resultado da Centralidade por Proximidade de Pelotas/RS para o Período 4. Elaboração: Pela autora (2024).

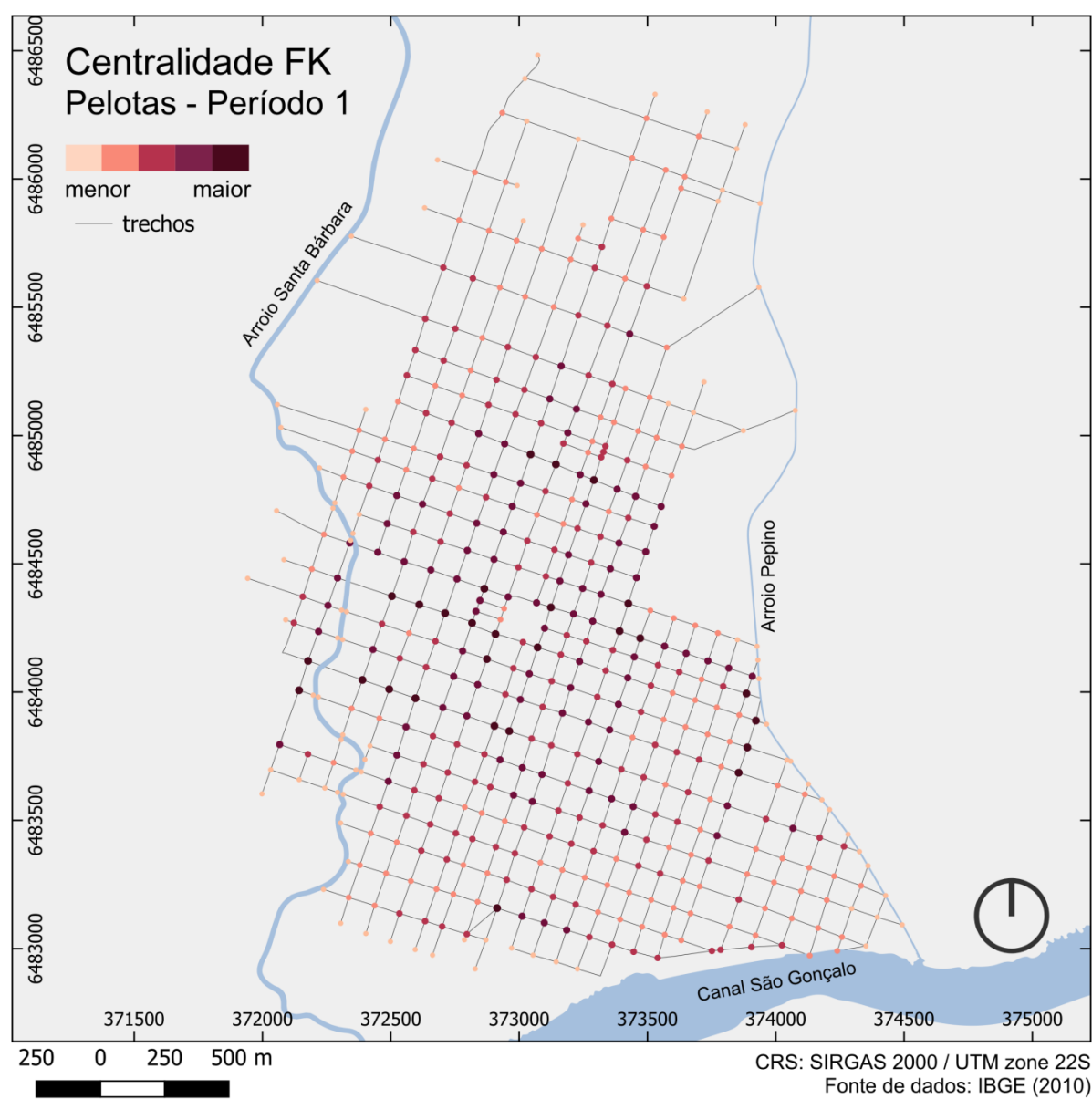


Figura 38 – Resultado da Centralidade por Intermediação de Pelotas/RS para o Período 1.
Elaboração: Pela autora (2024).

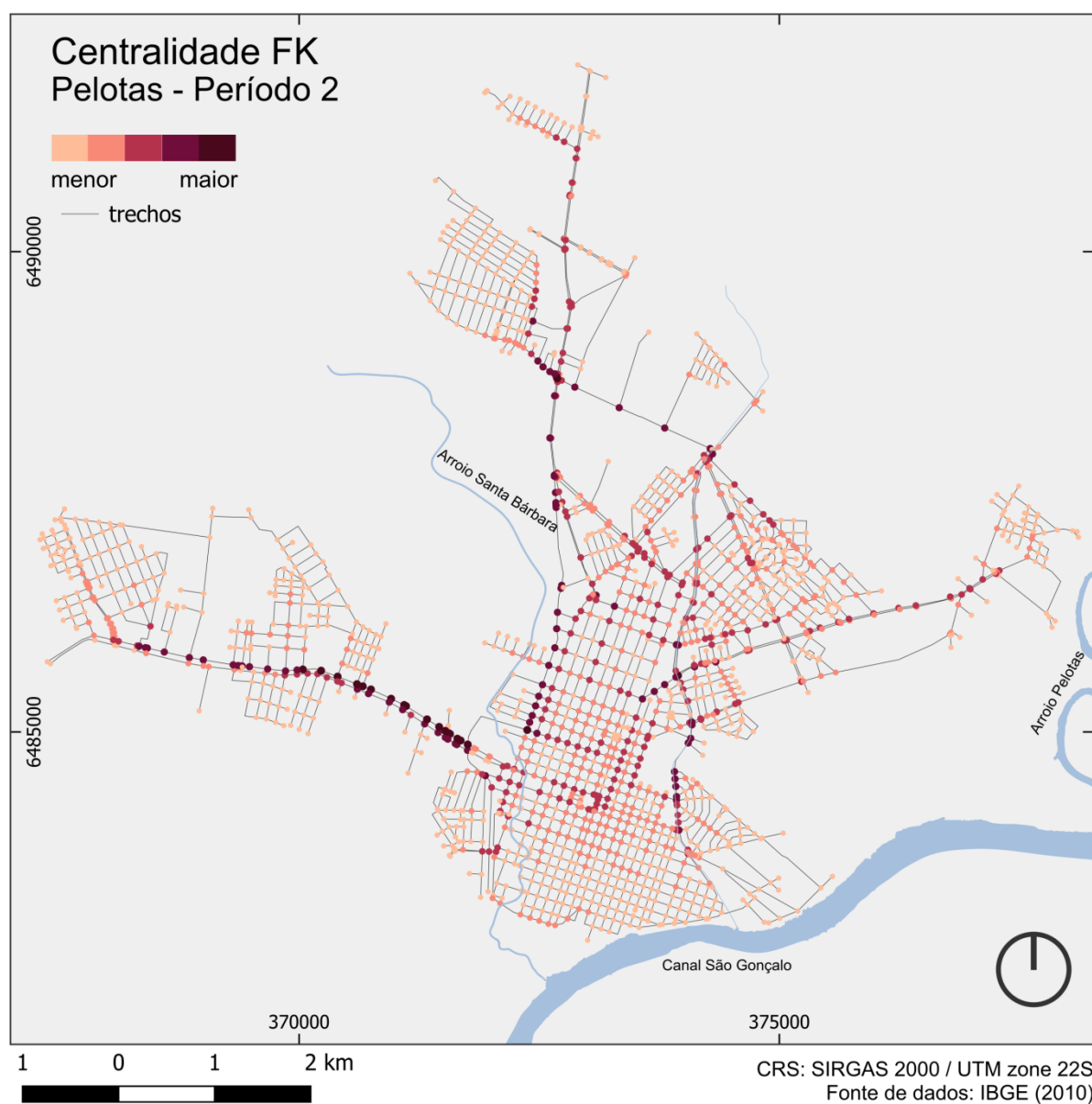


Figura 39 – Resultado da Centralidade por Intermediação de Pelotas/RS para o Período 2.
Elaboração: Pela autora (2024).

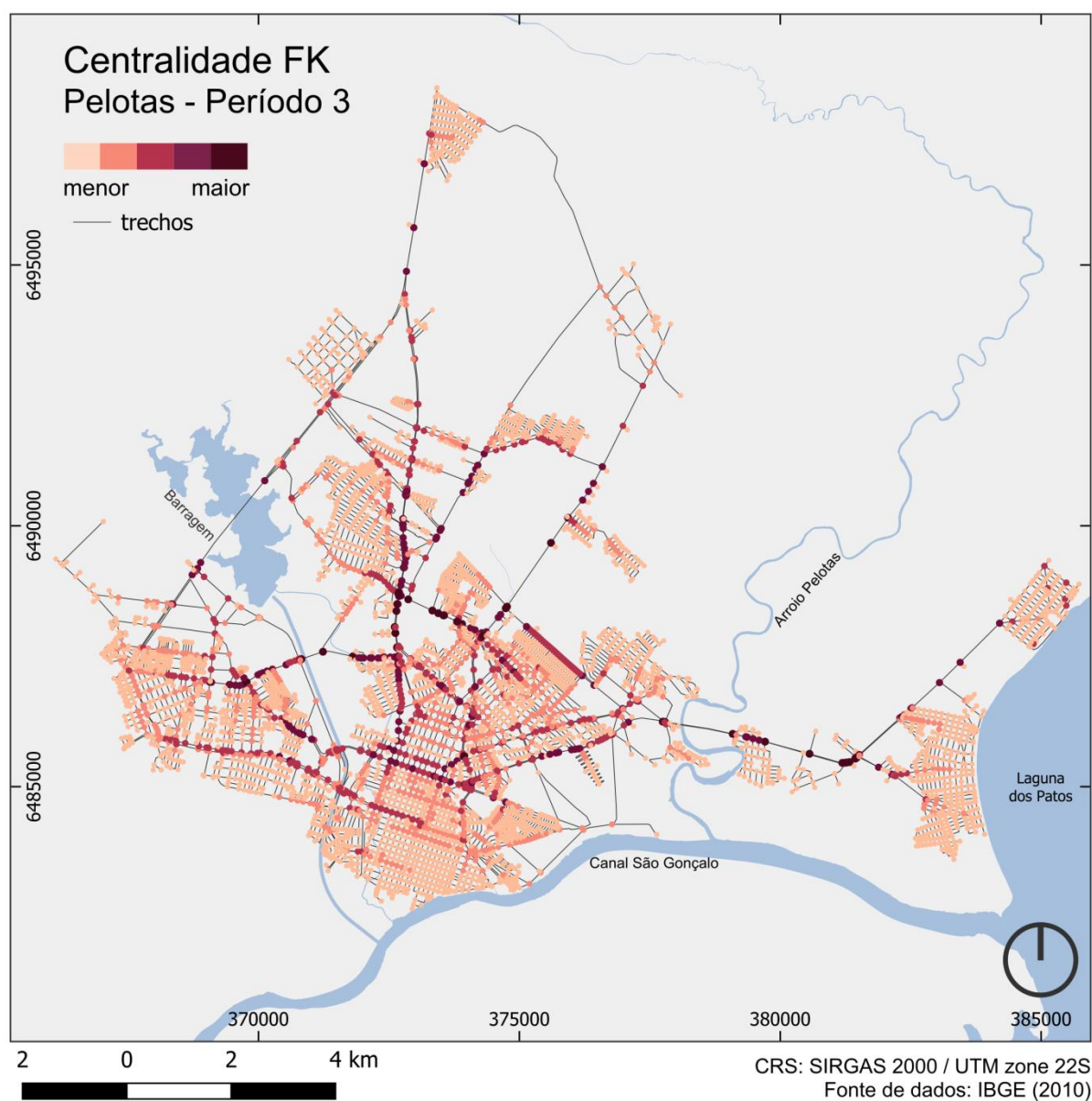


Figura 40 – Resultado da Centralidade por Intermediação de Pelotas/RS para o Período 3.
Elaboração: Pela autora (2024).

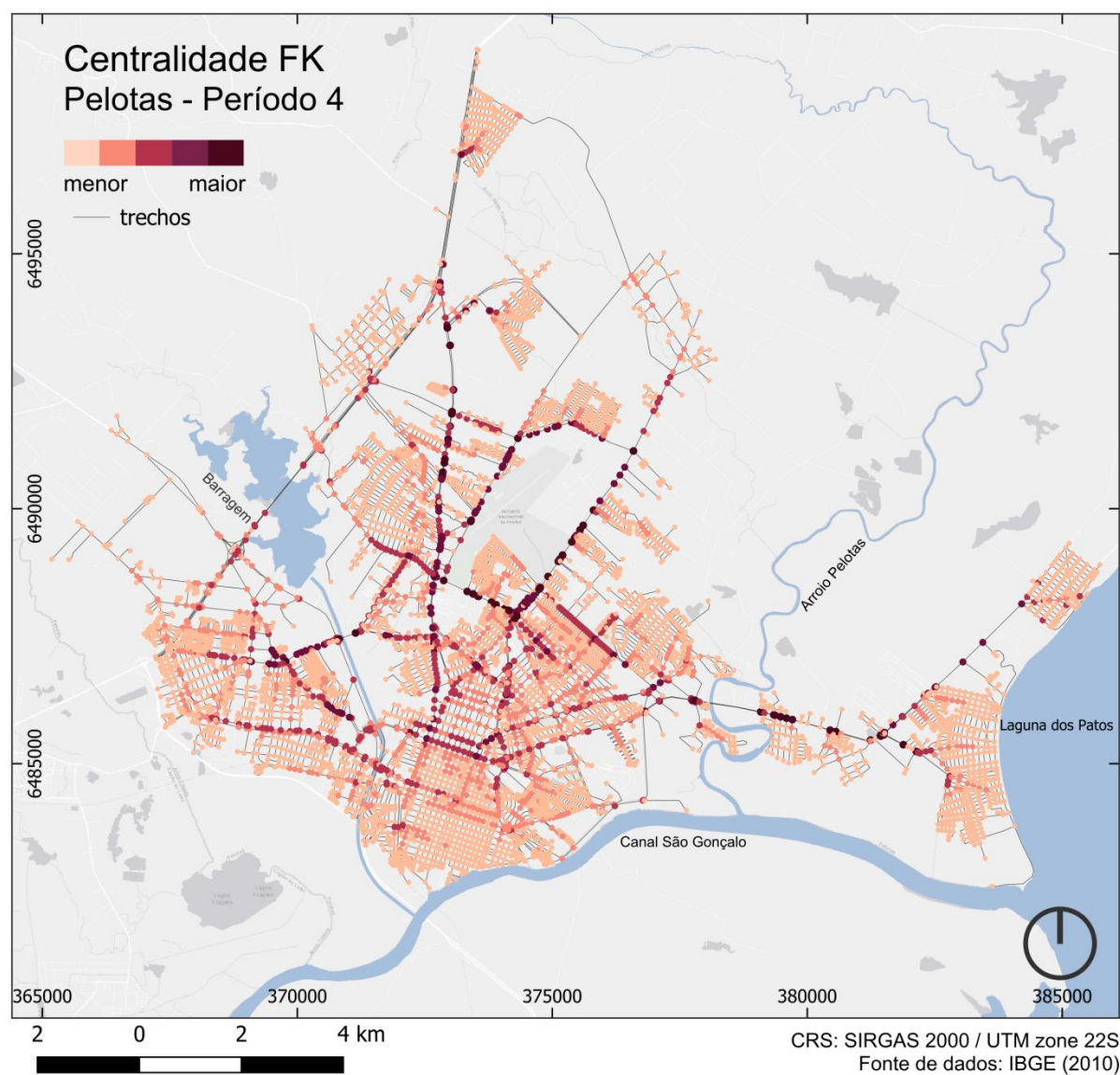


Figura 41 – Resultado da Centralidade por Intermediação de Pelotas/RS para o Período 4.
Elaboração: Pela autora (2024).

CENTRALIDADE POR ANEL												
	Período 1			Período 2			Período 3			Período 4		
	C	$\bar{C}$	$\sum \bar{C}$	C	$\bar{C}$	$\sum \bar{C}$	C	$\bar{C}$	$\sum \bar{C}$	C	$\bar{C}$	$\sum \bar{C}$
R1	35.403	133	133	140.639	469	469	310.462	982	982	367.368	1.148	1.148
R2	14.614	77	110	204.675	475	472	717.678	976	978	925.591	1.127	1.133
R3	132	26	109	140.269	533	489	653.343	1197	1.053	912.588	1.346	1.213
R4	-	-	-	115.531	443	479	911.486	1254	1.116	1.205.711	1.483	1.296
R5	-	-	-	71.400	533	484	743.032	1334	1.158	1.357.886	1.835	1.414
R6	-	-	-	61.127	261	452	487.330	863	1.109	879.820	1.172	1.370
R7	-	-	-	13.107	190	441	435.480	825	1.072	723.830	1.110	1.335
R8	-	-	-	3.591	120	436	223.127	893	1.061	495.044	1.478	1.344
R9	-	-	-	-	-	-	161.899	1.275	1.067	298.932	1.294	1.342
R10	-	-	-	-	-	-	139.747	644	1.047	368.315	883	1.309
R11	-	-	-	-	-	-	81.571	402	1.020	150.502	510	1.270
R12	-	-	-	-	-	-	14.482	1034	1.020	19.758	1.317	1.270
R13	-	-	-	-	-	-	51.923	440	1.006	105.291	741	1.258
R14	-	-	-	-	-	-	50.945	525	997	36.105	354	1.243
R15	-	-	-	-	-	-	244	122	996	759	127	1.242

Quadro 15 – Resultado da Centralidade por Intermediação agregada por anéis. Onde: C é o resultado da Centralidade; $\bar{C}$ é a Centralidade média; e $\sum \bar{C}$ é a Centralidade agregada média por anel.

	Período 1			Período 2			Período 3			Período 4		
	Área	$\sum$ Área	log	Área	$\sum$ Área	log	Área	$\sum$ Área	log	Área	$\sum$ Área	log
R0-1	265	265	2,42	307	307	2,49	307	307	2,49	307	307	2,49
R1-2	248	513	2,71	560	867	2,94	685	992	2,99	771	1.078	3,03
R2-3	2	515	2,71	375	1.242	3,09	507	1.499	3,17	635	1.713	3,23
R3-4	-	-	-	390	1.631	3,21	635	2.134	3,33	755	2.468	3,39
R4-5	-	-	-	271	1.902	3,28	507	2.641	3,42	742	3.210	3,51
R5-6	-	-	-	348	2.250	3,35	565	3.206	3,51	769	3.978	3,60
R6-7	-	-	-	88	2.338	3,37	390	3.597	3,56	621	4.599	3,66
R7-8	-	-	-	27	2.366	3,37	210	3.807	3,58	390	4.989	3,70
R8-9	-	-	-	-	-	-	151	3.958	3,60	329	5.318	3,73
R9-10	-	-	-	-	-	-	250	4.208	3,62	427	5.745	3,76
R10-11	-	-	-	-	-	-	197	4.405	3,64	334	6.079	3,78
R11-12	-	-	-	-	-	-	19	4.424	3,65	49	6.128	3,79
R12-13	-	-	-	-	-	-	128	4.552	3,66	149	6.277	3,80
R13-14	-	-	-	-	-	-	86	4.638	3,67	130	6.407	3,81
R14-15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	6.419	3,81

Quadro 16 – Resultado da Área urbanizada agregada por anéis. Sendo, Área a área da mancha urbanizada pertencente ao anel; $\sum$ Área o somatório da área; e, log o cálculo logarítmico do somatório da área. Para a representação desta tabela, os valores decimais nos resultados da área e somatório da área foram desconsiderados. No entanto, para a resolução dos cálculos, foram utilizados os números completos.

8. ANEXOS

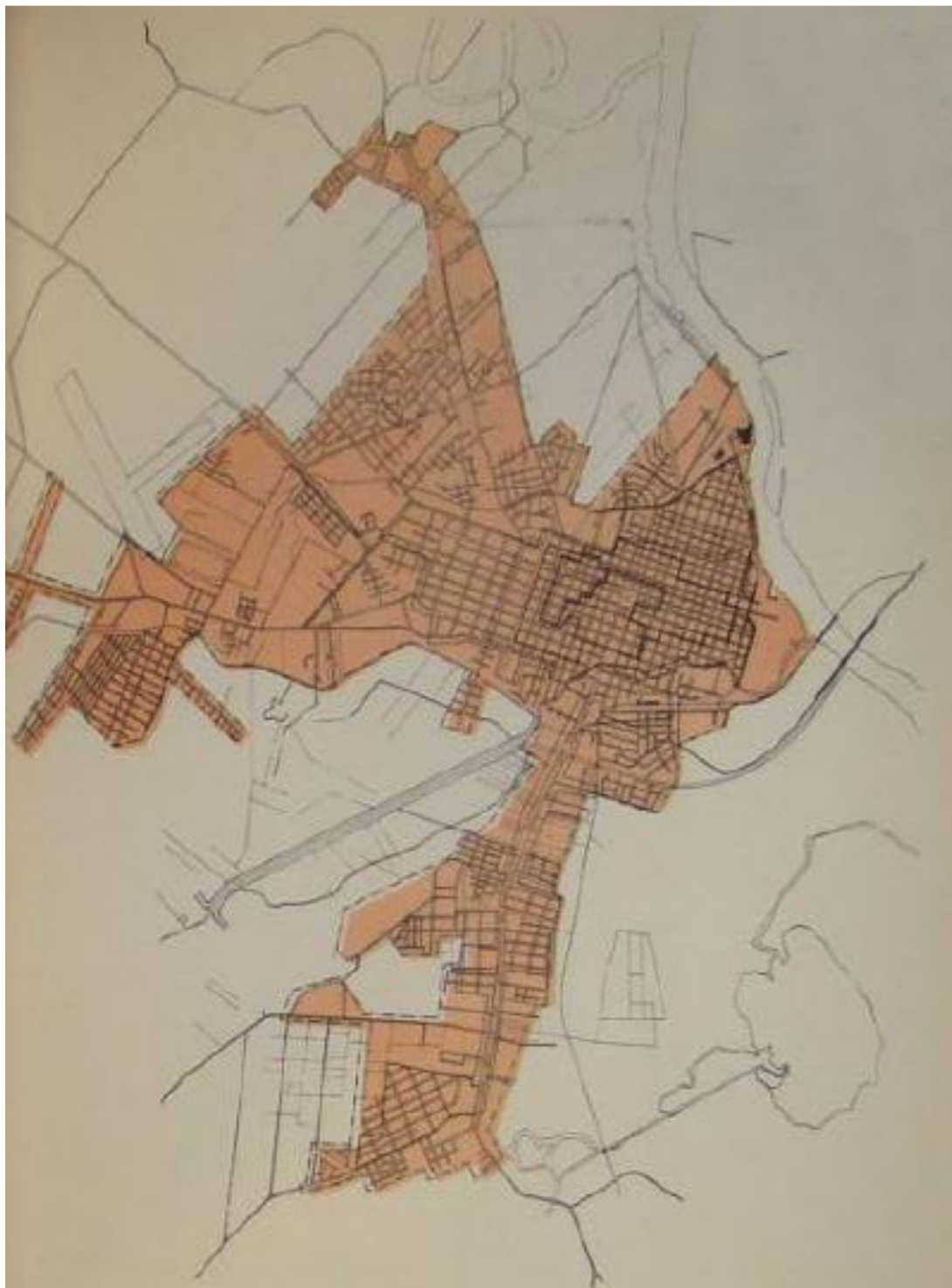


Figura 42 - Mapa da zona urbana de Pelotas conforme o Plano Diretor de 1967, com o perímetro urbano destacado em tom escuro. Fonte: II Plano Diretor de Pelotas, 1968.

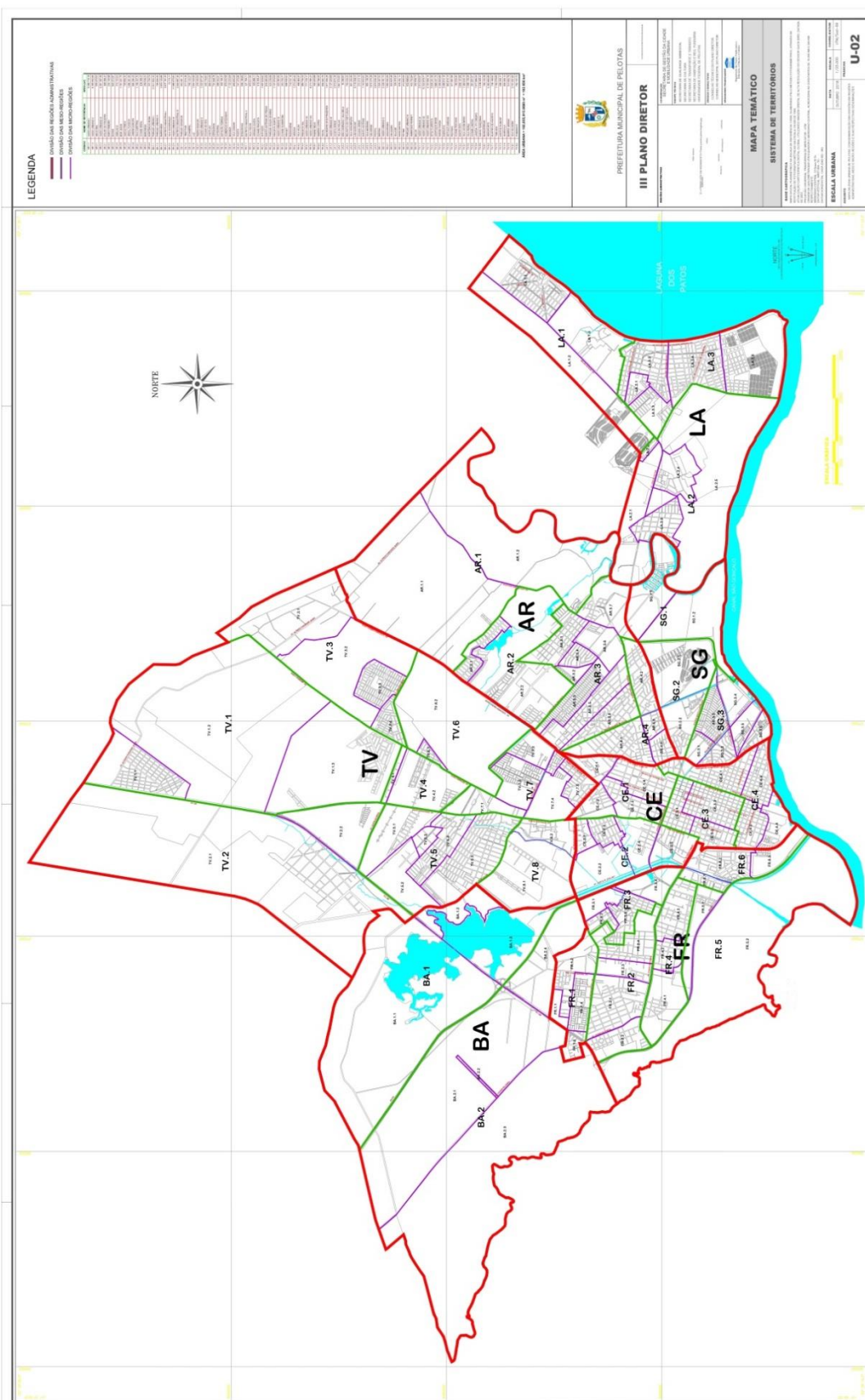


Figura 43 – Mapa da zona urbana de Pelotas, com demarcação das divisões em regiões administrativas, meso e microrregiões e suas respectivas denominações. O perímetro urbano está destacado em vermelho. Fonte: III Plano Diretor de Pelotas, 2018.