

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ
ESCOLA DE BELAS ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO URBANA

ANA LUIZA DE CASTILHO POGOGELSKI

**CIDADES RESILIENTES E SUSTENTÁVEIS: ARBORIZAÇÃO URBANA E SAÚDE
RESPIRATÓRIA**

CIDADE

2024

ANA LUIZA DE CASTILHO POGOGELSKI

**CIDADES RESILIENTES E SUSTENTÁVEIS: ARBORIZAÇÃO URBANA E SAÚDE
RESPIRATÓRIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana Área de concentração: Gestão e Tecnologias Ambientais, da Escola Belas Artes, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Gestão Urbana.

Orientadora: Profa. Dr^a. Luciene Pimentel
Coorientador: Prof Dr^o. Carlos Mello Garcias

Curitiba, 2024

Dados da Catalogação na Publicação
Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR
Biblioteca Central
Luci Eduarda Wielganczuk – CRB 9/1118

P746c 2024	Pogogelski, Ana Luiza de Castilho Cidades resilientes e sustentáveis: arborização urbana e saúde respiratória / Ana Luiza de Castilho Pogogelski; orientadora: Luciene Pimentel ; coorientador: Carlos Mello Garcias. – 2024. 99 f. ; il. : 30 cm Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2024 Bibliografia: f. 91-98 1. Gestão urbana. 2. Desenvolvimento urbano sustentável. 3. Arborização das cidades. 4. Infraestrutura (Economia) – Aspectos ambientais. 5. Ciência de dados. 6. Asma. I. Pimentel, Luciene. II. Garcias. Carlos Mello. III. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana. IV. Título. CDD. 20. ed. – 711.4
---------------	---

TERMO DE APROVAÇÃO

“CIDADES RESILIENTES E SUSTENTÁVEIS: ARBORIZAÇÃO URBANA E SAÚDE RESPIRATÓRIA”

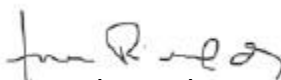
Por

ANA LUIZA DE CASTILHO POGOGELSKI

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana, área de concentração em Gestão Urbana, da Escola de Belas Artes, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná.



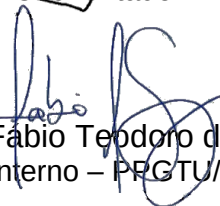
Prof. Dr. Paulo Nascimento Neto
Coordenador do Programa – PPGTU/PUCPR
Membro interno – PPGTU/PUCPR



Profª. Dra. Luciene Pimentel da Silva
Orientadora – PPGTU/PUCPR



Prof. Dr. Carlos Mello Garcias
Coorientador



Prof. Dr. Fábio Teodoro de Souza
Membro Interno – PPGTU/PUCPR



Profª. Dra. Vassiliki Terezinha Galvão Boulomytis
Membro Externo – IFSP CAR

Curitiba, 29 de abril de 2024.

Dedico esse trabalho a minha família e meus
amigos mais próximos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço meu marido Reuther Henning Machado pela compreensão, apoio, força e abrigo nesses anos de caminhada.

Agradeço meus amigos que foram meu suporte e minha bateria, em especial Gabriele Golenia que sempre esteve comigo em todos os momentos.

Agradeço minha família em geral pelo apoio, compreensão nos momentos de ausência e por todo carinho expressados de diversas formas, em especial aos meus irmãos e irmãs.

Agradeço a minha orientadora Luciene Pimentel, que de uma forma muito atenciosa me aconselhou e guiou até encontrar meu caminho, pela sua disposição, paciência e incentivo.

Agradeço meu, inicialmente orientador, e depois co-orientador, Carlos Mello Garcias, que foi quem me incentivou a iniciar essa jornada, pelo carinho, paciência e atenção. O Prof Garcias foi também meu orientador no período de iniciação científica, que contribuiu, sobremaneira para o meu desenvolvimento na área da pesquisa científica.

Agradeço a todas as pessoas que me apoiaram, com seus ensinamentos e conselhos sem os quais, essa dissertação não seria possível, em especial aos colegas Murilo Noli da Fonseca e Ketlyn Cunha Roque por todo apoio e parceria.

Agradeço a todo corpo docente do PPGTU, profissionais incríveis e comprometidos com a formação de pesquisadores engajados, com certeza inspirações. E também à Secretária Pollyana pelo apoio e orientações, sem as quais o percurso seria muito mais árduo.

Agradeço aos professores (as) Letícia Hardt, Fábio Teodoro e Agnes Araujo pelos ensinamentos sem quais não teria chegado ao fim dessa jornada.

Agradeço a CNPq, pela bolsa de mestrado de Agosto de 2023 à Março de 2024.

Ao CNPq pelo apoio financeiro ao Projeto “Prevenção e Defesa contra Eventos Hidrológicos Críticos”, Processo número 423287/2021-4.

Agradeço aos professores que dispuseram de um tempo para leitura crítica e sugestões valiosas a esse trabalho, Carlos Mello Garcias, Fábio Teodoro de Souza, Paulo Nascimento Neto e Vassiliki T. G. Boulomytis.

Meus agradecimentos também aos Professores Ana Paula Dalla Corte e Carlos Sanquetta da Engenharia Florestal e do Laboratório Biomix da UFPR pelos conhecimentos transmitidos sobre árvores e apoio na inferência e aquisição de dados das imagens LiDAR da área urbana de Curitiba.

Agradeço a Profa Dra Orjana da PUCPR pelas orientações da área da saúde respiratória.

Agradeço ao IPPUC pela cessão do levantamento LiDAR da Cidade de Curitiba. Meu agradecimento também ao Hospital Pequeno Príncipe pela colaboração e disponibilização de dados. Ao Dr. Paulo Kussek, chefe da pneumologia do HPP pela separação das fichas associadas à asma. À Laércio Santo de Araújo gestor dos sistemas computacionais do HPP pela extração dos dados da base. Ao Dr. Victor da Direção de Pesquisa do HPP e ao Comitê de Ética do Hospital, representado pelo seu Diretor Geral. Também agradeço ao Comitê de Ética da PUCPR pelo apoio dado à Pesquisa.

Meu agradecimento especial as meus pais Alfredo Pogogelski e Veroni Paes de Castilho. Vocês foram tudo que podiam ser na minha caminhada, me orientaram, me ajudaram nas minhas escolhas, me apoiaram em todos os momentos e sem o apoio e compreensão de vocês não teria sido possível chegar ao fim dessa etapa tão importante na minha vida, muito obrigada.

*“Pessoas que não sustentam árvores, em
breve, viverão em um mundo que não sustenta
pessoas.”*

(Bryce Nelson)

RESUMO

O desenvolvimento urbano trouxe uma série de benefícios para a sociedade, mas não foi totalmente livre de impactos no meio ambiente. A remoção da cobertura vegetal e a impermeabilização parcial dos solos, podem trazer desdobramentos negativos na qualidade de vida e ambiental urbana. Observou-se a instalação de uma crise ambiental ao longo do Século XX e que perdura até a atualidade. Em resposta a esses desafios, surgiram conceitos de cidades resilientes e sustentáveis, que visam melhorar a qualidade de vida dos cidadãos e abordar os desafios ambientais urbanos. Nesse contexto, a Infraestrutura Verde Urbana (IVU) têm recebido bastante destaque na literatura, como um dos encaminhamentos para superação desses desafios. Ademais, impactam positivamente, de forma transversal, algumas das metas da Agenda 2030 da ONU dos objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS). Um dos elementos importantes da IVU é a vegetação arbórea urbana, que desempenha papel importante no controle da poluição e na qualidade do ar, com possíveis desdobramentos em doenças respiratórias como a asma. Esta dissertação tem como objetivo principal analisar os impactos da arborização e da Infraestrutura Cinza Urbana (ICU) na asma em crianças, considerando o contexto socioeconômico local. Toma-se como objeto de estudo o bairro Água Verde, em Curitiba-PR. Pelo bairro passam alguns eixos de transporte e apresenta alta circulação de veículos, que comprometem a qualidade do ar. Ao mesmo tempo, possui ruas com arborização expressiva. Por isso, constitui um cenário relevante para esses estudos. A metodologia empregada envolve a aplicação de técnicas da ciência de dados, análise estatística multivariada, determinação da matriz de autocorrelação, aplicação do método do dendrograma e análise de cluster geoespacial, utilizando bibliotecas do *python*. Com foco na identificação de padrões quantitativos entre os indicadores selecionados. Os indicadores abrangem variáveis demográficas, socioeconômicos, de Infraestrutura Verde e Cinza Urbana, além da morbidade por asma. A pesquisa apresentou contribuições metodológicas importantes. Todos os indicadores demonstraram, pelo menos algum potencial para explicar a morbidade pediátrica da asma do Hospital Pequeno Príncipe (HPP). No entanto, ressalta-se que alguns apresentam maior facilidade de cálculo, ou atualização temporal. Nesse sentido, sugere-se entre os indicadores de IVU, o NDVI, e, de forma complementar, entre os indicadores de ICU, a TECNOMASSA que também apresenta maior facilidade de cálculo em relação à HEMEROBIA, que foram os dois indicadores de ICU que apresentaram melhores correlações com as taxas de internações hospitalares de pacientes pediátricos pela asma (TAXA_PAC) no HPP. Com relação aos indicadores socioeconômicos, o BOLSA_FAMILIA pareceu o mais interessante, por sua característica dinâmica (computado mês a mês) e possibilidade de atualização. Para o objeto de estudo, os dados revelaram que onde há maior presença de vegetação arbórea por pessoa, foram observados maiores valores de TAXA_PAC. Isso foi realçado na análise de cluster geoespacial. Ainda, foi observado que a morbidade por asma entre os pacientes do HPP aumenta de forma significativa durante a primavera, quando se observa maior quantidade de pólen no ar. O indicador de morbidade por asma se mostrou sensível aos indicadores socioeconômicos, mas os coeficientes de correlação entre esses grupos de indicadores não foram tão elevados. Por outro lado, a análise do indicador BOLSA_FAMILIA na matriz de autocorrelação linear revelou a concentração dos recipientes do programa justamente onde se concentram os valores mais altos de TAXA_PAC. Esses resultados têm potencial para orientar políticas públicas, estratégias de desenvolvimento e intervenções voltadas para a promoção da qualidade de vida e cidades mais resilientes e sustentáveis.

Palavras-chave: Infraestrutura verde; Infraestrutura cinza; Asma; População pediátrica; Ciências de dados, ODS 3; ODS 11; ODS 13; Gestão urbana.

ABSTRACT

Urban development has brought a series of benefits to society, but it has not been entirely free from environmental impacts. The removal of vegetation cover and partial soil impermeabilization can have negative consequences on urban quality of life and the environment. An environmental crisis emerged during the 20th century and continues to this day. In response to these challenges, concepts of resilient and sustainable cities have emerged, aiming to improve citizens' quality of life and address urban environmental challenges. In this context, Urban Green Infrastructure (UGI) has gained significant attention in the literature as a way to overcome these challenges. Furthermore, UGI positively impacts several goals of the UN's 2030 Agenda for Sustainable Development (SDGs) in a transversal manner. One important element of UGI is urban tree vegetation, which plays a crucial role in controlling pollution and air quality, potentially impacting respiratory diseases such as asthma. This dissertation aims to analyze the impacts of tree planting and Urban Grey Infrastructure (UGI) on asthma in children, considering the local socioeconomic context. The study focuses on the Água Verde neighborhood in Curitiba, Paraná. The neighborhood has several transportation corridors and high vehicle circulation, compromising air quality. At the same time, it has streets with significant tree cover, making it a relevant setting for these studies. The methodology involves the application of data science techniques, multivariate statistical analysis, autocorrelation matrix determination, dendrogram method application, and geospatial cluster analysis using Python libraries, focusing on identifying quantitative patterns among selected indicators. The indicators cover demographic, socioeconomic, Green and Grey Urban Infrastructure variables, and asthma morbidity. The research made important methodological contributions. All indicators demonstrated at least some potential to explain pediatric asthma morbidity at Hospital Pequeno Príncipe (HPP). However, it is noted that some indicators are easier to calculate or update over time. Thus, it is suggested to use NDVI among UGI indicators, and, complementarily, TECHNOMASS among UGI indicators, which is easier to calculate compared to HEMEROBIA. These two UGI indicators showed the best correlations with hospitalization rates of pediatric asthma patients (TAXA_PAC). at HPP. Regarding socioeconomic indicators, the BOLSA_FAMILIA program appeared to be the most interesting due to its dynamic nature (computed monthly) and updateability. For the study area, data revealed that where there is a higher presence of tree vegetation per person, higher values of TAXA_PAC were observed. This was highlighted in the geospatial cluster analysis. Additionally, it was observed that asthma morbidity among HPP patients significantly increases during spring, when there is more pollen in the air. The asthma morbidity indicator was sensitive to socioeconomic indicators, but the correlation coefficients between these groups of indicators were not very high. On the other hand, the analysis of the BOLSA_FAMILIA indicator in the linear autocorrelation matrix revealed a concentration of program recipients precisely where the highest TAXA_PAC values are concentrated. These results have the potential to guide public policies, development strategies, and interventions aimed at promoting quality of life and more resilient and sustainable cities.

Keywords: Urban infrastructure; Respiratory diseases; Multivariate analysis; SDG 6; SDG 11; SDG 13; Urban management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exposições a áreas verdes e desfechos na saúde humana.....	17
Figura 2 - Organização da dissertação.....	22
Figura 3 – Eixos principais teóricos	23
Figura 4 - A relação entre biodiversidade e as funções ecossistêmicas para o bem-estar humano.	26
Figura 5 - Categorização das infraestruturas verdes urbanas	28
Figura 6 - Localização do bairro Água Verde, Curitiba - PR.....	43
Figura 7 – Baixa renda distribuição espacial.....	51
Figura 8 – Bolsa família distribuição espacial.....	52
Figura 9 - Etapas dos procedimentos metodológicos	53
Figura 10 - Classificação das paisagens	54
Figura 11 - Descrição da classificação hemerobia	55
Figura 12 – Indicador Hemerobia distribuição espacial.....	56
Figura 13 – Indicador NDVI distribuição espacial.....	58
Figura 14 - Tecnomassa dos setores censitários do bairro Água Verde.....	59
Figura 15 – Indicador Tecnomassa dos setores censitários do bairro Água Verde.....	60
Figura 16 – Indicador Pacientes Pediátricos HPP	62
Figura 17 - Gráfico de internações por crise de asma em toda Curitiba	64
Figura 18 - Gráfico de caracterização dos pacientes no Água Verde.....	65
Figura 19: Gráfico de horas de internação dos pacientes	65
Figura 20 –Bolsa Família x Pacientes HPP e Baixa Renda x Pacientes HPP	67
Figura 21 –NDVI x Pacientes HPP e Árvores x Pacientes HPP	68
Figura 22 –Tecnomassa x Pacientes HPP e Hemerobia x Pacientes HPP.....	69
Figura 23 - Gráficos de dispersão entre HEMEROBIA e TAXA_PAC	70
Figura 24 - Gráficos de dispersão entre ARVORES_VIARIAS e TAXA_PAC	71
Figura 25 - Gráficos de dispersão entre TECNOMASSA e TAXA_PAC.....	71
Figura 26 - Gráficos de dispersão entre NDVI e TAXA_PAC	72
Figura 27 - Gráficos de dispersão entre BOLSA_FAMILIA_DOM e TAXA_PAC.....	72
Figura 28 - Gráficos de dispersão entre BAIXA_RENDA e TAXA_PAC.....	73
Figura 29 - Gráficos de dispersão entre TAXA_IMPERM e TAXA_PAC	73
Figura 30 - Gráficos de dispersão entre DENS_DEMO_m e TAXA_PAC.....	74
Figura 31 - Gráfico de histograma do indicador TECNOMASSA	75
Figura 32 - Gráfico de histograma do indicador HEMEROBIA.....	75
Figura 33 - Gráfico de histograma do indicador ARVORES_VIARIAS.....	76
Figura 34 - Gráfico de histograma do indicador TAXA_PAC.....	76
Figura 35 - Gráfico de histograma do indicador NDVI.....	76
Figura 36 - Gráfico de histograma do indicador BAIXA_RENDA	77
Figura 37 - Gráfico de histograma do indicador BOLSA_FAMILIA_DOM	77
Figura 38 - Gráfico de histograma do indicador TAXA_IMPERM.....	77
Figura 39 - Gráfico de histograma do indicador DENS_DEMO_m	78
Figura 40 - Matriz de autocorrelação	80
Figura 41 - Dendrograma de Variáveis	82
Figura 42 - O Método Elbow.....	83
Figura 43 – Clusters após K-means.....	84
Figura 44 - Mapa de Clusters	86

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Diferentes terminologias associadas às principais categorias de IVU	27
Tabela 2 - Tabela de estatística básica.....	66
Tabela 3 - Tabela de avaliação do cluster.....	84
Tabela 4 - Tabela de avaliação do cluster.....	87
Quadro 1 - Termos mais utilizados para tipologias de IV nas categorias	29
Quadro 2 - Conceitos fundamentais em Epidemiologia e Saúde Pública	31
Quadro 3 - Morbidade Hospitalar do SUS (CID-10)	32
Quadro 4 - Indicadores demográficos, socioeconômicos e ambientais por setor censitário	45
Quadro 5 - Dados aprovados nos Comitês de Ética em Pesquisa	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IVU	Infraestrutura Verde Urbana
ICU	Infraestructura Cinza Urbana
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PUCPR	Pontifícia Universidade Católica do Paraná
SIG	Sistema de Informações Geográficas
IDH	índice de desenvolvimento humano
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica do Brasil
CID	Classificação Internacional das Doenças
OMS	Organização Mundial de Saúde
SUS	Sistema Único de Saúde
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
IPPUC	Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	13
INTRODUÇÃO	13
1.1 PROBLEMÁTICA	14
1.2 JUSTIFICATIVA	15
1.3 HIPÓTESE DA PESQUISA	19
1.4 PERGUNTAS NORTEADORAS DA PESQUISA	19
1.5 OBJETIVOS	19
1.6 NATUREZA DA PESQUISA E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	20
CAPÍTULO 2	23
REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO	23
2.1 INFRAESTRUTURA VERDE URBANA E SEUS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS	24
2.2 ELEMENTOS DE SAÚDE PÚBLICA, FATORES AMBIENTAIS E SOCIOECONÔMICOS	29
2.3 VARIÁVEIS, INDICADORES E ÍNDICES AMBIENTAIS, SOCIOECONÔMICOS E DE SAÚDE	33
2.4 ARBORIZAÇÃO URBANA NO CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR E SAÚDE RESPIRATÓRIA	34
2.5 ELEMENTOS SOBRE CIÊNCIA E MINERAÇÃO DE DADOS	37
CAPÍTULO 3	41
MATERIAIS E MÉTODOS	41
3.1. CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	41
3.2. MÉTODO	44
3.3. DESCRIÇÃO DOS INDICADORES UTILIZADOS NO ESTUDO	50
3.3.1. Socioeconômicos	50
3.3.2. Hemerobia	52
3.3.3. Arborização Urbana	56
3.3.4. NDVI	57
3.3.5. Tecnomassa	58
3.3.6. Saúde: Internações por asma no Hospital Pequeno Príncipe (HPP)	60
CAPÍTULO 4	63
APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	63
4.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS INDICADORES	63
4.2 ANÁLISE ESPACIAL DOS INDICADORES	66
4.3 ANÁLISE DE DISPERSÃO DOS INDICADORES	69
4.4 ANÁLISE DOS HISTOGRAMAS DOS INDICADORES	74
4.5 ANÁLISE DA MATRIZ DE AUTOCORRELAÇÃO LINEAR DOS INDICADORES	78
4.6 ANÁLISE DE CLUSTER DOS INDICADORES	81
4.6.1 Método do Dendrograma	81
4.6.2 Método de clusterização K-means	83
4.6.3 Método de geo-espacial dos indicadores pelo Q-GIS	85
CONCLUSÕES	88
ANEXO A	88

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização é vinculado ao aumento das áreas e da população urbanas devido à migração de pessoas do meio rural para as áreas urbanas, o que causa um impacto direto no crescimento populacional e na expansão urbana (Brito, Horta, Amaral, 2018). Segundo o Relatório Mundial das Cidades (ONU, 2022), é projetado que até 2050, 68% da população mundial viverá em áreas urbanas. Com a maior parte da população mundial residindo em áreas urbanas, observa-se um aumento na preocupação em torná-las mais saudáveis, atrativas e habitáveis. Apesar de oferecerem oportunidades como emprego, educação, lazer e interações sociais, as áreas urbanas também enfrentam desafios específicos (Konijnendijk, 2023).

No Brasil, cerca de 80% da população vive em áreas urbanas, (ONU, 2015), o rápido crescimento urbano resultou em diversos problemas, incluindo a poluição do ar, que afeta negativamente a saúde e reduz a qualidade de vida de humanos, animais e plantas. Isso tem contribuído para o aumento de doenças respiratórias e cardíacas (Bezerra, 2017). Os desafios de saúde pública enfrentados pelas populações urbanas também podem estar ligados a fatores de risco e doenças relacionadas com o estilo de vida, como o *stress*, as doenças cardiovasculares e a obesidade (WHO 2016 , 2017).

De acordo com relatório de 2019 da “*Global Initiative for Asthma*” (GINA, 2024), asma acomete cerca de 1 a 18% da população em diferentes países. A asma representa uma das condições de saúde respiratória mais prevalentes no Brasil, afetando significativamente a qualidade de vida da população. Estimativas indicam que aproximadamente 23,2% dos brasileiros são diagnosticados com essa enfermidade, com variações de incidência entre 19,8% e 24,9% entre as diferentes regiões do país.

Em 2021, foram realizadas cerca de 1,3 milhão de consultas, representando um acréscimo de aproximadamente 231 mil consultas em relação ao ano anterior, conforme dados do Ministério da Saúde (MS, 2022). Do total de pacientes, estima-se que 1/3 concentra-se em menores de 18 anos (Prietsch; Zhang, 2012). Esses números refletem a relevância e a necessidade de medidas eficazes para o manejo e prevenção dessa condição respiratória no contexto brasileiro. E há relatos na literatura sobre a menor prevalência da asma infantil com o aumento da massa arbórea da cidade (Lovasi et al., 2008).

Nesse contexto, viver próximo à áreas verdes pode ocasionar melhorias na saúde, reduzindo o risco de doenças respiratórias e obesidade. Além desses espaços fornecerem sombra, abrigo para a fauna e embelezamento urbano, podem oferecer um local para interação social, como parques e praças que funcionam como pontos de encontro, unindo pessoas de diferentes origens e representando aspectos históricos e culturais locais (Amato-Lourenço et al, 2016).

Em grandes centros urbanos, a presença de Infraestrutura Verde¹, como arborização de ruas e parques, oferece benefícios ambientais, como redução das ilhas de calor e da poluição atmosférica (Filho e Tosetti, 2010). Dessa forma, a arborização emerge como um componente essencial do planejamento urbano, visto que contribui para aprimorar as condições climáticas, principalmente ao facilitar a redução da poluição atmosférica. Por meio das plantas, ocorre uma filtragem do ar poluído, o que resulta na remoção de gases nocivos e na maior purificação do oxigênio (Roppa et al, 2019).

Dessa forma, essa pesquisa tem como objetivo principal desenvolver um estudo piloto que investigue os impactos da arborização urbana na incidência de asma em crianças, levando em consideração o contexto socioeconômico em uma escala local. O estudo visa compreender como a presença e a qualidade das áreas verdes urbanas podem influenciar diretamente na saúde respiratória das crianças, especialmente no que diz respeito à prevalência e gravidade da asma. Além disso, pretende-se analisar como fatores socioeconômicos, como renda familiar e acesso a serviços de saúde, podem modular essa relação entre arborização urbana e saúde respiratória infantil. Este estudo piloto servirá como base para futuras pesquisas mais abrangentes e para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas para a promoção da saúde em áreas urbanas.

1.1 PROBLEMÁTICA

Ao longo do século XX até a atualidade tem sido observado o crescimento da população concentrada em áreas urbanizadas. Mas, as áreas urbanas ocupam menos do que 1% do Território Nacional (0,63%), no entanto concentram aproximadamente 160 milhões de pessoas, mais do que 80% da população brasileira (EMBRAPA, 2017). Nesse processo, embora se tenha conquistado várias benesses na vida urbana, como emprego, educação, lazer, e interações sociais, no entanto se observa a pressão sobre a ocupação do solo, recursos

¹ uma rede estrategicamente planejada de áreas naturais e seminaturais projetadas e gerenciadas para fornecer serviços ecossistêmicos (EUC, 2013).

naturais, e uma falta de equilíbrio entre os pilares da sustentabilidade - economia, ambiente e social. As áreas urbanas enfrentam desafios específicos (Konijnendijk, 2023). São observados locais de degradação ambiental e é visível a segregação sócio-territorial, sobretudo nas regiões metropolitanas. Esse cenário tem sido agravado em alguns aspectos pelos efeitos das alterações climáticas e que têm impacto na saúde urbana.

Tem crescido o número de pessoas acometidas de doenças respiratórias. Uma das doenças que chamam atenção e que estão associadas também à poluição do ar é a asma. De acordo com o *Global Initiative for Asthma* (GINA, 2024), a doença acomete cerca de 1 a 18% da população em diferentes países. A asma representa uma das condições de saúde respiratória mais prevalentes no Brasil, afetando significativamente a qualidade de vida da população. Estimativas indicam que aproximadamente 23,2% dos brasileiros são diagnosticados com essa enfermidade, com variações de incidência entre 19,8% e 24,9% entre as diferentes regiões do país. Em 2021, foram realizadas cerca de 1,3 milhão de consultas, representando um acréscimo de aproximadamente 231 mil consultas em relação ao ano anterior, conforme dados do Ministério da Saúde (MS, 2022). Do total de pacientes, estima-se que 1/3 concentra-se em menores de 18 anos (Prietsch et al. 2012).

Nesses contextos, tem crescido a tendência em ampliar a infraestrutura verde urbana em contraposição à infraestrutura cinza, para aumentar a resiliência e sustentabilidade urbana (Sotto et al, 2019). Há relatos na literatura sobre a menor prevalência da asma infantil com o aumento da massa arbórea da cidade (Lovasi et al., 2008). Vários centros urbanos do mundo têm investido em programas de arborização viárias, como Nova York: “One Million Trees”. Em Curitiba há o “Projeto 100 Mil Árvores” no qual a população pode adquirir árvores de espécies paranaenses para plantar na cidade. Até o fim do ano de 2023, de acordo com a prefeitura de Curitiba, foram plantadas cerca de 400 mil árvores, (Curitiba, 2024). A arborização emerge como um componente essencial do planejamento urbano, visto que contribui para aprimorar as condições climáticas, contribuindo no controle da poluição atmosférica. Por meio das plantas, ocorre uma filtragem do ar poluído, o que resulta na remoção de gases nocivos e na maior purificação do oxigênio (Roppa et al., 2019).

1.2 JUSTIFICATIVA

Inúmeros estudos epidemiológicos e experimentais têm demonstrado uma possível associação entre a existência de áreas verdes intra/extra-urbanas e uma série de efeitos benéficos à saúde mental e física da população. Fatores ambientais como diminuição da

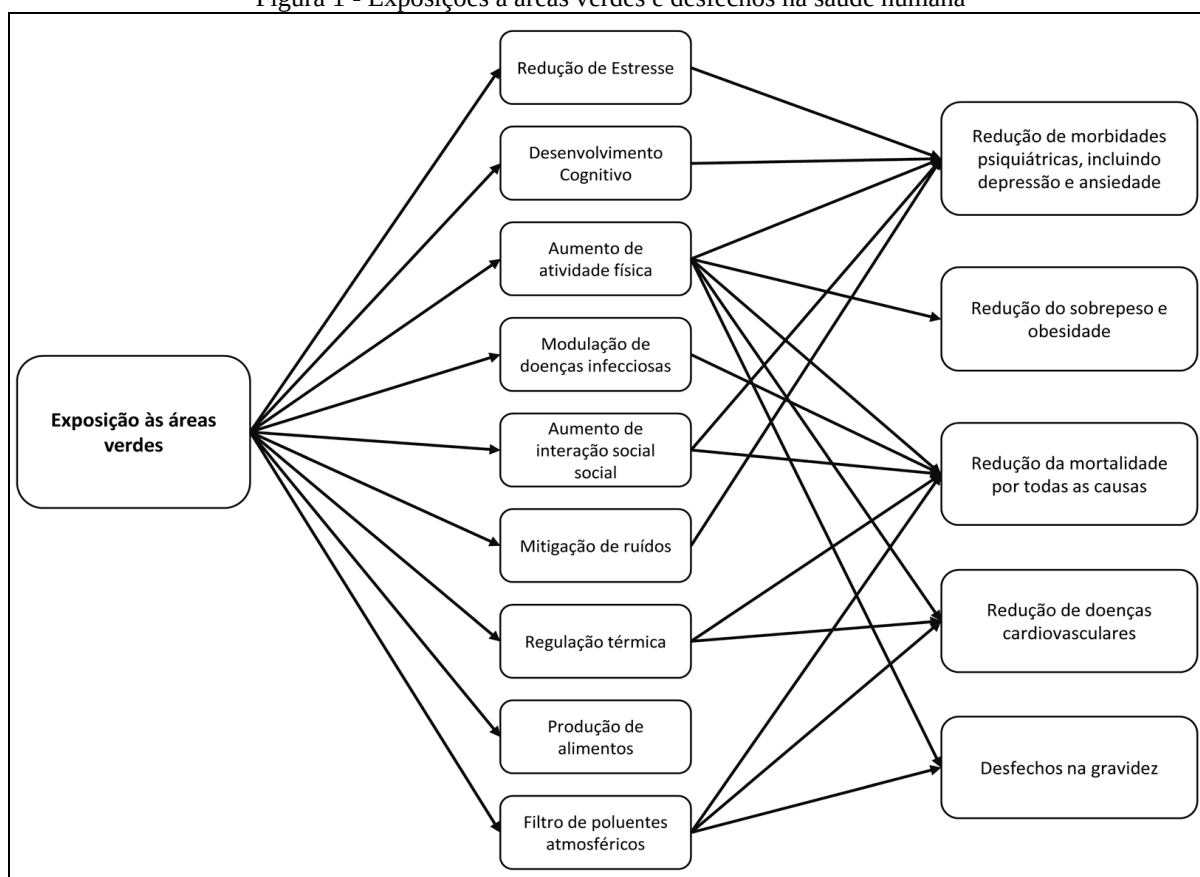
temperatura e de ruídos, aumento da umidade relativa e captura de material particulado certamente têm uma influência nos efeitos fisiológicos protetores promovidos pelos ambientes verdes (Suppakittpaisarn, 2017; Russo e Cirella, 2018, Amato-Lourenço et al., 2016).

James et al. (2015) apud Amato-Lourenço et al. (2016) relacionaram a exposição às áreas verdes a possíveis desfechos na saúde humana (Figura 1). A exposição às áreas verdes estão associadas à redução do estresse, ao desenvolvimento cognitivo, aumento da atividade física, modulação de doenças infecciosas, aumento da interação social, mitigação de ruídos, regulação térmica, produção de alimentos, filtro de poluentes atmosféricos. Alguns desses elementos atuam de forma integrada em algumas patologias. Por exemplo, a redução do estresse, desenvolvimento cognitivo, aumento da atividade física, aumento da interação social e mitigação dos ruídos contribuem para a diminuição das morbidades psiquiátricas, incluindo depressão e estresse; a regulação térmica contribui na redução da mortalidade de várias causas e das doenças cardiovasculares; e assim por diante.

Já existem alguns relatos na literatura científica (Yang et al., 2010; Nowak et al., 2014; Van der Berg et al. 2016; Takano et al., 2002; Agay-Shay et al., 2014) sobre os efeitos positivos do contato com áreas verdes em relação à longevidade, doenças cardiovasculares, obesidade, qualidade do sono, recuperação de doenças e desfechos da natalidade. Demonstram em quantitativos quanto o aumento da área de infraestrutura verde reduz a temperatura nos centros urbanos, ou em que medida o aumento das temperaturas acelera o ciclo reprodutivo de algumas espécies de mosquitos transmissores de doenças como a dengue e a malária.

Nowak et al. (2018) discutem sobre a remoção dos materiais particulados do ar pelas árvores. Os autores estimaram que em 86 cidades Canadenses as árvores foram responsáveis pela remoção em média de 16.500 toneladas de poluentes em 2010 (entre 7.500-21.100 toneladas), com uma economia média dos gastos com saúde estimados em 227,2 milhões de dólares canadenses (entre \$52.5-402.6 milhões). Outros estudos dos autores já tinham estimado para 55 cidades nos Estados Unidos a remoção total da ordem de 700.000 tonelada por m³ de O₃, PM₁₀, NO₂, SO₂, CO por florestas urbanas (Nowak et al., 2006). Em outro trabalho, Nowak et al. (2014), avaliaram uma economia de 6,8 bilhões de dólares americanos com a redução da utilização de sistemas de saúde e dias de trabalho perdidos, associados à remoção de 17,4 milhões de toneladas de poluentes.

Figura 1 - Exposições a áreas verdes e desfechos na saúde humana



Fonte: adaptado por Amato-Lourenço et al., 2016, a partir de James et al., 2015.

Sabe-se, por outro lado, dos problemas da manutenção e custos das áreas verdes, que contribuem para fragilidades na adesão a programas de implantação de infraestrutura verde por parte da população, sobretudo para os que vivem em áreas de fragilidade social. Em contra partida de acordo com o serviço florestal americano os benefícios das áreas verdes ou florestas urbanas proporcionam uma economia três vezes maior que o custo de manutenção destas áreas (USDA Forest Service, 2016). Para além há também relatos na literatura sobre os desserviços da infraestrutura verde.

Van Dorn (2017) a partir da Revista Lancet/respiratory, resumiu as discussões da ciência em torno das questões entre infraestrutura verde e saúde respiratória. O autor menciona várias das complexidades que envolvem o fenômeno, e alega que um grande número de espaços verdes nas cidades pode vir com impactos negativos para a saúde respiratória. Em vias com densa arborização e cobertura arbórea pendente, poluentes e material particulado podem ficar presos, como se fosse em um túnel, o que impede a circulação do ar e sua dispersão. As edificações multifamiliares podem também contribuir de forma sinérgica formando os chamados cânions urbanos. Este fenômeno pode ter efeitos negativos sob os transeuntes e os residentes. As espécies, sobretudo as que têm gênero,

podem impactar negativamente. Árvores de gênero masculino, que não produzem frutos e potencialmente produzem menos resíduos, produzem mais pólen do que as do gênero feminino, aumentando o potencial de presença de alergênicos no ar.

A poluição do ar no ambiente urbano se tornou uma grande ameaça para a saúde e para o clima. Estima-se que a poluição é responsável por 4.2 milhões de mortes por ano, destaca a Organização Mundial de Saúde (OMS). Destas, 43% se devem a doenças pulmonares obstrutivas crônicas. Os poluentes com maiores evidências de prejuízos a saúde são: materiais particulados (PM, especialmente aqueles menores que 10 e 2.5 microns – PM10 e PM2.5), Ozônio (O₃), dióxido de nitrogênio (NO₂), dióxido de enxofre (SO₂) e os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH). Tanto a exposição de curto, como a de longo prazo, podem reduzir as funções pulmonares e causar infecções (WHO, 2016).

Entre as condições respiratórias, a asma é uma doença em destaque. A incidência e a prevalência da asma tem crescido no mundo inteiro. É estimado que atualmente 300 milhões de pessoas têm asma, e que 180.000 morrem anualmente por causa da doença. A asma pode começar em qualquer idade, contudo metade das pessoas com asma tiveram seus primeiros sintomas até os 10 anos. É uma doença crônica inflamatória de longo termo. A asma muda ao longo do tempo, e as pessoas têm dias melhores e piores. Porém, pode levar a ataques severos que requerem hospitalização, e algumas vezes levam à morte. A asma também coloca os afetados sob um risco mais elevado de infecções virais como o próprio COVID-19. Suas causas não são inteiramente compreendidas. Sabe-se que fatores genéticos e elementos do meio ambiente interno estão associados, apesar disso existem evidências fortes de que a poluição urbana tenha um papel central na asma e em seus agravos (GINA, 2024).

Os gastos diretos, relacionados a medicamentos e outras necessidades da atenção à saúde, contribuem com entre 50 e 80% dos custos totais associados a asma. Mas, estes custos tendem a variar de país a país, entre outros fatores, porque dependem do tipo de sistema de assistência a saúde locais (privado ou público) e das políticas para precificação e distribuição de medicamentos. Há ainda fatores sociais associados que afetam os gastos relacionados a asma, a alfabetização, a conscientização e a atitude. Nos Estados Unidos da América e em outros países os custos em torno da doença são altamente influenciados pelos gastos crescentes em medicamentos. Os gastos anuais com a asma no Reino Unido são estimados em 5 bilhões de libras (Nunes et al., 2017).

Para o Brasil e outros países do Sul Global, no entanto, os dados sobre a relação entre infraestrutura verde e saúde/morbidade de doenças são incipientes. São necessários estudos que investiguem a relação de áreas verdes e saúde, sobretudo no contexto das

desigualdades ambientais e sociais que ocorrem nesses países. Esses estudos poderão contribuir na elaboração de políticas públicas que norteiem planos diretores, de arborização, conservação e ampliação de remanescentes florestais, voltados à realidade desses países (Amato-Lourenço et al., 2016).

1.3 HIPÓTESE DA PESQUISA

A partir da análise de dados e indicadores propostos, da infraestrutura verde e cinza urbanas e da morbidade de internações hospitalares pela asma na escala local, é possível identificar padrões associativos que caracterizam a presença de espaços verdes urbanos, sobretudo da arborização, e de fatores socioeconômicos, com externalidades positivas na saúde respiratória, sobretudo da asma.

1.4 PERGUNTAS NORTEADORAS DA PESQUISA

Quais indicadores podem ser utilizados nos estudos para explicar as relações entre a arborização urbana, asma e fatores socioeconômicos?

Quais são os impactos da arborização urbana na saúde respiratória?

Qual a influência do contexto socioeconômico local?

1.5 OBJETIVOS

Geral

Investigar benefícios da arborização urbana na asma em crianças, considerando o contexto socioeconômico na escala local.

Específicos

- 1) Avaliar as variáveis que possam explicar a relação entre arborização, fatores socioeconômicos e morbidade da asma em crianças, tomando como objeto de estudo o bairro do Água Verde na Cidade de Curitiba, PR;

- 2) Definir e calcular indicadores a partir dessas variáveis para a infraestrutura cinza e verde urbana, associados às variáveis socioeconômicas e à morbidade por asma em crianças;
- 3) Desenvolver análises estatísticas intrinsecamente ligadas à ciência e mineração de dados: estatística básica, análise multivariada, matriz de autocorrelação e análise de cluster, para analisar a relação entre os indicadores.

1.6 NATUREZA DA PESQUISA E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A pesquisa assume características de pesquisa exploratória, neste caso de dados secundários, obtidos prioritariamente de Bases de Dados oficiais e consagradas brasileiras, e de locais associadas à cidade de Curitiba.

Segue as orientações e linhas metodológicas da pesquisa considerando como objeto de estudo o Bairro Água Verde em Curitiba, PR. Foi desenvolvida uma caracterização do objeto, observando sua localização e contexto na cidade, características demográficas, fatores físico e topográfico, descrição dos setores censitários, principais eixos de transporte, suas características ambientais, do ambiente construído, de arborização, socioeconômicas, e dados de morbidade por asma de crianças cedidos pelo Hospital Pequeno Príncipe na Cidade de Curitiba.

A pesquisa foi aprovada nos Comitês de Ética de Pesquisa do Hospital Pequeno Príncipe e da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, submetido na Plataforma Brasil, parecer 3.575.444 da PUCPR e parecer 3550.840 do HPP (Anexo A).

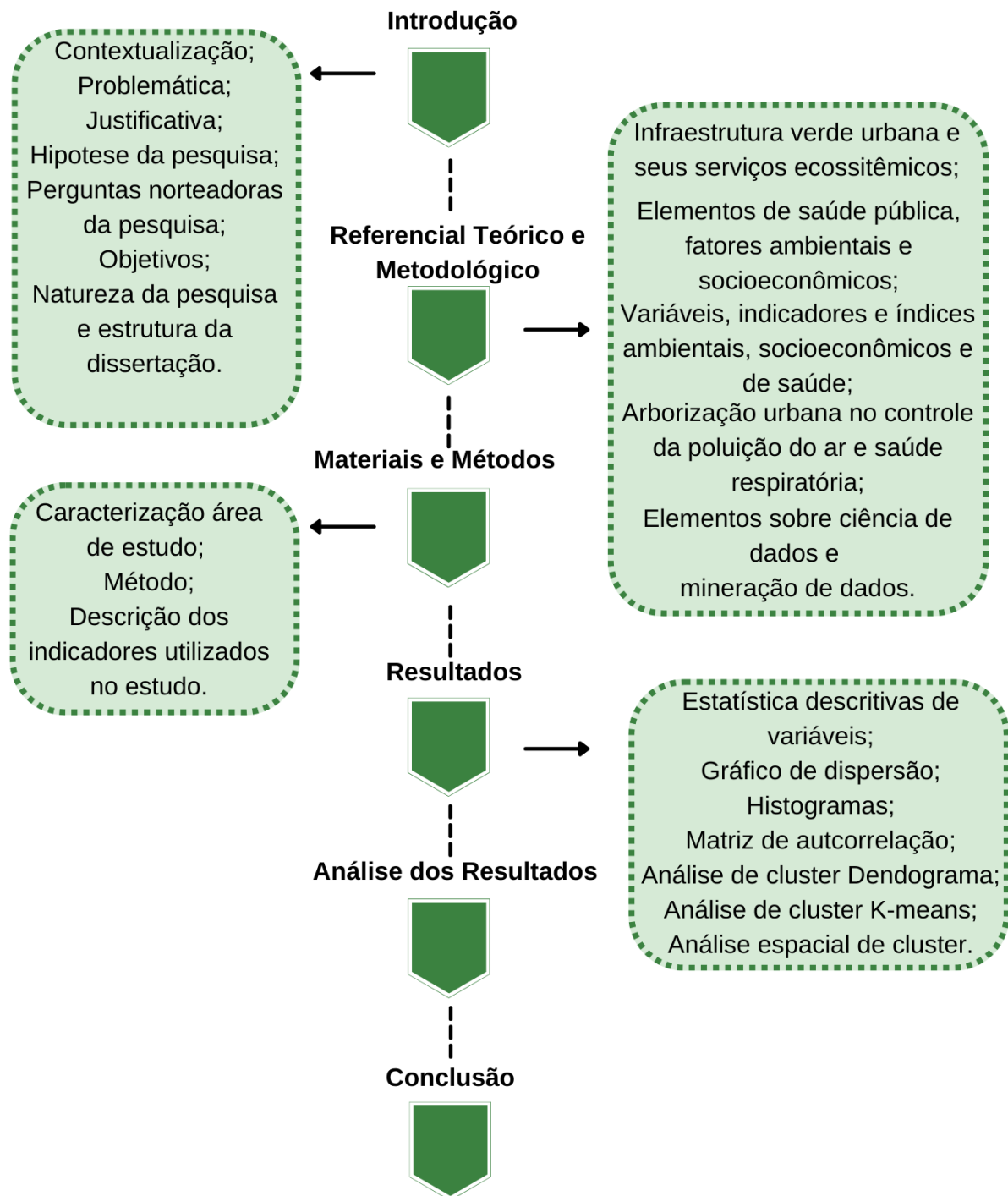
A temática da pesquisa é de alta complexidade, problemas de saúde são multifatoriais, envolvem várias disciplinas e linhas do conhecimento; e foi pertinente, além da leitura científica, a consulta a especialistas dos assuntos envolvidos, como em parte é sinalizado como boa prática nos processos de aprendizado de máquina. Foram entrevistados e estabelecido o diálogo com especialistas, principalmente de planejamento urbano, paisagismo, ciências da saúde e medicina, assim como de especialistas em doenças respiratórias, ciências e modelagem de processos atmosféricos, ciências e engenharia florestais, estatística, ciências da computação e de dados para investigação de possíveis variáveis interessantes no tema de estudo.

O diálogo com os especialistas permitiu a aquisição da “semântica” (dentro da temática escolhida) própria de cada área de conhecimento, além de orientação das perguntas mais relevantes a serem respondidas nas análises e modelagem dos dados, identificação de

armadilhas e oportunidades. A pesquisa seguiu as etapas metodológicas previstas e intrínsecas às iniciativas de investigação em ciências de dados e aprendizagem de máquina no arcabouço da chamada “Inteligência Artificial”, contudo nessa etapa preliminar dos estudos, o foco foi: (i) definição das variáveis, indicadores e instâncias que são pressupostas como relevantes para a explicação do fenômeno, (ii) análise e tratamento dos dados, (iii) pré processamento e preparo da base de dados, e (iv) análises da estatística multivariada (Witten e Frank, 2005).

A dissertação, representada nessa etapa de qualificação, está estruturada em 5 capítulos e comentários finais, sendo o Capítulo 1 o que contém os elementos pré-textuais da introdução, incluindo apresentação da problemática, da justificativa, hipótese da pesquisa, perguntas norteadoras da pesquisa, objetivos, natureza da pesquisa e estrutura da dissertação. O Capítulo 2 é o de referencial teórico-metodológico que é dividido em subcapítulos, que abordam os temas de infraestrutura verde e seus serviços ecossistêmicos, elementos de saúde pública, fatores ambientais, socioeconômicos, variáveis, indicadores e índices ambientais, indicadores e índices socioeconômicos, indicadores e índices de saúde, arborização urbana no controle da poluição do ar e saúde respiratória, elementos sobre ciência e mineração de dados. Já no Capítulo 3, observa-se a descrição sobre materiais e métodos, descrevendo os indicadores e dados selecionados, além da metodologia de análise multivariada dos dados constituídos em indicadores associados ao fenômeno em estudo. No Capítulo 4, são apresentados os resultados, com os indicadores selecionados, da estatística descritiva, análise espacial, análise de dispersão das variáveis, de histograma, matriz de autocorrelação, de cluster dendrograma e cluster espacial dos indicadores. Capítulo 5 constitui a discussão dos resultados na literatura. Finalmente são apresentados as conclusões. A estrutura de organização da dissertação é apresentada na Figura 2.

Figura 2 - Organização da dissertação

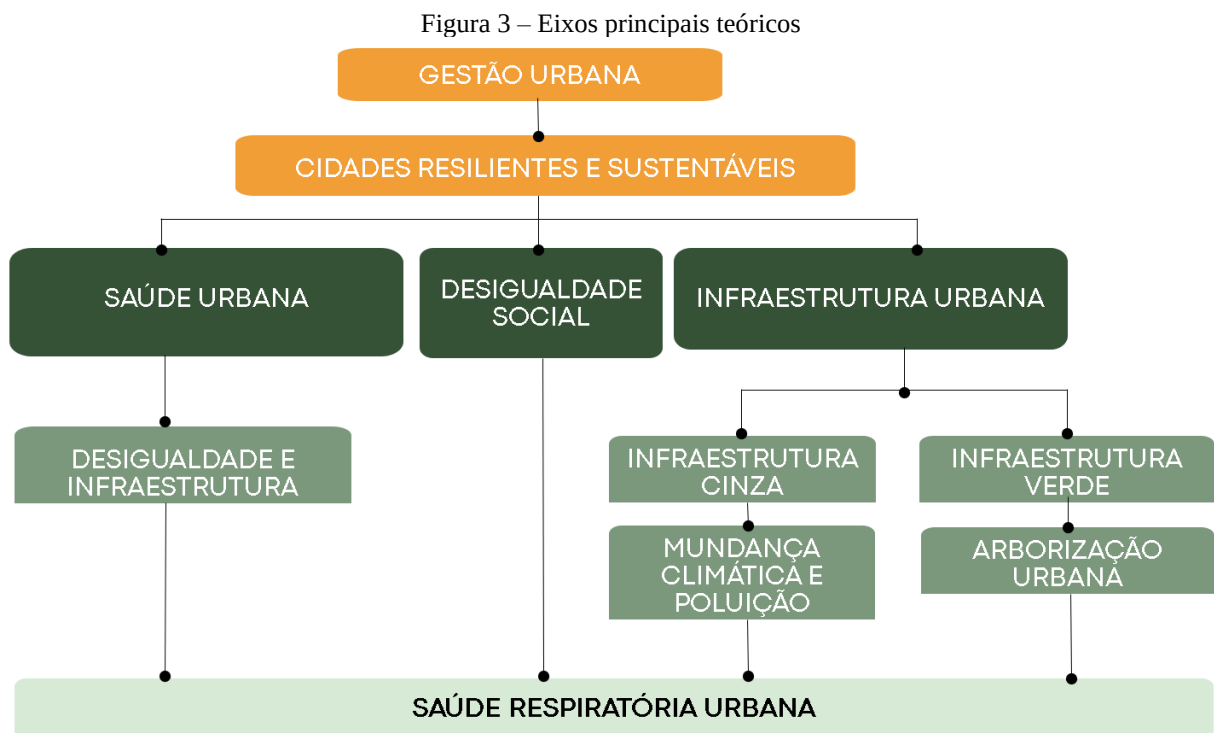


Fonte: a autora, 2024.

CAPÍTULO 2

REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

O referencial teórico-metodológico foi dividido em cinco partes, que trazem a discussão sobre os principais eixos teóricos da pesquisa conforme ilustra a Figura 3: **infraestrutura verde e seus serviços ecossistêmicos**, onde é feita a discussão e esclarecimento de definições sobre a infraestrutura verde e os serviços ecossistêmicos; **elementos da saúde pública, fatores ambientais e socioeconômicos**, onde é discutida a relação entre saúde pública e fatores de desigualdade social como ambiental e socioeconômico; **variáveis, indicadores e índices ambientais, socioeconômicos e saúde**, onde são contextualizados e definidos o conceito das variáveis, indicadores e índices utilizados nessa dissertação; **Arborização urbana no controle da poluição do ar e saúde respiratória**, onde é abordado como os trabalhos vem relacionando a arborização urbana com a saúde respiratória; **elementos sobre ciência e mineração de dados**, definição breve sobre o contexto metodológico que a pesquisa se encaixa na produção científica.



Fonte: a autora, 2024.

2.1 INFRAESTRUTURA VERDE URBANA E SEUS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

O conceito de infraestrutura verde urbana (IVU), também chamada de infraestrutura ecológica, emergiu dos princípios da Arquitetura Paisagística e da Ecologia de Paisagens (Santos e Enokibara, 2021) na década de 1990 nos EUA, difundido por Benedict e Mc Mahon (2006) (Fletcher et *al.*, 2015). De acordo com a Comissão Europeia (EUC, 2013) a IVU pode ser considerada uma ferramenta para o planejamento e gestão urbana, visto que oferece benefícios ecológicos, econômicos e sociais através de soluções naturais, que ajuda a compreender quais benefícios que a natureza proporciona à sociedade e como a natureza pode fornecer soluções mais baratas e duráveis para problemas urbanos e ambientais.

Em escala de planejamento urbano e regional a IVU pode ser vista como uma rede de espaços interconectados, que podem ser áreas naturais ou projetadas que tenham funções ecossistêmicas que promove benefícios para a sociedade. Dessa forma a IVU é uma estrutura ecológica que tem benefícios ambientais, sociais e econômicos, dentro dos princípios da sustentabilidade para o meio urbano (Benedict e MacMahon, 2001; 2006).

Uma definição semelhante de IVU também foi estabelecida pela Comissão Europeia como sendo: uma rede estrategicamente planejada de áreas naturais e seminaturais com outras características ambientais projetadas e gerenciadas para fornecer uma ampla gama de serviços ecossistêmicos. Incorpora espaços verdes (ou azuis que se trata de ecossistemas aquáticos) e outras características físicas em áreas terrestres (que inclui costeiras) e marinhas. Em terra, a IV está presente em ambientes rurais e urbanos (EUC, 2013, p. 3).

Ao transformar a paisagem urbana que converte áreas mono funcionais em áreas vivas que se alia a natureza, arte e cultura local, traz benefícios reais às pessoas e contribui para a mitigação e adaptação aos efeitos das ilhas de calor intensificados pelas anomalias e mudanças climáticas nas cidades (Herzog e Rosa, 2010a). Além de proporcionar alternativa de infraestrutura que não emitem gases de efeito estufa, contribuem para a preservação da biodiversidade e oferecem serviços ecossistêmicos no local, que preserva e infiltra as águas pluviais, dessa forma reduz as afluições de poluentes para as águas e as poluições sonora e do ar (Elmqvist, 2015).

Para Herzog e Rosa (2010b) nas paisagens ocorrem processos e fluxos naturais abióticos (geológicos e hidrológicos) e bióticos (biológicos, fauna e flora) e as alterações ocasionadas pelas atividades humanas ocorrem nesse contexto. A infraestrutura verde compreende e analisa esses processos e alterações que separa-os em: **naturais** (geológico, hidrológico, biológico) e **antrópicos/culturais** (social, circulatório e metabólico). Para Ahern

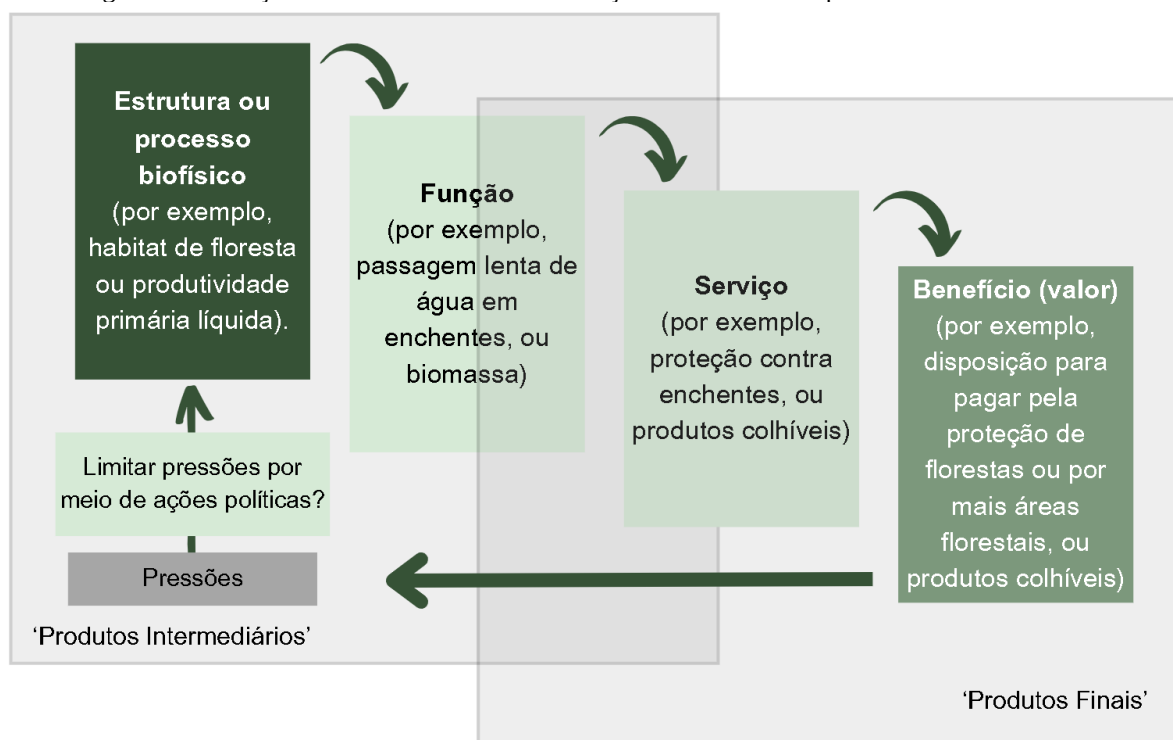
(2007) ao desenvolver a IVU com base em ciência e conhecimento desses processos (natural e cultural) há a oferta de Serviços Ecossistêmicos (SE).

Os SE são entendidos como um subconjunto de processos ecológicos e estruturas ecossistêmicas, que ocorrem pelas interações complexas entre organismos bióticos e abióticos nos processos naturais (De Groot, 2002). Para Potschin e Haines-Young, (2011, p.578) um “serviço só é um serviço se um beneficiário humano puder ser identificado. Além disso, destacam a importância dos ‘serviços finais’ que contribuem para o bem-estar das pessoas”. Na atualidade a saúde humana tem sido um dos focos centrais dos SE. Para De Groot os SE envolvem “a capacidade dos processos e componentes naturais de fornecer bens e serviços que satisfaçam as necessidades humanas, direta ou indiretamente” (De Groot, 1992).

Salles (2011, p. 474) identifica que a contribuição dos ecossistemas e da biodiversidade para o bem-estar humano depende de saber obter os serviços potenciais dos ecossistemas, além de prescindir e de depender de recursos alternativos. O autor representa essa relação em três etapas: “identificação das funções ecológicas dos ecossistemas; descrição dos usos benéficos que as sociedades obtêm destes ecossistemas; análise do valor econômico destes serviços, de acordo com as alternativas disponíveis”.

O conceito de benefício de serviços ecossistêmicos pode ser dividido entre descrição biofísica do serviço e análise do benefício aos humanos desse serviço (De groot et al, 2010; Potschin e Haines-Young, 2010; 2011). Ao buscar resumir a lógica dos serviços ecossistêmicos Haines-Young e Potschin (2010) sugerem um modelo de “cascata de serviços” que “tenta capturar a visão predominante de que existe uma espécie de 'cadeia de produção' que liga estruturas e processos ecológicos e biofísicos por um lado, e elementos do bem-estar humano, por outro, e que existe potencialmente uma série de fases intermédias entre eles” (Haines-Young e Potschin, 2011). Haines-Young e Potschin (2011), fazem uma adaptação no modelo de “cascata de serviços” a partir de De groot (2010) que separa os benefícios dos valores (Figura 4), com a argumentação de que os benefícios são ganhos no bem-estar gerados pelos ecossistemas.

Figura 4 - A relação entre biodiversidade e as funções ecossistêmicas para o bem-estar humano.



Fonte: Tradução da autora, Haines-Young e Potschin, 2010.

Para Salles (2011) a contribuição dos ecossistemas e da biodiversidade para o bem-estar humano depende de saber obter os serviços potenciais dos ecossistemas, além de prescindir e de depender de recursos alternativos.

A adaptação das cidades pode ser feita por meio da inclusão de vegetações na paisagem urbana que converte áreas mono funcionais em áreas vivas aliadas à natureza, arte e cultura local, traz benefícios reais às pessoas e contribui para a adaptação as ocorrências climáticas. Bem planejada, executada e monitorada a infraestrutura verde pode se constituir no suporte para a resiliência das cidades, pois “consiste em intervenções de baixo impacto na paisagem e alto desempenho, com espaços multifuncionais e flexíveis, que possam exercer diferentes funções ao longo do tempo” (Herzog e Rosa, 2010b, p. 98). Para planejar a infraestrutura verde de acordo com a necessidade, funções e os serviços ecossistêmicos da paisagem, pode-se utilizar como estratégia as tipologias de IVU. Essas tipologias para escala local são desenvolvidas a fim de reestabelecer ou manter dinâmicas naturais através da infraestrutura verde, que busca estimular e melhorar a circulação e conforto das pessoas.

As autoras Santos e Enokibara (2021) sintetizaram os termos mais utilizados para se referir às tipologias de IVU no Brasil, conforme a Tabela 1, a partir do levantamento de documentos publicados entre 1999-2018 com o objetivo de apresentar um panorama das publicações de IVU no Brasil, os autores levantaram os termos mais utilizados e contaram o

número de trabalhos que continham esses termos (N°*) e então elaboraram a porcentagem correspondente do N°* ao total de documentos analisado (%**), e então é organizada pelas posições do termo com maior número de trabalho até o termo com menor número de trabalho, algumas posições se repetem para diferentes termos, isso ocorre porque esses termos tem a mesma quantidade de número de trabalho (N°*).

Tabela 1 - Diferentes terminologias associadas às principais categorias de IVU

Posição	Termos	N°*	%**	Posição	Termos	N°*	%**
1°	Corredores verdes	46	61	10°	Lagoas pluviais	15	20
2°	Parques lineares	39	52	11°	Pavimentos permeáveis	14	19
3°	Espaços abertos	37	49	12°	Fragmentos permeáveis	13	17
4°	Áreas naturais	31	41	13°	Caminhos verdes	12	16
4°	Jardins de chuva	31	41	13°	Cinturões verdes	12	16
5°	Arborização urbana	29	39	13°	Ruas arborizadas	12	16
6°	Biovaletas	28	37	14°	Bacias de retenção	10	13
7°	Corredores ecológicos	22	29	14°	Greenways	10	13
8°	Canteiros pluviais	19	25	15°	Cisternas	9	12
9°	Alagados construídos	18	24	15°	Redes verdes	9	12
9°	Tetos verdes	18	24	15°	Ruas verdes	9	12

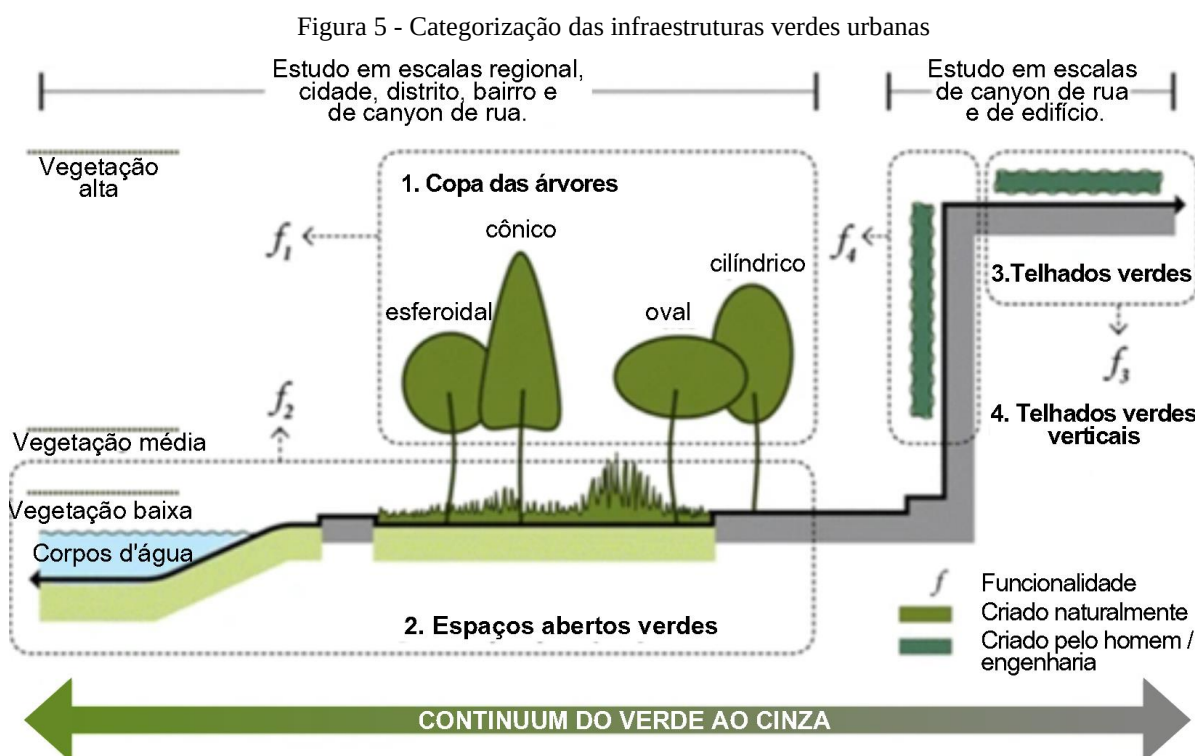
Fonte: Santos e Enokibara (2021)

Algumas das tipologias acima elencadas podem ser consideradas parte da infraestrutura azul urbana, como os jardins de chuva, , lagoa pluvial, e cisterna (Cormier e Pellegrino, 2008). A infraestrutura azul urbana surgiu a partir do conceito de infraestrutura verde urbana, porém sugere uma estratégia focada na gestão das águas da chuva, utilizando sistemas destinados a capturar, limpar e reduzir o impacto dessas águas na drenagem e no escoamento superficial (Camargos, 2020).

Dentre as tipologias destacam-se a arborização urbana, corredores verdes, corredores ecológicos, caminhos verdes, ruas arborizadas, redes verdes e ruas verdes. Nessas tipologias a vegetação protagonista é a árvore e tem funções ecológicas insubstituíveis na infraestrutura verde. Contribuem significativamente para prevenir erosão e assoreamento de corpos d'água;

promover a interceptação e infiltração das águas das chuvas, que reduz o impacto das gotas que compactam o solo; capturar gases de efeito estufa; ser habitat para diversas espécies que promovem a biodiversidade, mitigar efeitos de ilhas de calor, para citar algumas (Herzog e Rosa, 2010a). Além de promover o tratamento da água da chuva (Boulomytis et al., 2024).

Koc, Osmond e Peters (2015) agrupam as IVU em 4 categorias (Figura 5), que são: (1) Copa das árvores; (2) espaços verdes abertos; (3) telhados verdes; e (4) sistemas verticais de vegetação.



Fonte: Tradução da autora, Koc; Osmond; Peters, 2015, p. 31

O dossel das árvores e os espaços verdes abertos são os que mais têm chamado a atenção e têm sido mais difíceis de catalogar devido à sua inerente complexidade (Koc et al 2015). A partir da pesquisa de Koc et al (2017) é possível observar os termos mais utilizados nessas categorias, como no Quadro 1.

Quadro 1 - Termos mais utilizados para tipologias de IV nas categorias

Copa das árvores	Espaços abertos verdes	Telhado Verde	Jardins verdes verticais
Cobertura verde Ruas verdes Alamedas e passagens estreitas verdes Árvores [de rua] Arbustos Cobertura arbórea Silvicultura urbana Cobertura arbórea urbana Arborização urbana Mata Campo [florestal]	Cinturões verdes Corredores verdes Coberturas verdes Espaços verdes Caminhos verdes Coberturas vegetativas do solo Superfícies de terrenos Coberturas dos solos Espaços livres em áreas públicas urbanas Terrenos urbanos Estruturas e elementos verdes nas áreas urbanas Coberturas vegetativas	Telhados ecológicos Telhados verdes Telhados vivos Jardins no telhado	Bio-paredes Fachadas verdes Paredes e muros verdes Paredes e muros vivos Paisagismo vertical Vegetação vertical

Fonte: Tradução da autora, Koc et al (2017)

2.2 ELEMENTOS DE SAÚDE PÚBLICA, FATORES AMBIENTAIS E SOCIOECONÔMICOS

Saúde é um estado de completo bem-estar físico, mental e social, e não apenas a mera ausência da doença (Bonita et al., 2010, Cap.2, p. 15), conforme proposto pela OMS em 1948. O Sistema Único de Saúde (SUS) do Brasil foi criado a partir de uma maior participação de movimentos organizados da sociedade nos conselhos de gestão nacional no período da Nova República, entre 1985 e 1988, após o fim da ditadura militar no Brasil e promulgação da Constituição (Risi Jr e Nogueira, 2002). A Lei Federal 8.080/90 dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e funcionamento dos serviços correspondentes, além de dar outras providências. Regula em todo território nacional as ações e serviços de saúde. Nas disposições gerais define no Art. 2o.:

“A saúde é um direito fundamental do ser humano, devendo o Estado prover as condições indispensáveis ao seu pleno exercício.”

Além da lei 8.080/90 existe um conjunto de leis complementares, portarias, normativas, no nível federal, estadual e municipal que condicionam o sistema de gerenciamento da saúde no Brasil, seu *modus operandi* no controle de doenças e atenção básica à saúde. Até certo ponto extensivo à Rede Privada de Saúde. Mas, tudo é centralizado no SUS.

Mensurar saúde e doença é fundamental para a epidemiologia. Na área da saúde pública, na epidemiologia, são propostos intrinsecamente vários indicadores da saúde (ou da doença). Os conceitos apresentados no Quadro 2 foram compilados a partir de Bonita et al.

(2010, cap. 2) e, conforme relatado pelos autores, foi usado como referência na descrição dos conceitos, o “*Dictionary of Epidemiology*”.

A partir de 2008, o DATASUS passou a armazenar várias informações importantes sobre a saúde das pessoas que permitem avaliar o estágio e as condições da saúde pública. As gestões municipais de saúde alimentam as informações às Secretarias Estaduais, que por sua vez, alimentam o DATASUS. Dessa forma toda a informação fica ali centralizada.

O DATASUS contém um enorme número de informações. A semântica do banco de dados, assim como seu desenho que condiciona as possíveis consultas aos dados, seguem padrões internacionais, geralmente em consenso com Conselhos e Comissões Nacionais, Internacionais, e em última instância com a Organização Mundial de Saúde (OMS). A pandemia de COVID-19 em 2020, é fato inegável da importância da gestão nas questões de saúde. Muitos males da saúde não têm fronteiras ou se repetem de forma similar em diferentes Nações.

O TabNet/DATASUS apresenta ao usuário um framework, como um formulário, onde é possível selecionar diferentes opções, que levam a outros formulários, também com outras possibilidades de seleção, que fazem da consulta ao mesmo, uma operação não trivial. Por exemplo, pode-se selecionar a opção “*epidemiológicas e morbidade*”, no novo formulário digital, que daí surge, e é possível então, selecionar por “*geral, local de residência*”, ou por “*local de atendimento*”, pode-se definir a abrangência/localização geográfica. Depois definir as linhas da tabela de dados que geralmente é o interesse na consulta ao Sistema, e.g. “*municípios*”. As colunas, podem ser definidas como o “*sexo*”, a “*faixa etária*”, entre outras, e finalmente, pode ser determinado o conteúdo desejado, e.g. número de internações hospitalares. Outras opções permitem a seleção das doenças, que têm códigos associados como a Classificação Internacional das Doenças² (CID) (de acordo com a OMS, Quadro 2).

Depois, outras opções do TabNet/DATASUS permitem uma espécie de consulta cruzada ao Sistema, e.g. se as colunas forem determinadas como “*sexo*”, as outras opções permitem condicionar subgrupos, por exemplo “*entre 60 e 64 anos*”. Finalmente, o usuário pode então visualizar a tabela resultante, no formato proprietário do DATASUS, e depois exportar como um arquivo tipo csv. Este último, pode ser facilmente importado em planilha tipo EXCEL, que permite a manipulação dos dados conforme o interesse e aplicação.

² **CID.** Classificação Internacional das Doenças. Começou a ser utilizado em 1992. Essa classificação é a mais recente de uma série iniciada em 1850. Tornou-se o padrão de classificação diagnóstica para todos os propósitos epidemiológicos e de registros em saúde (BONITA ET AL., 2010).

Entre os elementos condicionantes da saúde pública estão o saneamento, a saúde ambiental, a alimentação saudável e adequada, mudanças nos padrões de morbimortalidade e, questões epidemiológicas e de erradicação de doenças transmissíveis.

No Brasil, durante o século XX, houve uma mudança nos padrões demográficos, com o crescimento dos centros urbanos, em detrimento à evasão rural. No entanto, por algum tempo, o padrão familiar rural prevalente de maior número de filhos se manteve nas cidades. Ao mesmo tempo, as políticas para capacitação da mão de obra e geração de vagas de trabalho diante das mudanças demográficas, durante o processo de industrialização que ocorreu no mesmo período, não foram suficientes. Resultou em uma espécie de exclusão da classe mais vulnerável. Ocorreu uma mudança do padrão de morbimortalidade, com resultados importantes como a redução da mortalidade infantil, controle de doenças infecciosas, diminuição do contágio, por conta de vacinas. No entanto, surgiram outras condições, como as doenças do aparelho cardiovascular, que é a maior causa de morte no mundo.

Quadro 2 - Conceitos fundamentais em Epidemiologia e Saúde Pública

População em risco. Pessoas susceptíveis a determinadas doenças. Podem ser estudadas conforme fatores demográficos e ambientais.

Incidência e Prevalência. A primeira, indica o número de casos ocorridos em um certo período de tempo em uma população específica. Prevalência refere-se ao número de casos (novos e velhos) encontrados em uma população definida em um determinado ponto do tempo. Significam a contagem de casos em uma população em risco.

Taxa de Prevalência. São calculadas dividindo-se o número de casos pelo número de pessoas em risco, expressa como casos por 10ⁿ pessoas.

P= (Número de pessoas com a doença/População em risco)*10ⁿ

Mortalidade e Morbidade. Dados de morbidade incluem, entre outros, admissões e altas hospitalares. As taxas de morbidade são particularmente interessantes na investigação de doenças que apresentam baixa letalidade. Permitem o entendimento de tendências de mortalidade. Mudanças nas taxas de mortalidade podem ser decorrentes de modificações no padrão de morbidade ou de letalidade da doença. É uma prática comum fornecer análises de mortalidade e morbidade padronizadas por idade, uma vez que as estruturas etárias mudam com o tempo. As taxas de prevalência são importantes na avaliação das necessidades de saúde (curativas ou preventivas) e no planejamento dos serviços de saúde.

Coorte. É um conceito relacionado à estatística. Em Epidemiologia refere-se a um grupo de pessoas com uma experiência em comum, e.g. taxa de incidência de asma em um coorte de 118.000 mulheres.

Fonte: Adaptado de Bonita et al., 2010 e “*Dictionary of Epidemiology*”

Quadro 3 - Morbidade Hospitalar do SUS (CID-10)

X - Doenças do Aparelho Respiratório (DATASUS)	Códigos J00-J99
Faringite aguda e amigdalite aguda	J02-J03
Laringite e traqueíte agudas	J04
Outras infecções agudas das vias aéreas superiores	J00-J01, J05- J06
Influenza [gripe]	J09-J11
Pneumonia	J12-J18
Bronquite aguda e bronquiolite aguda	J20-J21
Sinusite crônica	J32
Outras doenças do nariz e dos seios paranasais	J30-J31, J33-J34
Doenças crônicas das amígdalas e das adenóides	J35
Outras doenças do trato respiratório superior	J36-J39
Bronquite, enfisema e outras doenças pulmonares obstrutivas crônicas	J40-J44
Asma	J45-J46
Bronquiectasia	J47
Pneumoconiose	J60-J65
Outras doenças do aparelho respiratório	J22, J66-J99

Fonte: DATASUS³(2020)

O fenômeno da urbanização que se seguiu, e as questões do aquecimento global, contribuíram para mudanças na qualidade do ar, torna a população mais vulnerável aos males respiratórios. As Doenças respiratórias e do aparelho circulatório podem também agir de forma sinérgica, que leva à degradação das condições de saúde (Pereira, 2022).

Nos países em desenvolvimento as condições de moradia para os mais vulneráveis, os elementos sanitários, ambientais e socioeconômicos, além das mudanças climáticas, impactam a saúde de forma particular, e têm rebatimentos cruéis sob os mais vulneráveis, sejam as crianças, os idosos, mulheres, LGBTQIA+, os pretos e indígenas ou/e os mais pobres (Dil e Costa, 2023; Campos, 2021).

A dinâmica do crescimento populacional, o desmatamento imposto pelas necessidades de produção de alimentos, da ampliação dos núcleos urbanos, as instabilidades políticas, problemas socioeconômicos, culturais, contribuem para aumentar a pobreza, a exclusão social e a degradação ambiental. Todos esses elementos estão associados e condicionam a saúde pública no Brasil.

³ (<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/sih/mxcid10lm.htm>) Acesso em 22/10/2020.

2.3 VARIÁVEIS, INDICADORES E ÍNDICES AMBIENTAIS, SOCIOECONÔMICOS E DE SAÚDE

Indicadores são elementos quantitativos e/ou qualitativos que permitem avaliar se objetivos e metas pressupostas foram atendidas. Em alguns casos, até mesmo em que medida foram atendidas. Permitem avaliar o estágio de desenvolvimento ou sucesso de Programas e Projetos, ou ações programadas, e auxilia os processos de gestão e governança. Na gestão do bem público, indicadores podem dar suporte ou favorecer adaptações das políticas públicas, e comunicar melhor seus resultados (Brasil, 2012).

Entre os indicadores ambientais, observam-se: indicadores para inferir a qualidade do ar, das águas, o nível de contaminação dos solos, de degradação, entre outros . Mas, há indicadores municipais também. Na base de dados do IBGE, “@Cidades”, foram trabalhados os dados, em sua maioria do último censo de 2010, e são expostos alguns indicadores ambientais sobre os estados e municípios brasileiros. Há também a compilação de dados demográficos e indicadores, e.g. densidade demográfica (número de pessoas dividido pela área do município). Indicadores socioeconômicos, por exemplo o índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM), adaptado pelo Instituto de Pesquisa Econômica do Brasil e outras Agências para a escala municipal.

O IDHM contempla aspectos essenciais ao desenvolvimento como vida longa e saudável (longevidade), acesso ao conhecimento (educação) e padrão de vida (renda). No IBGE@cidades, está inserido também o Produto Interno Bruto (PIB), entre outros.

O portal Cidades remete à plataforma SIDRA, também do IBGE, que esta última integra, permite consulta e obtenção de várias informações das várias pesquisas do IBGE (para além do censo) que podem permitir cálculos, ou até mesmo novas proposições de indicadores.

A formulação de índices baseados em diferentes indicadores pode ser uma opção para orientar tomadas de decisões na busca da redução desses danos. Pereira (2019, p. 3705), afirma que os “índices podem desempenhar funções diversas, tais como avaliar condições existentes; comparar lugares, situações ou alternativas; proporcionar antecedência ao advertir sobre algum efeito ou impacto de uma ação; prever futuras condições e tendências”. Um índice é construído a partir de indicadores, sendo definidos como uma medida que serve como subsídio a atividades de planejamento e formulação de políticas, que identifica necessidade de alocação de recursos e de prioridade (Jannuzzi, 2012).

2.4 ARBORIZAÇÃO URBANA NO CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR E SAÚDE RESPIRATÓRIA

A saúde urbana está inserida nas questões relacionadas à saúde pública e existe uma relação entre doenças crônicas e poluição (Dimenstein e Siqueira, 2020). A vida na cidade impacta na saúde de seus habitantes e pode ser entendida em três categorias: (1) o ambiente físico (desenho urbano, infraestrutura, ambiente construído, habitação, condições atmosféricas e climáticas, qualidade da água, parques), (2) o ambiente social (tensão e coesão social, grau de suporte social, segregação espacial, desigualdades sociais), e (3) o acesso e disponibilidade a serviços sociais e de saúde (iniquidades na distribuição de recursos e serviços, dimensão das redes assistenciais, acessibilidade) (Galea e Vlahov, 2005 apud Dimenstein e Siqueira, 2020 p. 64)

Vecchina et *al.* (2018) discute que aspectos da qualidade do ar impactam socialmente na saúde da população que afeta a qualidade de vida das pessoas principalmente em crianças, idosos ou portadores de doenças do trato respiratório. A autora ressalta que a poluição atmosférica intensificada nos centros urbanos pode ser o desencadeador principal na mortalidade infantil por doenças respiratórias e infecções agudas.

A emissão excessiva de poluentes tem provocado sérios danos à saúde pública, como vários distúrbios respiratórios, alergias, lesões degenerativas no sistema nervoso ou em órgãos vitais e câncer. Em cidades com alto índice de poluição atmosférica, esses distúrbios agravam-se no inverno com a inversão térmica, onde uma camada de ar frio forma uma redoma na alta atmosfera, que aprisiona o ar quente e impedindo a dispersão dos poluentes (Mesquita, 2005b apud Vecchina et *al.*, 2018).

Os poluentes do ar exercem efeitos no sistema respiratório, que causam sintomas respiratórios principalmente em crianças, tendo efeitos sobre a função pulmonar, ocasionando um no aumento da prevalência de asma brônquica, de visitas à emergência e de hospitalização por crise aguda de asma. Além do aumento da prevalência da doença em regiões urbanas densamente industrializadas. Ao apontar outros problemas respiratórios que tem relação como câncer de pulmão e infecções agudas, ressalta a importância de profissionais da saúde reconhecerem a importância da diminuição de poluentes principalmente nas residências e locais de trabalho (Arbex et *al.*, 2012).

A incidência e a prevalência da asma têm crescido no mundo inteiro. É estimado que, atualmente, 300 milhões de pessoas têm asma, e que 180.000 morrem anualmente por causa

da doença. A asma pode começar em qualquer idade, ainda assim metade das pessoas com asma tiveram seus primeiros sintomas até os 10 anos. É uma doença crônica inflamatória de longo termo. A asma muda ao longo do tempo, e as pessoas têm dias melhores e piores. Mas, pode levar a ataques severos que requerem hospitalização, e algumas vezes levam à morte. A asma também coloca os afetados sob um risco mais elevado de infecções virais como o próprio COVID-19. Suas causas não são inteiramente compreendidas. Sabe-se que fatores genéticos e elementos do meio ambiente interno estão associados. Ainda assim, há evidências fortes de que a poluição urbana tenha um papel central na asma e em seus agravos (GINA, 2017).

Basicamente, a redução dos poluentes do ar pela camada do dossel é associada diretamente com a interação, deposição, e dispersão dos poluentes atmosféricos. No entanto, há uma interação complexa entre as árvores, a circulação do ar que as circundam, o material particulado e outros poluentes. As cidades, as características da população, a densidade de ocupação e uso do solo, assim como a poluição do ar são extremamente heterogêneos. Enquanto o material particulado e os gases podem ser depositados e retirados pelos estômatos na superfície de suas folhas, em algumas situações do ambiente urbano construído a poluição do ar pode ficar retida nos espaços arborizados, impedindo a circulação do ar e a dispersão dos poluentes (WHO, 2016).

É altamente complexo avaliar os benefícios diretos da vegetação na saúde urbana, e existem lacunas no conhecimento científico e fatos sobre a relação direta entre a asma e a presença da vegetação que suscitem aprofundamento da pesquisa nas temáticas associadas (WHO, 2017). A compreensão desses fenômenos é desejável para arquitetos no planejamento urbano. A revisão buscou reunir o estado da arte sobre este assunto. Foram estabelecidas perguntas como qual é a literatura relevante no assunto, quem são os principais autores e grupos de pesquisa, assim como levantamento dos métodos utilizados nos estudos e o grau de conhecimento que se tem sobre o assunto.

Na tentativa de minimizar os efeitos da poluição do ar na saúde respiratória muitas pesquisas estão discutindo sobre o impacto da vegetação em áreas urbanas. É comum ao abordar o assunto de vegetações como as árvores haver a argumentação que estas oferecem serviços ecossistêmicos como a redução da poluição do ar, sendo o serviço mais citado para a arborização urbana que traz retorno econômico (Eisenman et al, 2019).

Amato-Lourenço (et al., 2016) apresenta uma discussão sobre a importância de áreas verdes para a qualidade do ar a partir dos estudos de Nowak (et al, 2006), Nowak (et al, 2014) que mostram que a vegetação tem funções de filtrar poluentes, removendo-os da atmosfera e

impacta diretamente nos sistemas de saúde e na economia, além de contribuírem de forma indireta com a umidade relativa do ar e diminuição do impacto gerado pela emissão de hidrocarbonetos.

De acordo com Eisenman (et al 2019), as árvores urbanas podem afetar diretamente a saúde humana com a qualidade do ar exterior através de quatro processos biofísicos: (1) deposição de poluição gasosa e materiais particulados nas superfícies das árvores e absorção através dos estômatos das folhas (poros microscópicos); (2) modificação da circulação do ar – também conhecida como dispersão – pelas superfícies das árvores; (3) formação de ozônio (O_3) através da emissão de compostos orgânicos voláteis biogênicos (COVB); e (4) produção de pólen, incluindo interações sinérgicas com a poluição atmosférica antropogênica.

O efeito da vegetação na qualidade do ar em cânions urbanos, estradas estão sendo foco de interesse em pesquisas sobre qualidade de ar em ambientes urbanos (Baldauf, 2017; Tong et al, 2015; Jeanjean et al, 2017; Gromke e Ruck, 2007; Gromke e Blocken, 2015).

Conforme Jeanjean et al. (2017) a forma como as árvores são colocadas nas ruas formam um cânion, podendo afetar positivamente e negativamente a qualidade do ar. Os dosséis não devem ocupar grandes volumes no cânion urbano para não impedir a ventilação, e certificar a existência espaço suficiente entre o dossel e fachadas, caso contrário o nível de concentração de poluentes pode aumentar (Jeanjean et al, 2017; Gromke e Ruck, 2007; Gromke e Blocken, 2015).

Eisenman et al. (2019) afirmam a partir de revisão de literatura, que árvores em ruas urbanas podem concentrar a poluição atmosférica local, pela redução da circulação do ar e não há consenso científico para apoiar projetos de grande escala de arborização para reduzir as crises de asma através da qualidade do ar.

Além disso, as árvores urbanas podem agravar a asma através da produção do pólen. Para Cariñanos e Casares-Porcel (2011), o efeito da flora urbana tem um impacto nas atividades ao ar livre, visto que a recomendação para indivíduos alérgicos é reduzir a exposição ao pólen. Os autores delinearam nove diretrizes de planejamento e projeto paisagístico para baixo impacto alérgico: (1) aumentar a biodiversidade vegetal, (2) garantir a introdução moderada e controlada de flora exótica; (3) controlar espécies invasoras, (4) evitar o uso extensivo de indivíduos (árvores) do gênero masculino de espécies dioicas⁴, (5) escolher espécies com produção de pólen baixa a moderada, (6) adoptar estratégias adequadas de

⁴ Uma espécie dioica é aquela em que os gametas femininos e masculinos são produzidos por indivíduos distintos, femininos e masculinos, respetivamente.

gestão, manutenção e jardinagem para garantir a remoção de espécies oportunistas e espontâneas, (7) Enviar a formação de grandes fontes focais de pólen, ao respeitar as distâncias de plantio, (8) obter aconselhamento especializado ao selecionar espécies adequadas para cada paisagem e evitar promover a reatividade cruzada entre panalérgenos, (9) estabelecer estatutos das autoridades locais garantindo que haja tempo suficiente disponível para a concepção e planejamento de espaços verdes urbanos.

Apesar dos argumentos apresentados para saúde respiratória, a arborização urbana apresenta benefícios psicológicos e sociais não relacionados à qualidade do ar, além de vantagens estéticas efeitos de sombreamento, proteção e direcionamento dos ventos, amortecimento e diminuição da poluição sonora preservação da fauna e biodiversidade (Oliveira et al, 2009; Eisenman, 2019).

Para além dos serviços ecossistêmicos que as árvores provêm, é também importante refletir sobre a adequação das espécies, possivelmente escolhidas e selecionadas, e sua adaptação ou adequabilidade em período de transição climática, como estiagens mais prolongadas, tempestades e ventos associados, temperaturas médias mais elevadas.

2.5 ELEMENTOS SOBRE CIÊNCIA E MINERAÇÃO DE DADOS

A ciência e a mineração de dados (*data mining*) compreende um grupo de tecnologias, cujo objetivo principal é a extração do conhecimento e informações sobre variáveis (dados observados). A análise dos dados contribui para aumentar a compreensão da inter-relação sobre os mesmos, e, possivelmente permitir a extração de regras de associação e/ou de correlação entre os dados (Galvão e Marin, 2009).

Mineração de dados é frequentemente ensinada e aprendida por exemplos. Os dados já existem, e pela observação, “assistindo” o que acontece, é possível adquirir o conhecimento de como uma coisa afeta a outra. Um exemplo clássico para refletir sobre aquisição de conhecimento a partir de dados é o problema do tempo (Witten e Frank, 2005). A questão é similar à previsão do tempo. Os atributos são as variáveis que caracterizam o fenômeno – o tempo. Estas são tipicamente, entre outras, a temperatura, a direção e a velocidade do vento, umidade relativa do ar, choveu/não choveu. As instâncias ou casos, são, por exemplo as temperaturas diárias, a direção e a velocidade diárias do vento, assim como a umidade relativa diária. Poderiam ser também estas medidas em diferentes locais. A instância corresponde a uma inferência dos atributos, das variáveis, que, por sua vez, medem, inferem, diferentes

aspectos daquela instância. Neste caso, o objetivo poderia ser através da observação dos dados prever se vai, ou não chover.

Na literatura, e *websites*, existem bases de dados e problemas clássicos pelas quais pode-se exercitar as etapas envolvidas na mineração de dados até o aprendizado. É uma atividade computacional, os dados são digitais, o processamento se dá por algoritmos e funções, muitas vezes pré-programadas e que, não necessariamente se tem inteiro domínio dos métodos ali instaurados, por vezes simples, por vezes complexos. Ensina-se a máquina (o computador como uma entidade), através de procedimentos mais ou menos “*padrão*” a aprender, através de treinamento, as essências de determinado fenômeno que se busca explicar pelos dados (Aggarwal, 2015). Por vezes, as bases de dados podem ter muitas instâncias e muitos atributos, *big data*, que é difícil manipular no sentido literal da palavra, cada dado. Como olhar um a um, os dados de uma base, com mil instâncias e por exemplo 50 atributos?

É preciso estabelecer um conjunto de ações que permitam ao analista, e à “máquina” sob a tutoria do mesmo, a perceber se há falhas, dados negativos, se deveriam ser possíveis somente valores positivos, atributos redundantes ou proporcionais. É preciso extrair os atributos essenciais na descrição do fenômeno para o qual pretende-se extrair regras associativas ou fazer classificação e previsão. Por exemplo, se for verificado nos registros que em todos os dias em que choveu, havia vento forte, e temperaturas maiores do que 28 graus Celsius, e se tem as 1.000 instâncias das 1.000 instâncias do total, em que isso aconteceu, a máquina, deverá prever chuva todas as vezes que houver aquela conjunção de fatores.

Por vezes a base de dados para estudo de um problema, será constituída por dados originados de diversas bases, com dados dispostos em ordens diferentes, armazenados de forma diferenciada, é necessário conciliar todos os atributos e suas instâncias na forma de uma matriz: as colunas são geralmente os atributos, e as linhas os casos ou instâncias.

Para Camilo e Silva (2009) as etapas clássicas na ciência de dados e preparo da base para modelagem e extração de regras associativas ou de classificação da amostra envolvem: (1) a constituição da base de análise; (2) verificação de consistência e coerência dos dados, analisar se todos os valores (linhas e colunas) são lidos corretamente; (3) observação dos tipos dos atributos, podem ser numéricos ou categóricos; (4) observar as estatísticas básicas, como média, desvio padrão, valores mínimo e máximo, mediana e moda de cada atributo numérico, assim como verificar a contagem dos atributos categóricos; (5) promover a visualização dos dados, gráficos tipo dispersão de pontos, *scatter plots*; (6) classificação dos pontos representados na dispersão por uma variável categórica; (7) representar os histogramas e

observar a distribuição dos dados, o ideal é que tenham a forma de uma normal Gaussiana; (8) análises da estatística multivariada, como o cálculo da matriz de correlação, análise de agrupamento (cluster); (9) verificação dos atributos mais importantes na explicação (no sentido estatístico) da variável que se pretende estabelecer um padrão de comportamento, que é a variável dependente – os atributos são as variáveis independentes. Ainda, se de interesse, promover operações que transformam variáveis categóricas em numéricas. Também é muito comum promover a transformação (adequação à forma Gaussiana) dos dados antes da etapa de extração de regras, sobretudo quando as ordens de grandeza são muito diferentes. Finalmente, a base está preparada para a submissão ao algoritmo para extração de regras associativas ou classificação da amostra, e depois previsão.

A preparação dos dados é essencial na extração de conhecimento a partir dos mesmos. A mineração de dados é constituída por tarefas “exaustivas” de observação dos dados. Envolve várias disciplinas: estatística, aprendizado de máquina, banco de dados, sistemas especialistas, técnicas de visualização de dados e computação de alto desempenho (Côrtes, Porcaro e Lifschitz, 2002). A interação destas disciplinas é componente fundamental para o processo de descoberta de conhecimento em bancos de dados.

Para cada etapa existem diferentes métodos, algoritmos com diferentes implementações, e uma, pode resultar em melhor experiência que a outra. Intrinsecamente, a mineração de dados integra várias áreas de conhecimento para explicação de um fenômeno através dos registros de dados que o caracterizam em vários casos. Dificilmente o analista conhecerá em profundidade todas as áreas. É natural no processo, a entrevista, a troca de ideias com especialistas de diversas áreas do conhecimento. É importante que as regras tenham razoabilidade e sentido no mundo real. É preciso estar atento para regras circunstanciais, com vieses, e que podem ter acontecido ao acaso.

Softwares/Pacotes de estatística prevêm várias das ações executadas na ciência de dados e mineração, e.g. representação gráfica do histograma, análises multivariadas. A linguagem de programação científica Python é bastante usada nos processos envolvidos na ciência de dados e de Inteligência de Máquina. Há também várias bibliotecas do Python preparadas para as operações em ciência de dados e para visualização dos dados, que são muito efetivas e de ampla divulgação, no contexto da política de uso livre e gratuito.

Os resultados depois da aplicação de algoritmos de associação e classificação são verificados pela coerência dos resultados, e também por índices matemáticos que medem erros e acertos, além de ser considerado o uso de um coeficiente chamado de suporte e outro

de acurácia. É usual dispor os indicadores de qualidade de ajuste do modelo na chamada matriz de confusão, que reflete o número de acertos e erros na fase de treinamento e de teste.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo são apresentados o **objeto de estudo**, onde é apresentada a caracterização do bairro Água Verde, as fontes de dados e as variáveis consideradas no estudo, assim como são descritos os procedimentos de análise de dados e as bibliotecas *python* utilizadas.

3.1. CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

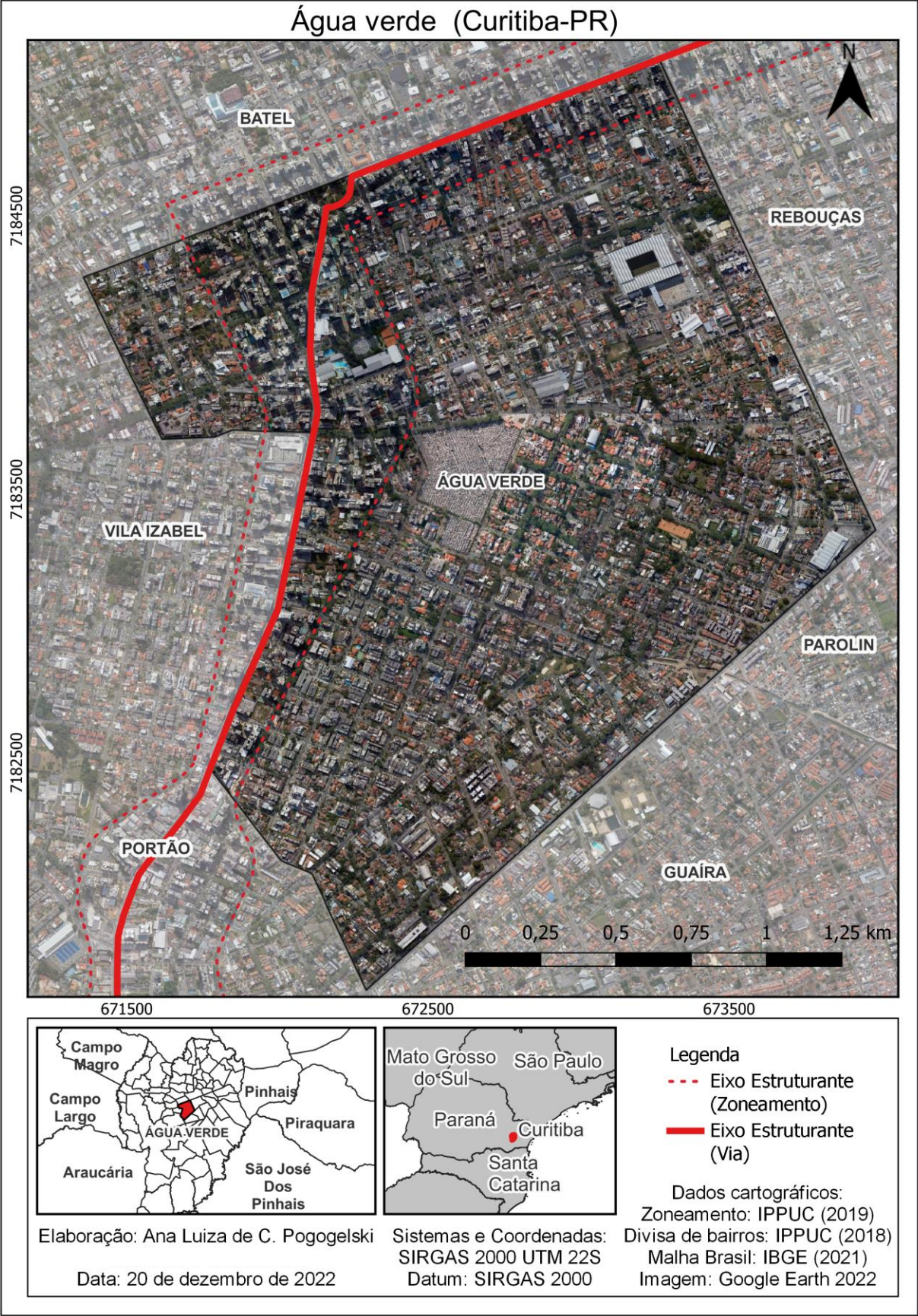
A Figura 6 apresenta a localização do bairro Água Verde na cidade de Curitiba no estado do Paraná, Brasil, tomado como objeto de estudo. Constitui um dos 75 bairros da cidade. Está localizado próximo à região central e ocupa uma área de 476,4 ha em Curitiba, que apresenta uma área total de 434,9 km² (IBGE, 2023) dos quais 336,51 km² (IBGE, 2019) são consideradas áreas urbanizadas, como o bairro Água Verde. O nome do bairro se deve a sua localização na bacia hidrográfica do Rio Água Verde, que nasce e cruza a área do bairro, e é um afluente importante do Rio Belém. Embora seja uma região de características residenciais e com cobertura de arborização viária, é delimitado por avenidas importantes, como a Sete de Setembro, que constituem eixos principais de transporte de Curitiba por onde circulam os ônibus. Faz divisa com os bairros Centro, Batel, Guaíra, Parolin, Portão, Vila Isabel, Seminário e Rebouças.

Curitiba é uma cidade no Primeiro Planalto Paranaense, localizada na Região Sul do Brasil, coordenadas LAT 25°26' S; LONG 49°16' W, a aproximadamente 935 metros de altitude em relação ao nível do mar. É conhecida por seu transporte público inovador, sua mobilidade urbana e muitas áreas verdes. O clima é subtropical segundo a classificação de Koppen (Cfb), com temperaturas médias anuais de 17 °C (20.5 °C em Janeiro e 13 °C em julho) e totais anuais pluviométricos de 1.550 mm, ligeiramente concentrados nos meses de verão. Sendo os meses mais secos Julho e Agosto (Alvares et al., 201). Sua população estimada é de 1.963.726 habitantes para o ano de 2021 (IBGE, 2023). É a cidade polo do conjunto de 29 municípios que formam a Região Metropolitana de Curitiba (RMC) em uma área de 15.622,34 km² e população de 3.731.769 habitantes (IBGE, 2021; Curitiba, 2023).

Com relação à ocupação urbana, a atual conformação da cidade, reflete um crescimento linear, que adota como estratégia a integração dos aspectos de uso do solo,

sistema viário, transporte público e desenvolvimento econômico, social e ambiental na definição das políticas locais. Esse modelo, se caracterizou pela implantação dos Eixos Estruturais e pelo uso do transporte público como o principal indutor do crescimento urbano, é marca da cidade (Curitiba, 2019). Ao longo dos eixos estruturantes o zoneamento prevê um maior adensamento e variedade de tipologias construtivas, como se verifica no Bairro Água verde. Na Figura 6 a Avenida Sete de Setembro aparece em destaque, com área de entorno delimitada pelas linhas tracejadas, que correspondem às faixas com a mesma classe de zoneamento urbano permitido ao longo dos eixos estruturantes em Curitiba.

Figura 6 - Localização do bairro Água Verde, Curitiba - PR



Fonte: a autora, 2024.

Com relação à qualidade do ar em Curitiba, Felix et al. (2019) demonstraram que as concentrações de óxidos de nitrogênio na atmosfera em Curitiba, que têm impacto importante na saúde respiratória, têm origem sobretudo nas atividades industriais no entorno da cidade (63%). Mas, o segundo componente (36%) é originado nos sistemas de transporte público e privado. Ainda, Ardiles et al. 2018, demonstraram que os poluentes atmosféricos que apresentam maior risco para a saúde respiratória em Curitiba são material particulado (PM₁₀), Ozônio (O₃) e Monóxido de Carbono (CO). PM₁₀, principalmente para a faixa etária entre 0 e 9 anos; O₃ e CO para a faixa etária entre 20-64 anos; e CO para os idosos. Esses autores verificaram também que mesmo quando as concentrações estão abaixo dos limites estabelecidos na legislação, podem ser prejudiciais para a saúde respiratória.

3.2. MÉTODO

O método envolveu a aplicação de técnicas da ciência de dados, com vistas à aquisição de conhecimento que possa explicar os impactos da infraestrutura verde, em especial a tipologia “arborização urbana”, na incidência da asma na população pediátrica. A análise envolveu possíveis impactos de elementos socioeconômicos na saúde respiratória. Foram aplicados elementos da estatística básica e multivariada. Todo o processo foi precedido de verificação da disponibilidade de dados, análise de consistência e desenvolvimento de indicadores que possam explicar o fenômeno. Em princípio, foram utilizadas variáveis análogas e indicadores que seguem uma lógica similar àqueles aplicados por Pimentel da Silva et al., 2022, em um estudo que envolveu a aplicação de ciência de dados para analisar a ação protetiva da vegetação na saúde respiratória nos municípios do estado do Paraná. Além de dados censitários demográficos e ambientais, os autores utilizaram em suas análises, dados socioeconômicos, justificado pela conhecida inter-relação entre condições de saúde, pobreza e meio ambiente (O’neill et al. 2008).

A unidade espacial de análise foi a área dos setores censitários. A malha foi a do censo de 2010, já que os dados do censo mais recente, de 2021, não estão ainda totalmente disponíveis. Além dos dados sobre a morbilidade da asma do HPP, foram também utilizados dados demográficos e socioeconômicos do censo de 2010 (Quadro 4). Para dados socioeconômicos foi também utilizada a base de dados do Programa Bolsa Família, cedido pela Secretaria Municipal de Fazenda. Ademais foram utilizados dados associados ao ambiente construído, sobretudo os associados às infraestruturas verde e cinza urbana (IVU e

ICU, respectivamente) (Quadro 4). As variáveis selecionadas, a fonte dos dados, sempre a partir de domínios públicos, e suas unidades de medida.

Quadro 4 - Indicadores demográficos, socioeconômicos e ambientais por setor censitário

DADOS	Variável	Tipo	Descrição	Unidade	Fonte
DEMOGRÁFICOS E SOCIOECONÔMICOS	DENS_DEM_m	Numérico	População total por setor censitário dividido pela área em m ²	Número de pessoas por metro quadrado	IBGE, Censo 2010
	BAIXA_RENDA	Numérico	Número de domicílios com renda mensal de até meio Salário-Mínimo em 2010 por setor censitário, dividido pelo total de domicílios do setor censitário	razão	IBGE, Censo 2010
	BOLSA_FAMILIA_DOM	Numérico	Cadastro bolsa família (número de domicílios que recebem bolsa família) dividido por total de domicílios do setor vezes 10	razão	FAS-Fundação de Ação Social, Município de CURITIBA, 2023
IVU E ICU	HEMEROBIA	Categórico	Classificação das áreas de acordo com a hemerobia (Belem e Nucci, 2010)	razão	Imagens Google Earth (2022), levantamento de campo, Pogogelski et al., 2023.
	ARVORES_VIARIAS	Numérico	Total de árvores viárias no setor dividida pela população total no setor	razão	IPPUC, 2019
	NDVI	Numérico	Índice De Vegetação Por Diferença Normalizada	adimensional	Levantamento LiDAR do IPPUC, 2019
	TECNOMASSA	Numérico	Tecnomassa, de acordo com Inostroza (2014), dividida por TOT_POP vezes 10	razão	Levantamento LiDAR do IPPUC, 2019
	TAXA_IMPERM_POP	Numérico	divisão da área total de edificações do setor censitário pela área total do setor dividida pela população total vezes 1000	razão	IPPUC, 2019 e IBGE, Censo 2010
SAÚDE	TAXA_PAC	Numérico	Número de internações por asma dividido por população total do setor, vezes 100	Internações por 100 hab	Hospital Pequeno Príncipe (2019)

Fonte: A autora, 2024

Após a preparação dos dados, análise de consistência, determinação dos indicadores e análise dos valores das estatísticas básicas dos mesmos, procedeu-se às análises da estatística multivariada.

A análise multivariada consiste principalmente na identificação de padrões quantitativos entre as variáveis. Para encontrar correlações relevantes entre as variáveis escolhidas, utilizou-se técnica de estatística (e autocorrelação linear) e a técnica de agrupamento do dendrograma, que considera como variável dependente o indicador TAXA_PAC e os outros indicadores da Quadro 4 são variáveis independentes. Para fazer as análises foram utilizadas bibliotecas Python: **pandas, numpy, matplotlib, seaborn, e scikit-learn**.

1. **Análise Estatística Básica:** A análise estatística básica envolve a descrição e resumo de dados para obter informações iniciais sobre sua distribuição. A média, moda, mediana e desvio padrão proporcionam conhecimentos significativos sobre a distribuição e a variabilidade de conjuntos de dados. A média, uma medida de tendência central. A moda, por sua vez, representa o valor mais frequente em um conjunto de dados, enquanto a mediana corresponde ao valor que divide os dados em duas partes iguais, com metade dos valores abaixo e metade acima dela. O desvio padrão, uma medida de dispersão, indica o quanto os valores de um conjunto de dados variam em relação à média.
2. **Histogramas:** Os histogramas são úteis para visualizar a distribuição de uma variável contínua. O histograma é uma ferramenta que revela a distribuição dos dados, e ajuda a identificar onde os dados estão mais concentrados, representado pelo pico que indica a moda da distribuição. Além de também permitir avaliar como os dados estão dispersos em relação ao centro da distribuição e identificar *outliers*, que são valores isolados que se destacam no histograma. Ao analisar a distribuição, é possível determinar se é simétrica, o que significa que os dados estão equilibrados em torno de um ponto central, com média, mediana e moda aproximadamente iguais. Isso sugere uma distribuição uniforme dos dados em ambos os lados do centro, sem uma tendência clara para qualquer direção. Por outro lado, se houver assimetria, pode ser positiva (cauda longa à direita), e assim indica a presença de valores extremamente altos que aumentam a média, ou negativa (cauda longa à esquerda), sugerindo a presença de valores extremamente baixos que diminuem a média.

3. **Gráfico de Dispersão:** O gráfico de dispersão é usado para visualizar a relação entre duas variáveis. A variável independente é a causa, razão, a variável dependente é o efeito, a consequência. O gráfico de dispersão pode apresentar uma relação positiva, negativa ou neutra. A relação positiva significa que, à medida que uma variável aumenta, a outra também aumenta. Uma relação negativa indica que, à medida que uma variável aumenta, a outra diminui. Uma relação neutra sugere que não há uma relação clara entre as variáveis. Ao avaliar a dispersão dos pontos em torno da tendência geral do gráfico, pode examinar a força dessa relação. Quanto mais próximos os pontos estão da linha de tendência (ou de uma relação linear), mais forte é a relação entre as variáveis. Por outro lado, uma dispersão maior dos pontos sugere uma relação mais fraca. Através desses gráficos é possível identificar *outliers*, que são pontos que se desviam significativamente do padrão geral dos dados. Os *outliers* podem fornecer informações importantes sobre a natureza dos dados ou indicar a presença de valores extremos.
4. **Matriz de Autocorrelação Linear:** Uma matriz de autocorrelação é usada para entender a relação entre variáveis. A análise da matriz de autocorrelação mostra os coeficientes de Pearson combinados dois a dois, abrangendo todas as variáveis independentes e dependentes. Essa matriz revela o grau de correlação linear entre as variáveis, fornecendo conhecimentos cruciais sobre como se relacionam entre si. Quanto mais próximo o coeficiente estiver de 1, maior será a correlação entre as variáveis. É importante observar que na matriz de autocorrelação, a diagonal representa o coeficiente de correlação da variável consigo mesma, e, portanto, é sempre igual a 1. Além disso, o sinal do coeficiente de Pearson é fundamental na interpretação da correlação. Se for negativo, indica uma correlação inversa, o que significa que um aumento em uma variável resulta em uma diminuição na outra, e vice-versa. Por outro lado, um coeficiente positivo sugere uma relação direta, onde um aumento em uma variável está associado a um aumento na outra. Embora a interpretação do coeficiente de Pearson possa variar de acordo com a questão em estudo, geralmente, um valor em torno de 0,60 (+/-) e superior é considerado uma boa correlação entre as variáveis. Isso significa que as variáveis estão fortemente relacionadas e são influenciadas uma pela outra de forma consistente. A análise detalhada da matriz de autocorrelação é fundamental para compreender a estrutura dos dados e identificar padrões importantes que podem orientar a análise estatística e a tomada de decisões em diversos contextos.

5. **Análise Multivariada: Análise de Cluster:** A análise de cluster agrupa observações semelhantes em clusters. Um dendrograma é uma representação gráfica utilizada na visualização de dados hierárquicos, particularmente utilizada em análises de cluster para ilustrar a relação de proximidade entre observações ou variáveis. No dendrograma, as ramificações denotam a proximidade entre os grupos de observações ou variáveis, com a altura das ramificações refletindo a dissimilaridade entre os grupos. Este dendrograma hierárquico é construído com base na distância euclidiana entre as variáveis, permitindo a visualização da estrutura de agrupamento das variáveis. No dendrograma, o eixo x representa as variáveis, enquanto o eixo y indica a distância euclidiana entre as variáveis, no eixo Y. A altura das ligações no dendrograma fornece informações sobre a distância entre as variáveis.
6. **Análise Multivariada: Método de clusterização:** Para saber a quantidade ideal de clusters, a serem utilizadas nas etapas a seguir, foi utilizado o método do cotovelo (*Elbow Method*). Esse método envolve a análise da soma das distâncias quadráticas de um ponto em relação ao centroide do cluster mais próximo. Em outras palavras, avalia-se o quão próximo o ponto está de seus vizinhos dentro do cluster. Para realizar essa análise, são consideradas diversas possibilidades de número de clusters (representado por 'k', que varia de 1 a 50), assim calcula-se a soma das distâncias para cada cenário. Com isso, ocorre a criação de um gráfico que mostra a relação entre a distância e o número de clusters ('k').
7. **Análise Multivariada: Método de clusterização K-means:** O método K-means é uma técnica de *clustering* (agrupamentos) que utiliza um algoritmo de aprendizado de máquina não supervisionado usado para agrupar dados em um número pré-definido de clusters. O objetivo principal é agrupar dados com base em suas características semelhantes formando grupos (clusters). Neste trabalho utiliza-se o PCA (*Principal Component Analysis*) para redução de dimensionalidade selecionando os componentes principais que compõe os eixos em um espaço, permitindo visualizar a estrutura dos clusters em um espaço bidimensional. É feita a soma dos erros quadrados SSE (*Sum of Squared Errors*), para medir a compactação dos clusters, quanto menor o SSE mais compactos e distintos são os clusters. Assim como o cálculo da métrica *Silhouette Score* avalia a qualidade de clusters de coesão (quão próximos os pontos de dados estão uns dos outros no mesmo cluster) e separação (quão distantes os clusters estão uns dos outros). O valor do Silhouette Score varia de -1 a + 1. Sendo os pontos com valores próximos de 1 considerados como bem agrupados dentro de seus próprios

clusters e distantes de outros clusters. Já os valores próximos de 0, são os pontos de dados que estão fronteira de dois clusters. E por fim os valores próximos de -1 são os pontos de dados que podem ter sido atribuídos ao cluster errado.

8. Análise de Cluster (Espacial): A partir do software QGIS, foi aplicado o o *plug-in* chamado “*Attribute Based Clustering*” para cruzar os dados e encontrar o mapa geo-espacial de análise de cluster. Para saber a quantidade ideal de clusters foi utilizado o método do cotovelo (*Elbow Method*). A análise de agrupamentos espaciais auxilia na compreensão da distribuição geográfica de fenômenos e na identificação de padrões espaciais em conjuntos de dados com referência geográfica.

A seguir são descritos os indicadores estabelecidos para a inferência dessas variáveis por setor censitário. Para as análises, intrínsecas à aplicação das técnicas envolvidas em ciência e mineração de dados, foi estabelecida uma matriz, em que cada linha corresponde a uma inferência da variável (instâncias) e as colunas os valores dos indicadores estabelecidos a partir de cada variável para cada setor censitário.

3.3. DESCRIÇÃO DOS INDICADORES UTILIZADOS NO ESTUDO

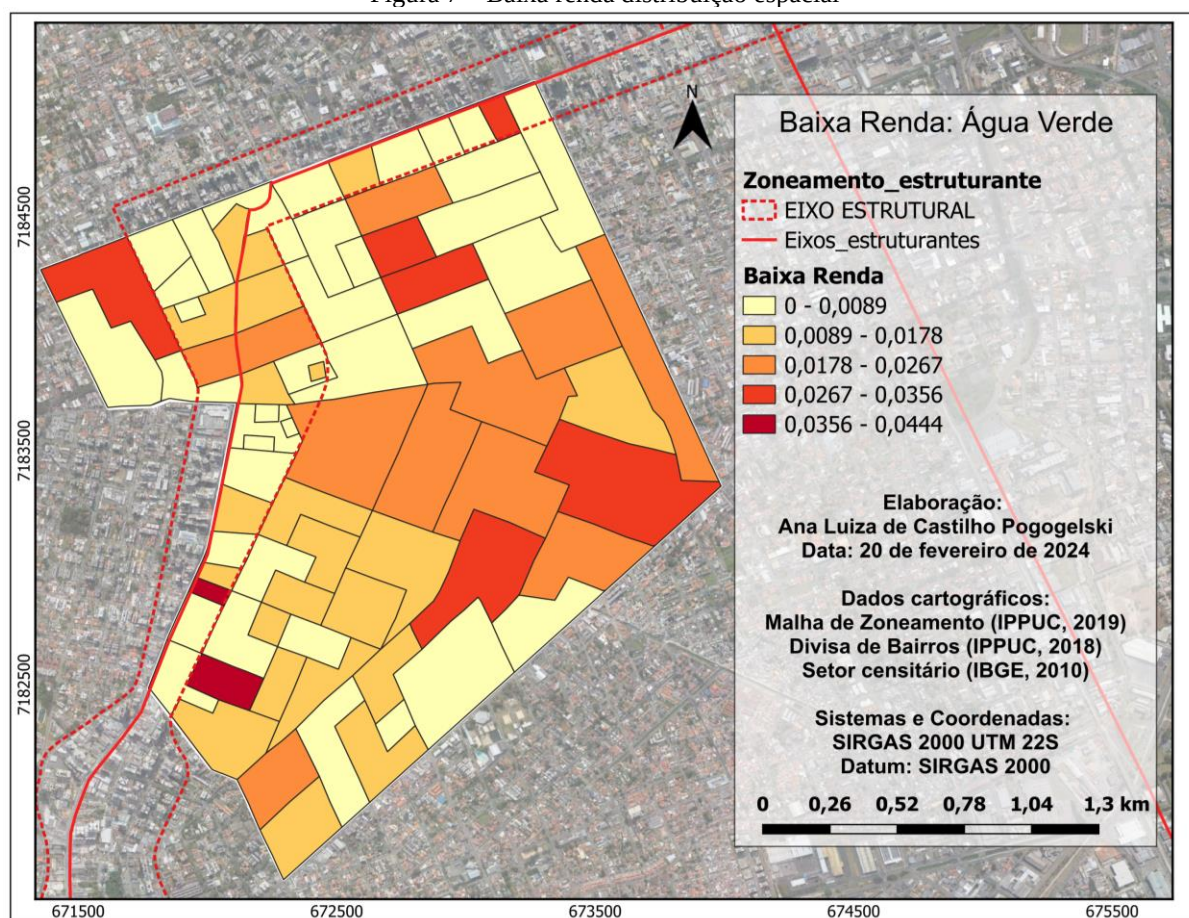
A seguir são descritos os indicadores estabelecidos por setor censitário. Esses indicadores foram separados entre socioeconômicos, Infraestrutura Cinza, Infraestrutura Verde e saúde.

3.3.1. Socioeconômicos

Obteve-se os dados socioeconômicos de duas fontes, sendo elas a renda de até $\frac{1}{2}$ salário-mínimo por domicílio nos setores censitários (BAIXA_RENDA, IBGE, 2010) e do cadastro do bolsa família (BOLSA_FAMILIA, município de Curitiba, 2023).

BAIXA_RENDA: Os dados utilizados retirados do censo do IBGE de 2010, foram os de população total por setor censitário, população de 0 a 19 anos por setor censitário, renda até $\frac{1}{2}$ salário-mínimo e condições de ocupação consideram os domicílios particulares permanentes alugados, cedidos por empregador, de outra forma e outra condição (não são próprios, alugados nem cedidos). Para fazer a normalização dos dados, foi feita a divisão desses dados pelo total de casas por setor censitário de acordo com o censo do IBGE de 2010. Na Figura 7, pode-se observar como ficou distribuído espacialmente esses dados.

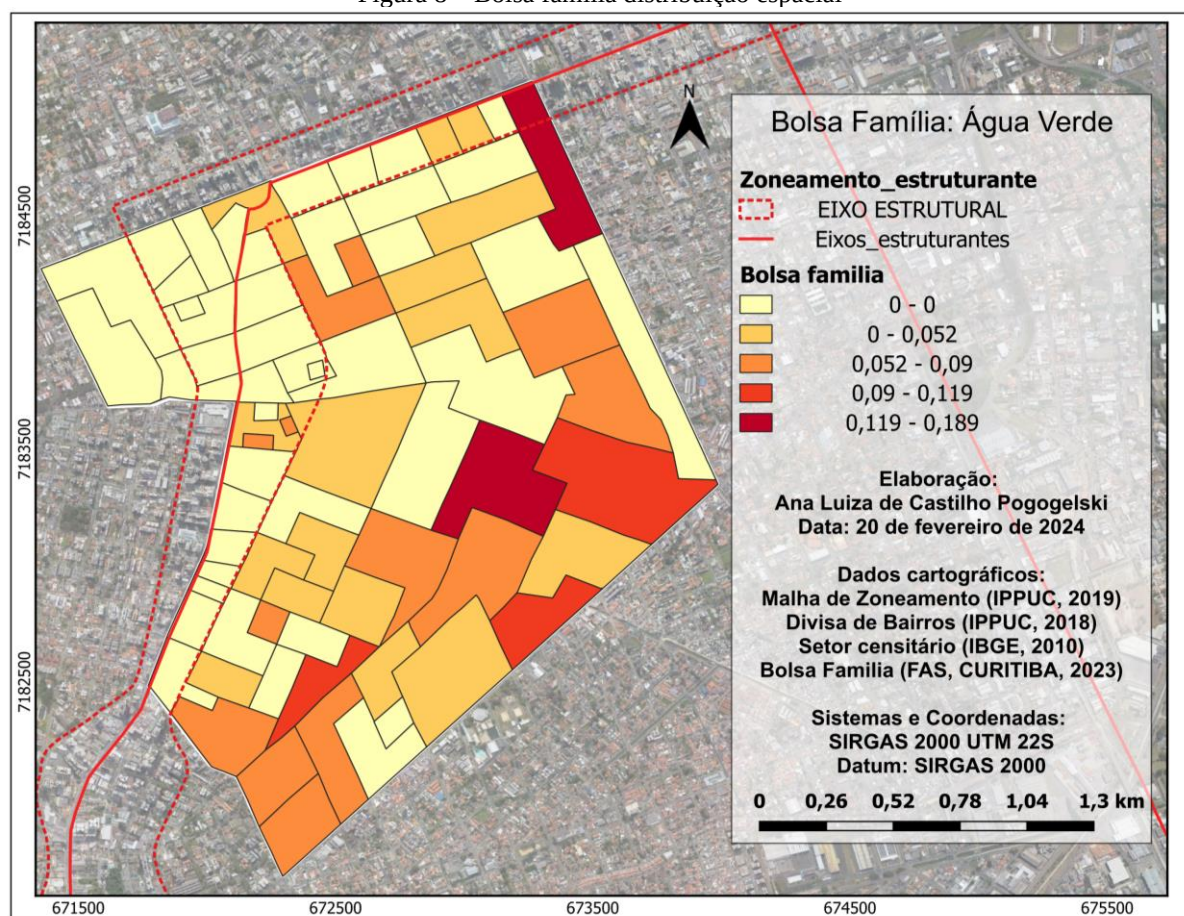
Figura 7 – Baixa renda distribuição espacial



Fonte: autora, 2024.

BOLSA_FAMILIA: foi feito um pedido formal no site da prefeitura de Curitiba encaminhado para a FAZ – Fundação da Ação Social, o que resultou na resposta dos CEPs das pessoas cadastradas em outubro de 2023 no Programa Bolsa Família no formato PDF (*Portable Document Format*). Então a partir disso foi feita transformação do arquivo para Excel, e então a geocodificação a partir do google Earth e por fim foi utilizado o QGIS para recortar os dados do bairro Água Verde e localizar os dados nos setores censitários. Com os dados separados por setor censitário foi feita a divisão pelo número de municípios de acordo com o senso do IBGE 2010, e multiplicado por 10. Na Figura 8 pode-se observar como ficou distribuindo espacialmente esses dados.

Figura 8 – Bolsa família distribuição espacial



Fonte: a autora, 2024.

3.3.2. Hemerobia

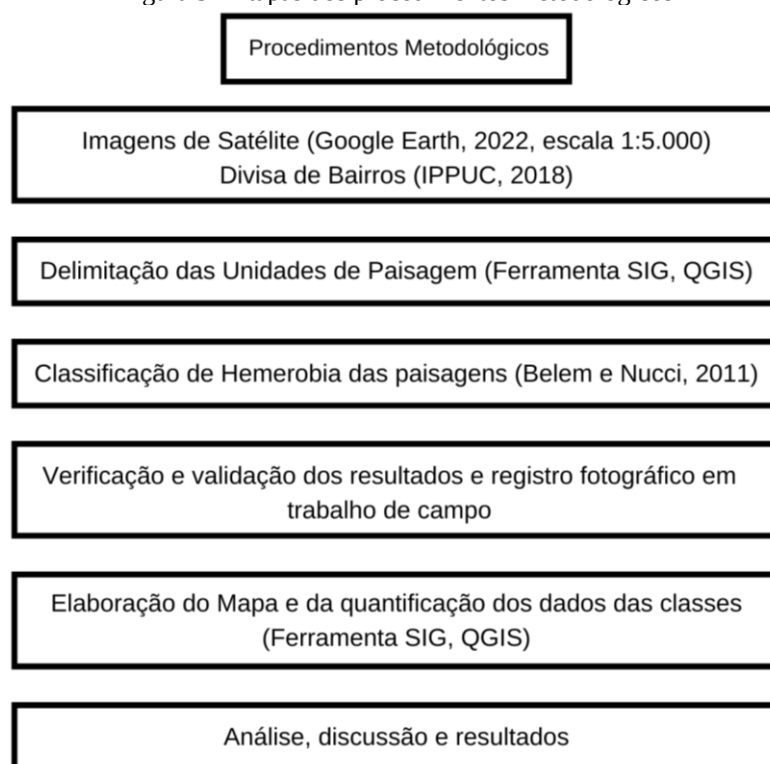
Um dos dados utilizados para inferir a IVU e a ICU foi a hemerobia, que é uma forma de classificação das alterações nas paisagens de acordo com graus de naturalidade. Pode ser definida por diferentes classes de unidades de paisagem - de “paisagem com hemerobia mínima” até paisagem com “hemerobia máxima”. Esta última implica em um quantitativo de prédios e, redução das paisagens naturais. Nesse último caso, as funções ecossistêmicas da paisagem são mínimas, que implica no aumento expressivo e necessidade de inserção cada vez maior de tecnologia, energia e expansão de redes de infraestrutura (Belem; Nucci, 2011).

Na determinação dos graus de naturalidade ambiental para posterior atribuição de graus de hemerobia, foi utilizado o método de classificação das paisagens de acordo com Belem e Nucci (2011) que a partir de Haber (1990) consideram a hemerobia associada à dependência energética e tecnológica. A classificação é intrinsecamente subjetiva e depende do diagnóstico do pesquisador para classificar a paisagem entre graus de hemerobia máximo e mínimo. Na identificação e classificação das unidades de paisagens utilizou-se funções do

Sistema de Informação Geográfica (SIG), QGIS 3.22.10 ('Bialowieza'). Os dados e planos de informações cartográficas no ambiente SIG incluem zoneamento (2019), divisa de bairros (2018), disponibilizados pelo banco de dados do bairro no Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba IPPUC (2023). Na avaliação das paisagens foram utilizadas imagens de satélite do Google Earth de 2022 por meio do software na escala 1:5.000 a partir do trabalho elaborado em Pogogelski et al. (2023) que foi feito a avaliação de polígonos do tamanho das quadras do bairro e foi reavaliado para polígonos do setor censitário da malha do IBGE 2010.

A validação dos dados foi feita a partir de uma visita de campo onde foi possível observar se as interpretações a partir das imagens de satélite estavam de acordo, e assim atualizar os dados e o mapa. É possível observar de forma mais clara os procedimentos metodológicos a partir da Figura 9.

Figura 9 - Etapas dos procedimentos metodológicos



Fonte: a autora, 2024.

A partir dos conceitos definidos foram delimitadas as paisagens a partir de polígonos desenhados sobre os limites das quadras, com as calçadas e sem o arruamento, e a partir da imagem de satélite e dos graus definidos conforme a Figura 10, avalia qual classificação cada unidade se encaixava.

Figura 10 - Classificação das paisagens

Hemerobia	Descrição
Mínima	Vegetação original remanescente
Muito baixa	Áreas modificadas pelo ser humano, predominantemente propícia a ocupação, com vegetação nativa.
Baixa	Áreas devastadas com presença de vegetação rasteira por interesse estético e lazer.
Média	Áreas culturais e de solo expostos.
Alta	Presença de edificações de pequeno porte, com presença de jardins e outras superfícies impermeáveis (como estacionamento coberto por pedras e etc)
Muito alta	Grande concentração de edificações de pequeno porte, eliminando a formação da paisagem os mosaicos superficiais gerados pelos jardins.
Máxima	Impermeabilização atinge maiores graus devido ao porte e a área ocupada pelas edificações, com inexistência de cobertura vegetal. Presença de edifícios grande porte (torres com mais de 5 andares).

Fonte: Belem e Nucci (2011), adaptado pela autora.

Ressalta-se que a avaliação dos graus de hemerobia dependem do tipo de paisagem encontradas na região delimitada, sendo uma avaliação relativa por parte dos autores. A classificação de Belem e Nucci (2011) possuem sete graus indo de mínima, muito baixa, baixa, média, alta, muito alta e máxima, porém não foi encontrada nenhuma paisagem classificada como mínima, portanto os dados apresentados são a partir do grau de muito baixa e até máxima. É possível entender a classificação de forma simplificada conforme descrito na Figura 11.

Figura 11 - Descrição da classificação hemerobia

Característica da Paisagem		Hemerobia	Exemplo (Imagem Satélite)	Fotografias
Baixa dependência tecnológica e energética para a manutenção da funcionalidade; alta capacidade de auto-regulação; alto aproveitamento das funções da natureza; superfícies permeáveis; vegetação original e flora/fauna nativa.  Alta dependência tecnológica e energética para a manutenção da funcionalidade; baixa capacidade de auto-regulação; pouca conexão com a dinâmica dos valores naturais, desenho padrão e como expressão de esmero, estética e civismo, baixa relação com as características locais, impermeabilização das superfícies; sem vegetação original e flora/fauna exótica.		Alta		
		Muito Alta		
		Máxima		

Fonte: Belem e Nucci (2011), elaborado pela autora.

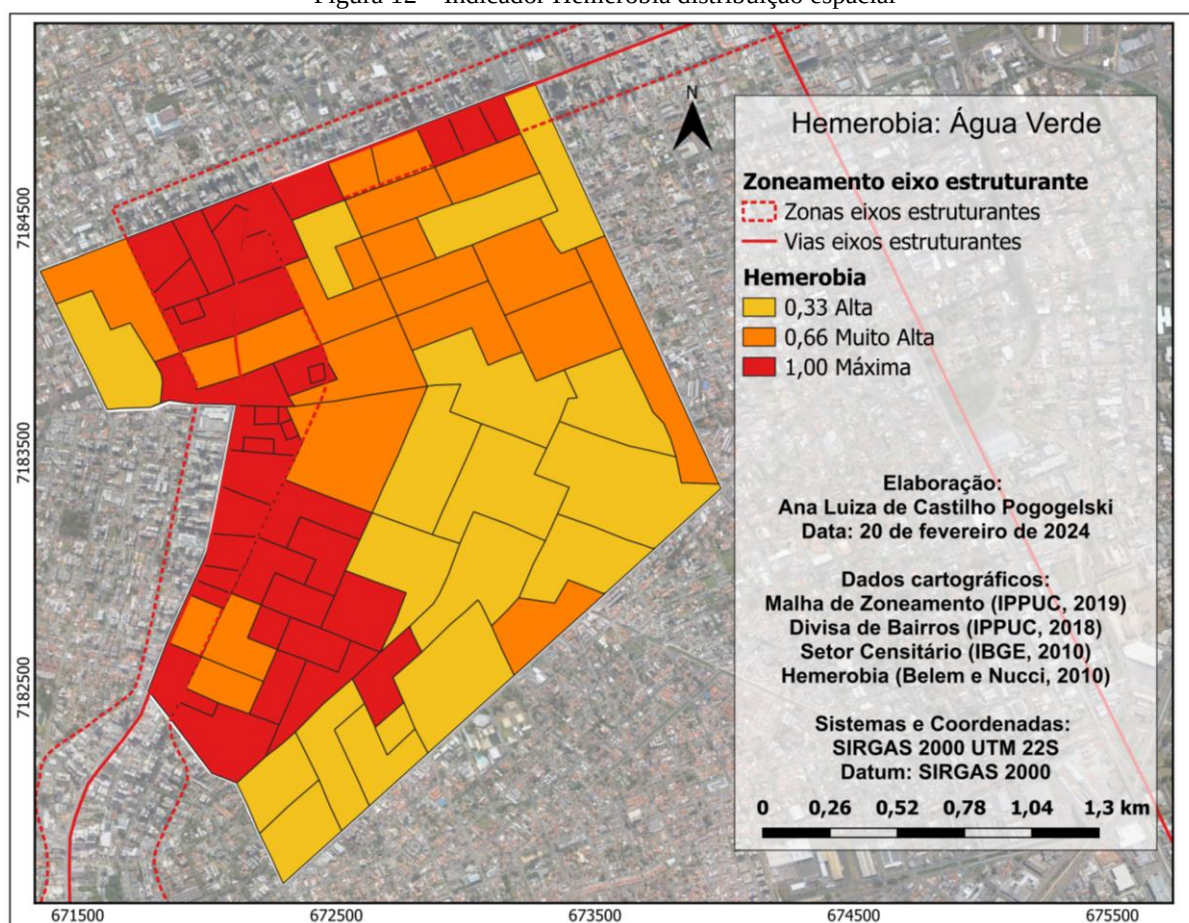
Sendo assim, a avaliação da paisagem não depende somente da quantidade de vegetação encontrada no local, depende também do tipo de vegetação encontrada, como por exemplo a Praça do Japão, que apesar de ser um espaço amplo e com presença de vegetação e árvores, a vegetação e árvores encontradas no local não são nativas daquela região e têm interesse estético e de lazer, sendo entendida como uma região de grau de hemerobia baixa. Apesar disso, hemerobia classificadas como baixa, muito baixa e mínima seriam as que teriam áreas com presença significativa de vegetação.

Pode-se observar que o bairro Água Verde é classificado com grau de hemerobia máxima, muito alta e alta. Acredita-se que por ser uma região central não há grau de hemerobia mínimo, muito baixo, baixo e médio, pois para isso teria que haver uma região

com vegetação nativa remanescente, ou com maioria de áreas com presença de vegetação e edificação de pequeno porte.

Os dados de Hemerobia foram coletados a partir da classificação no software QGis 3.22.8, sobre a delimitação da malha do IBGE (2010). Depois foi tabulado e então determinado o número 0,33 para classificação alta, 0,66 para muito alta e 1 para máxima. Tal delimitação de área foi utilizada, pois foi utilizado os dados de população do IBGE (2010), como renda, quantidade de moradores até 19 anos, quantidade de residências. Pode-se conferir a distribuição desses dados no espaço pela Figura 12.

Figura 12 – Indicador Hemerobia distribuição espacial



Fonte: a autora, 2024.

3.3.3. Arborização Urbana

Os dados da arborização urbana foram estimados a partir das árvores viárias (ARVORES_VIARIAS, IPPUC, 2019). Os dados vieram em formato de shape file, e a partir disso, foi feito o recorte das árvores que estavam no bairro pelo software Qgis Desktop 3.22.3. Dessa forma, pode-se selecionar somente as árvores do local de estudo. Na sequência foi sobreposto o recorte de setor censitário, e contabilizados o número de árvores por setor. Os

valores foram salvos e as informações foram passadas para a tabela de atributos em formato Excel. Dessa forma foi possível fazer a contagem das arvores por setor censitário. Depois da contagem foi feita a divisão pela população total dos setores, obtendo o indicador denominado ARVORES_VIARIAS.

3.3.4. NDVI

Para obter o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) de uma região por meio de imagens de satélites Cbers 4^a, resolução das imagens dois metros, imagens de 28 de setembro de 2022. A partir do processamento das imagens e cálculo do índice com base nas bandas espectrais de infravermelho próximo e vermelho.

O NDVI é calculado com a fórmula:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Onde:

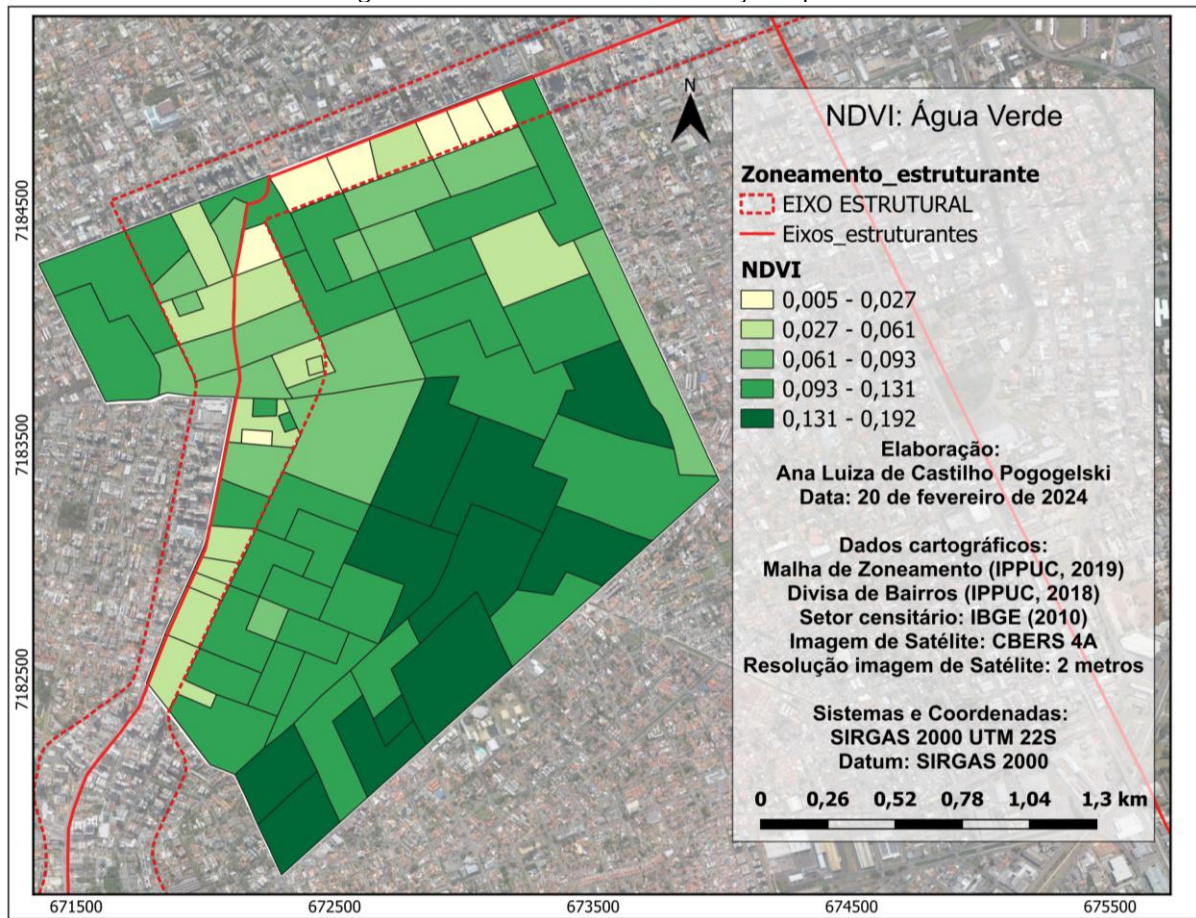
NIR (Near Infrared) é o valor de reflectância na banda do infravermelho próximo.

RED é o valor de reflectância na banda do vermelho.

As imagens de satélite normalmente capturam essas bandas espectrais, e o cálculo do NDVI é feito pixel a pixel para cada imagem. Uma vez calculado o NDVI, os valores resultantes podem variar de -1 a 1, onde valores mais altos indicam maior densidade de vegetação. Os dados do NDVI podem ser utilizados para uma variedade de aplicações, como monitoramento de saúde vegetal, detecção de mudanças na cobertura do solo, estudos de uso da terra, entre outros.

Para obter o NDVI por setor censitário, foi feita a média da classificação dos pixels dentro de cada polígono do setor. Conforme a Figura 13.

Figura 13 – Indicador NDVI distribuição espacial



Fonte: a autora, 2024

3.3.5. Tecnomassa

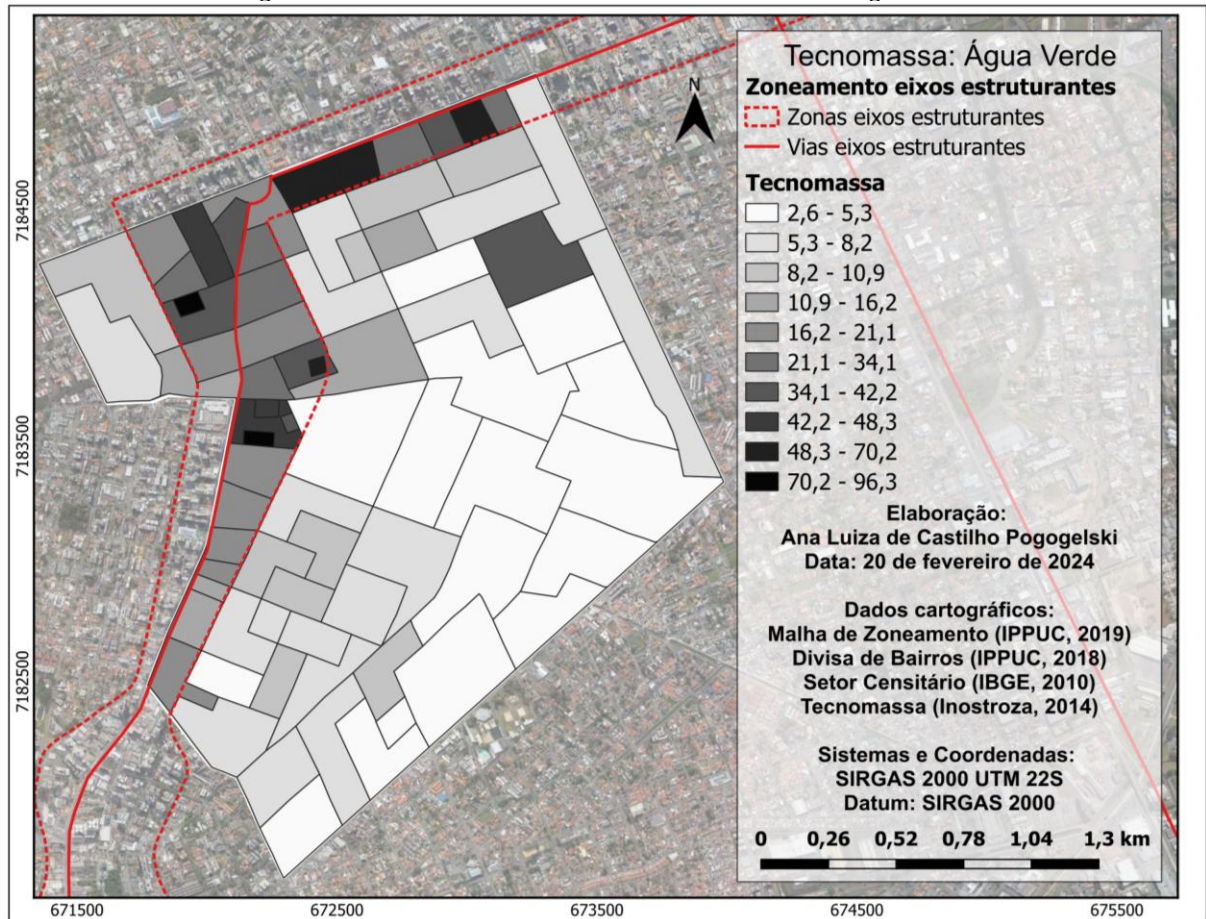
Com relação à ICU foi utilizado o indicador Tecnomasaa que é a soma geral do volume construtivo acumulado em diferentes compartimentos espaciais. Podendo ser definida como o “acúmulo de material que é fisicamente observado e medido em compartimentos espaciais específicos em uma determinada área urbana, e que leva em consideração materiais de origem antropogênica” (Inostroza, 2014, p. 4, tradução da autora). A expressão geral usada no cálculo é a seguinte:

$$\Psi = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (b * h)_i + 1/2 \sum_{j=1}^n (r_j) \right]}{A}$$

Onde Ψ é a Technomass (m^3/m^2), b é a superfície do edifício, h é a altura do edifício, r são estradas e outras superfícies impermeáveis e, A é a área total da amostra; As alturas e os formatos dos polígonos das edificações e das ruas foram extraídos através das ferramentas do

software Qgis. Dessa forma obteve-se as áreas da projeção da edificação e das ruas, além das alturas. Conforme a Figura 14.

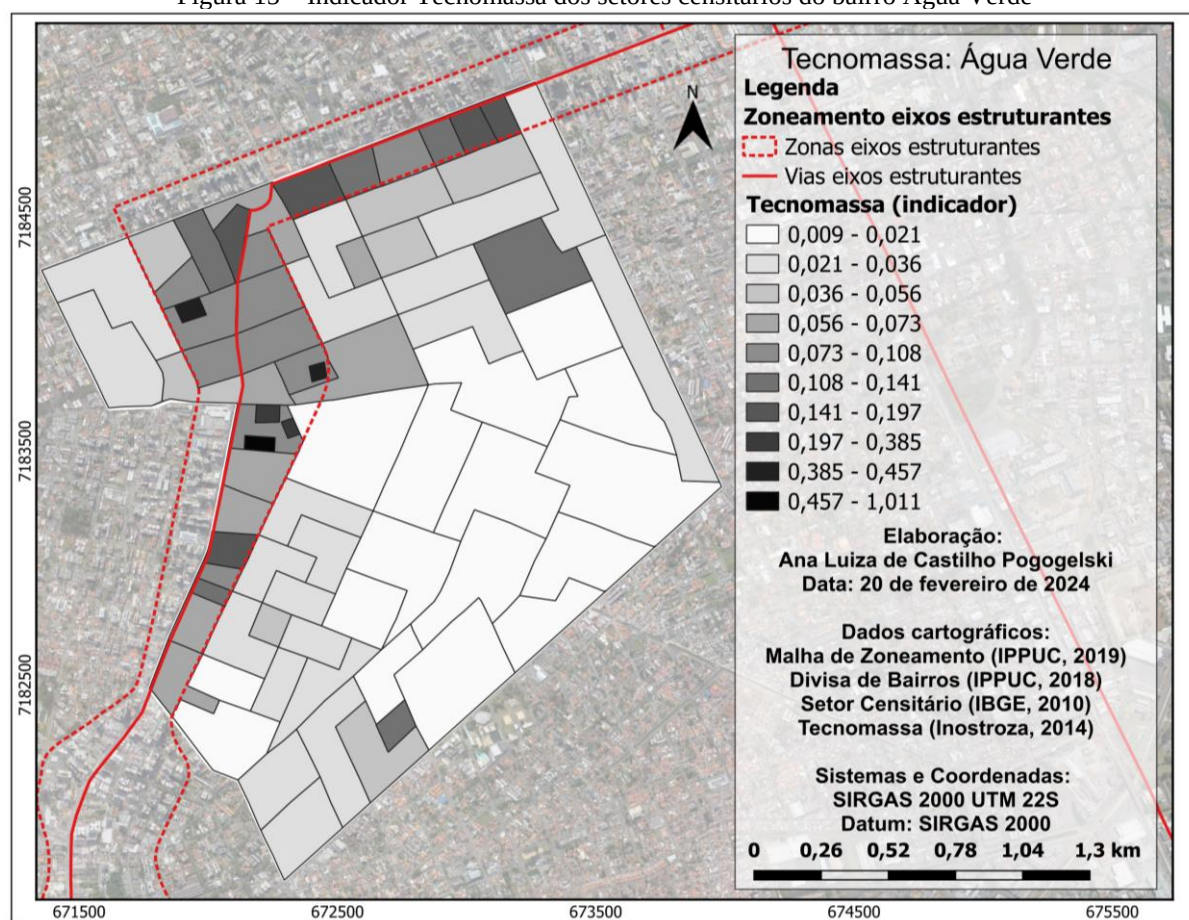
Figura 14 - Tecnomassa dos setores censitários do bairro Água Verde



Fonte: a autora, 2024

Como os dados dessa variável se encaixam entre 2,6 e 96,3, então foi feita a normalização dos dados para que se mantivessem aproximadamente entre 0 e 1. Dessa forma, dividiu-se os dados de Tecnomassa pela população total do setor censitário, sendo o valor multiplicado por 10. Abaixo está a representação espacial desse indicador. Conforme a Figura 15.

Figura 15 – Indicador Tecnomassa dos setores censitários do bairro Água Verde



Fonte: a autora, 2024

3.3.6. Saúde: Internações por asma no Hospital Pequeno Príncipe (HPP)

Os dados são de crianças acometidas por asma e que foram internadas no HPP. O HPP é o maior e mais completo hospital pediátrico do Brasil, sendo uma instituição privada, sem fins lucrativos, que presta serviços de alta e média complexidade para convênios particulares e Sistema Único de Saúde (SUS).

Os dados de saúde respiratória foram fornecidos pelo Hospital Pequeno Príncipe (HPP), que trata apenas pacientes pediátricos, com idade até 17 anos 11 meses e 29 dias, e estão relacionados ao período de maio 2018 até setembro de 2019. Foram originados da filtragem das fichas hospitalares correspondentes à asma, feita pelo dirigente do setor de pneumologia do hospital. Posteriormente, foram extraídos da base de dados do hospital, e preserva a identidade dos pacientes através do estabelecimento de codificação aleatória. A localização dos pacientes foi estabelecida pelos códigos de endereçamento postal (CEP) dos endereços dos pacientes. Para uso dos dados e desenvolvimento da pesquisa, foi elaborado um projeto, registrado na Plataforma Brasil, para submissão e análise dos Comitês de Ética do

HPP e da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). O uso dos dados (Quadro 5) foi aprovado em ambos os Comitês de Ética em Pesquisa.

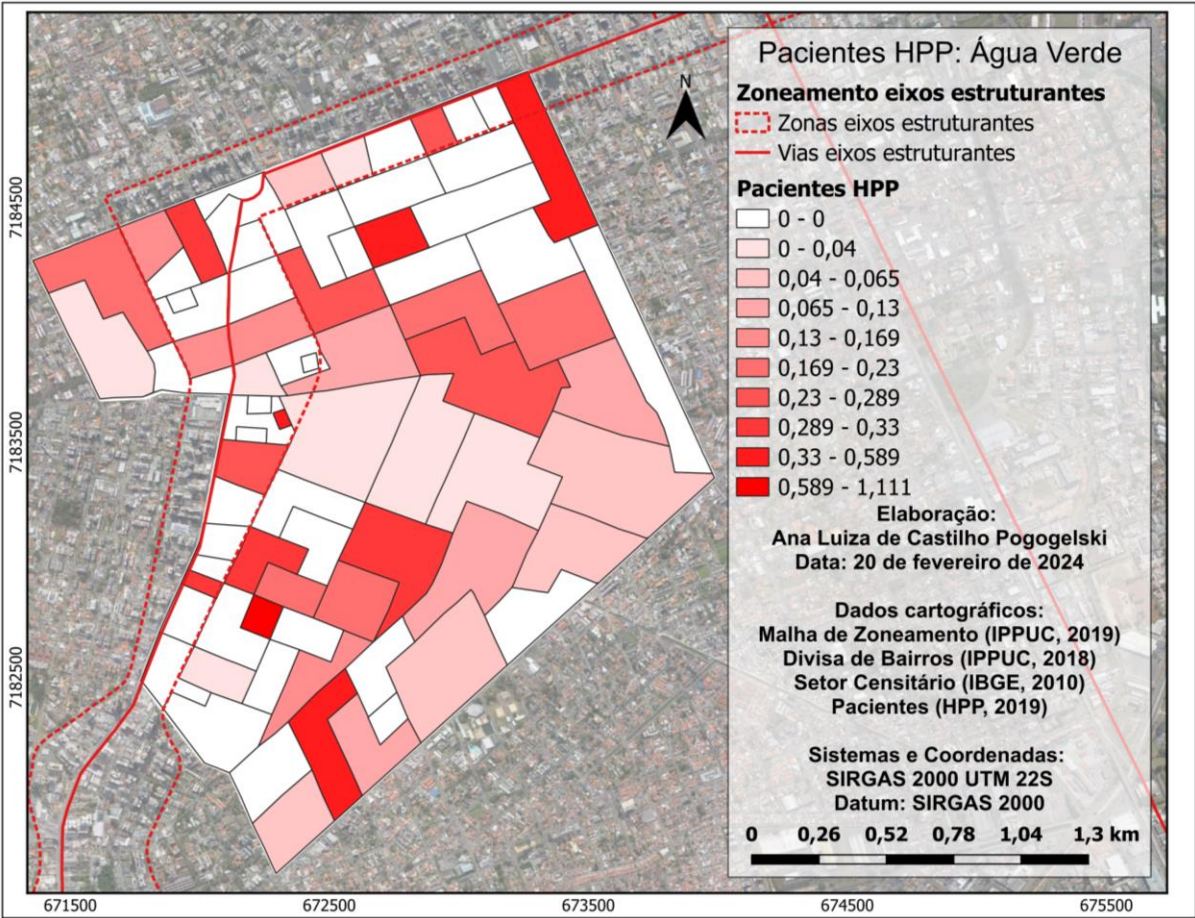
Quadro 5 - Dados aprovados nos Comitês de Ética em Pesquisa

Anos
Meses
Dias
SEXO
CEP
Rua
Bairro
Cidade
UF
CID
HORA ENTRADA
DATA ENTRADA
HORA SAÍDA
DATA SAÍDA
HDA
EXAME FÍSICO
TRATAMENTO
DIAGNOSTICO

Fonte: Hospital Pequeno Príncipe, 2019.

O indicador TAXA_PAC foi calculado pela ponderação da morbidade total hospitalar pelo número de habitantes, por setor censitário, multiplicado por 100 (Figura 16).

Figura 16 – Indicador Pacientes Pediátricos HPP



Fonte: A autora, 2024, a partir da Base de Dados e fichas hospitalares do Hospital Pequeno Príncipe, 2019

CAPÍTULO 4

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

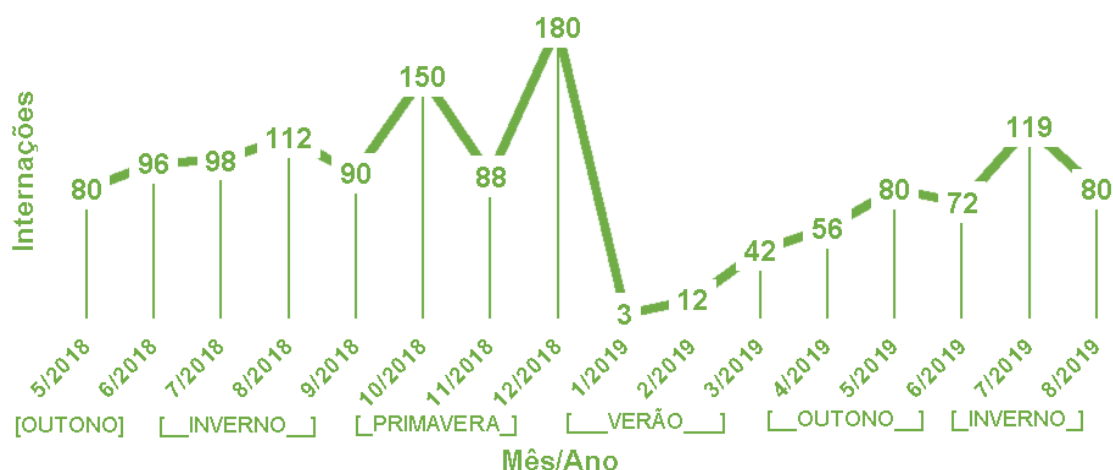
Os resultados da pesquisa são discutidos em sete partes: **estatística descritiva dos indicadores; análise espacial dos indicadores** no bairro Água Verde; **análise de dispersão dos indicadores**, para análise da relação entre a variável dependente, no caso a morbididade por asma na população pediátrica e as variáveis independentes; **análise de histograma dos indicadores**;; **análise da matriz de autocorrelação dos indicadores**, para observação do sinal e dos coeficientes de correlação de Pearson entre os indicadores; **análise de cluster pelo método do dendrograma, análise de cluster espacial dos indicadores e análise de cluster pelo método de clusterização K-means.**

4.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS INDICADORES

No Quadro 4 são apresentados os indicadores selecionados para as análises. Para definição dos indicadores foram feitas várias tentativas de ponderar as variáveis por diferentes grupos populacionais, por domicílios ou por unidades de área. Foi selecionado o conjunto de indicadores que apresentou as melhores coerências em termos de ordem de grandeza, de associação com outros indicadores, além da facilidade de obtenção.

Durante o período compreendido entre maio de 2018 e agosto de 2019, foram registradas variações sazonais significativas no número de casos de internações por asma no HPP em Curitiba. Entre maio e agosto (2018), período de outono-inverno, o número de internações variou entre 80 e 112. Já na primavera, setembro-novembro (2018), as internações ficaram acima de 88 chega a atingir picos de 150 e 180. Foi o período com o maior número de internações hospitalares. Isso sugere que, a inserção de indicadores sobre o clima nas análises, têm potencial para contribuir na explicação do fenômeno da saúde respiratória. Após o início do verão o número de internações cai para 3 e sobe gradualmente até o final do verão - em março (2019), com 42 casos. Observa-se que os casos do mês de maio até agosto de (2019), estações de outono e inverno, são semelhantes aos casos de outono e inverno de (2018) fica acima entre 72 e 119 internações. Conforme ilustra a Figura 17.

Figura 17 - Gráfico de internações por crise de asma em toda Curitiba



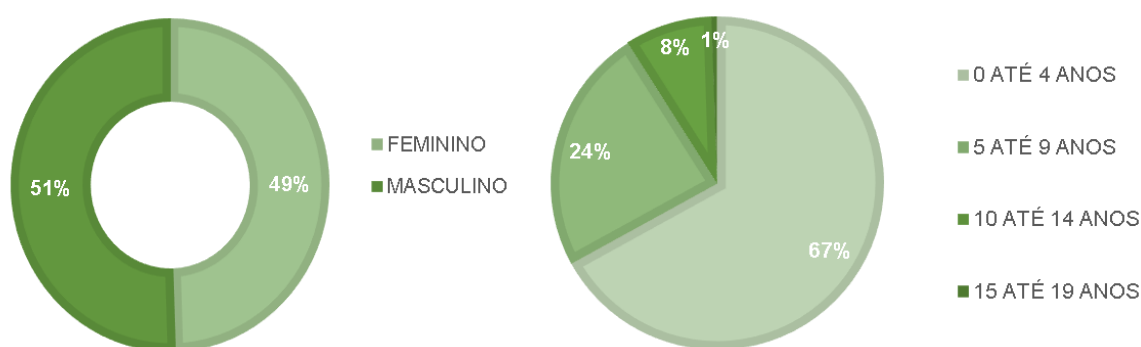
Fonte: A autora, 2024

Isso sugere que a influência de indicadores com gênese em elementos climáticos obedecem a um certo padrão que se repete. Assim, esse conjunto de dados, sugere ou confirma que as anomalias e mudanças climáticas têm potencial de afetar a saúde respiratória, ou mudar os padrões de ocorrência dos picos de internações hospitalares por asma. Ademais, sabe-se que fatores climáticos têm potencial de afetar parâmetros de qualidade do ar, que por sua vez, impactam a saúde respiratória.

Chama a atenção, no caso dos parâmetros de qualidade do ar, o pólen, que certamente aumenta em concentração no ar durante a primavera. No âmbito da Rede de Pesquisa NAPI Emergências Climáticas, há um esforço para ampliar as séries temporais e o número de pontos de coleta de parâmetros de qualidade do ar, sobretudo do pólen. Programas para constituição e ampliação da infraestrutura verde e de soluções baseadas na natureza devem levar em consideração a emissão de pólen de diferentes espécies arbóreas utilizadas nos espaços urbanos.

No bairro Água Verde, a distribuição de crianças do sexo masculino e feminino é equilibrada, sendo 51% do sexo masculino e 49% do sexo feminino, Figura 18 (lado esquerdo). Pode-se observar na Figura 18, que 67% dos pacientes que residem no bairro têm entre 0 e 4 anos, já 24% dos pacientes tem de 5 até 9 anos e o restante está entre 10 e 19 anos. Essa tendência certamente tem impacto nessa pesquisa, e sugere que os resultados encontrados estão melhor conectados à faixa de idade entre 0 e 4 anos, ou de 0 a 9 anos, que representa 91% da população estudada. Além disso, identifica essa faixa etária como mais suscetível, ou exposta à maior risco à asma.

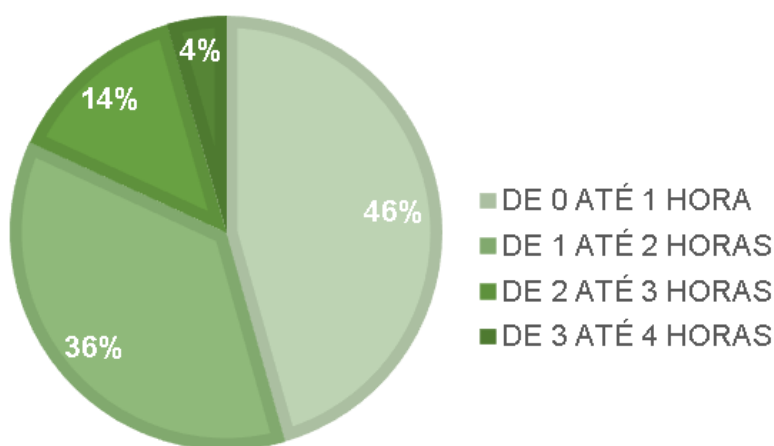
Figura 18 - Gráfico de caracterização dos pacientes no Água Verde



Fonte: a autora, 2024

Na Figura 19 pode-se observar o tempo de internação dos pacientes pediátricos, sendo que 46% ficam entre 0 até 1 hora internados, 36% ficam entre 1 até 2 horas e 14% ficam entre 2 até 3 horas e por fim uma pequena minoria de 4% fica entre 3 até 4 horas internado. De forma geral, 82% da população pediátrica do HPP fica internada no hospital até 2 h. Esses dados evidenciam o impacto da asma na frequência escolar, e na ausência no trabalho por parte dos responsáveis.

Figura 19: Gráfico de horas de internação dos pacientes



Fonte: a autora, 2024

Na Tabela 2 são consolidados valores de estatísticas básicas dos indicadores utilizados no estudo. Observa-se uma amplitude significativa nos valores da densidade demográfica do indicador de morbidade por asma na população pediátrica do HPP. Com relação à densidade demográfica, ressalta-se que o bairro concentra em seu território eixos estruturantes, ao longo dos quais é permitido um maior adensamento de acordo com o zoneamento urbano. Quanto à morbidade, foi observado que em alguns setores censitários não é verificada a presença de pacientes. Esses elementos impactam diretamente na média, moda e mediana dos indicadores.

Tabela 2 - Tabela de estatística básica

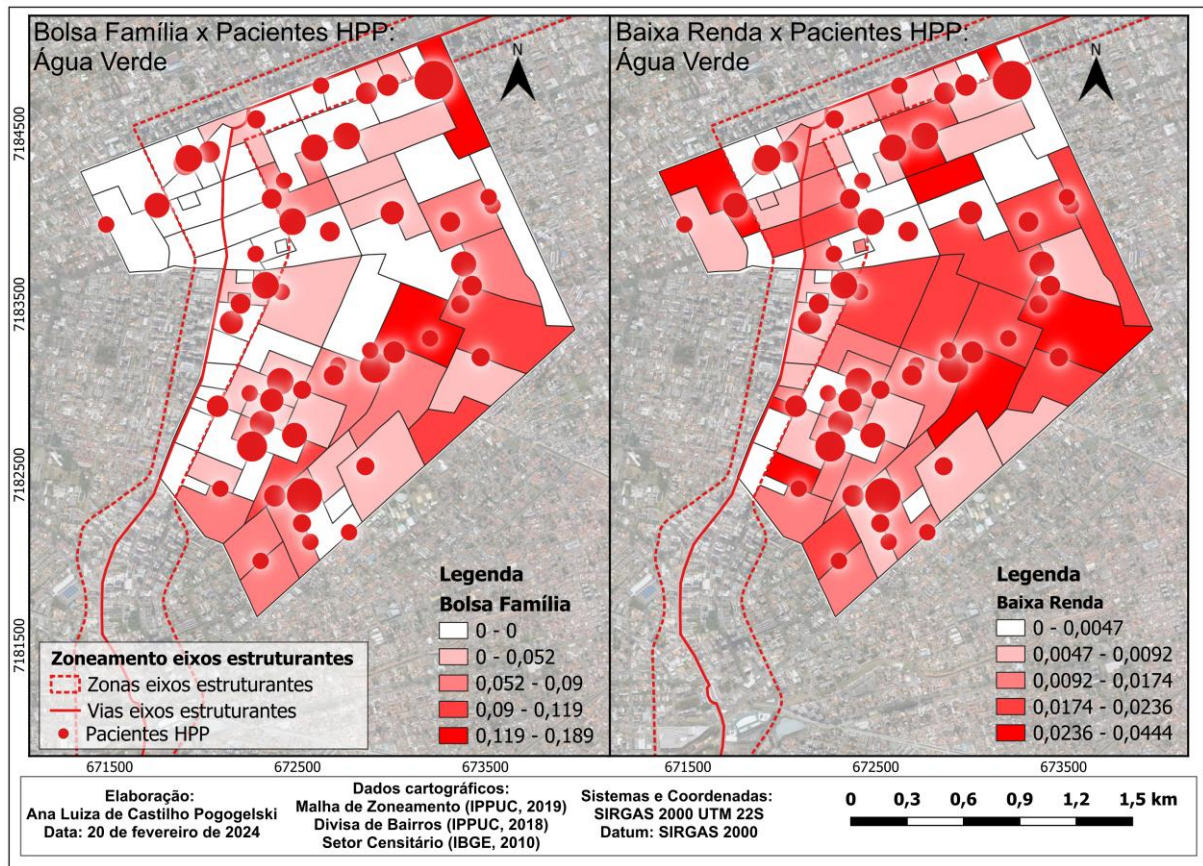
Indicador	Média	Desvio padrão	Min	0,25	Mediana	0,75	max	Moda
DENS_DEMO_m	0,074	0,069	0,013	0,027	0,058	0,090	0,377	0,013
BAIXA_RENDA	0,012	0,010	0,000	0,005	0,009	0,016	0,044	0,000
BOLSA_FAMILIA_DOM	0,029	0,042	0,000	0,000	0,000	0,047	0,189	0,000
HEMEROBIA	0,754	0,274	0,333	0,667	0,833	1,000	1,000	1,000
TECNOMASSA	0,090	0,140	0,009	0,024	0,046	0,096	1,011	0,009
TAXA_IMPERM_POP	0,268	0,269	0,054	0,159	0,187	0,245	1,683	0,054
ARVORES_VIARIAS	0,041	0,037	0,000	0,014	0,028	0,061	0,167	0,000
NDVI	0,091	0,041	0,005	0,060	0,099	0,117	0,192	0,005
TAXA_PAC	0,116	0,211	0,000	0,000	0,013	0,158	1,126	0,000

Fonte: a autora, 2024

4.2 ANÁLISE ESPACIAL DOS INDICADORES

A partir dos indicadores utilizados nas análises, que estão organizados por setor censitário de acordo com o censo de 2010 do IBGE, foram organizados mapas para análise espacial dos mesmos. Na Figura 20 é apresentada a análise espacial para os indicadores BOLSA_FAMILIA_DOM e BAIXA_RENDA do IBGE. Observa-se que não há uma concordância absoluta entre os dois indicadores, embora que se observe uma certa coerência. Ou seja, algumas vezes o recipiente do bolsa família não está localizado em um setor censitário que corresponda às mais baixas rendas. Deve-se considerar também que o referencial temporal desses indicadores não é o mesmo, e que pode haver algum desvio com relação ao processo intrínseco para locação dos CEPs dos recipientes do bolsa família.

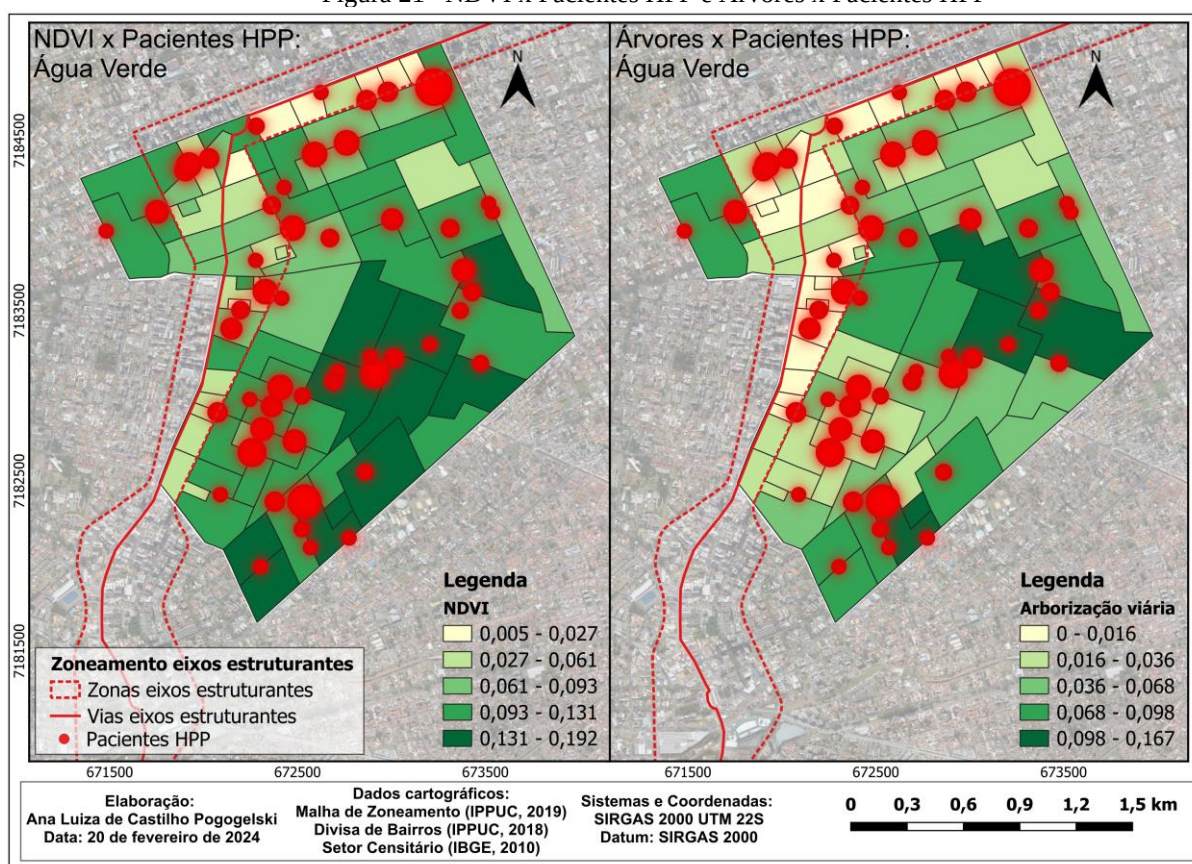
Figura 20 –Bolsa Família x Pacientes HPP e Baixa Renda x Pacientes HPP



Fonte: a autora, 2024.

No caso dos indicadores NDVI e ÁRVORES_VIÁRIAS, conforme esperado, foi observada uma boa concordância entre os mesmos. Observa-se que a maior parte dos setores censitários que são classificados nas faixas mais baixas de NDVI e da presença de arborização estão ao longo dos eixos estruturantes. Com relação a localização de pacientes, observa-se uma maior concentração fora da região dos eixos estruturantes.

Figura 21 –NDVI x Pacientes HPP e Árvores x Pacientes HPP

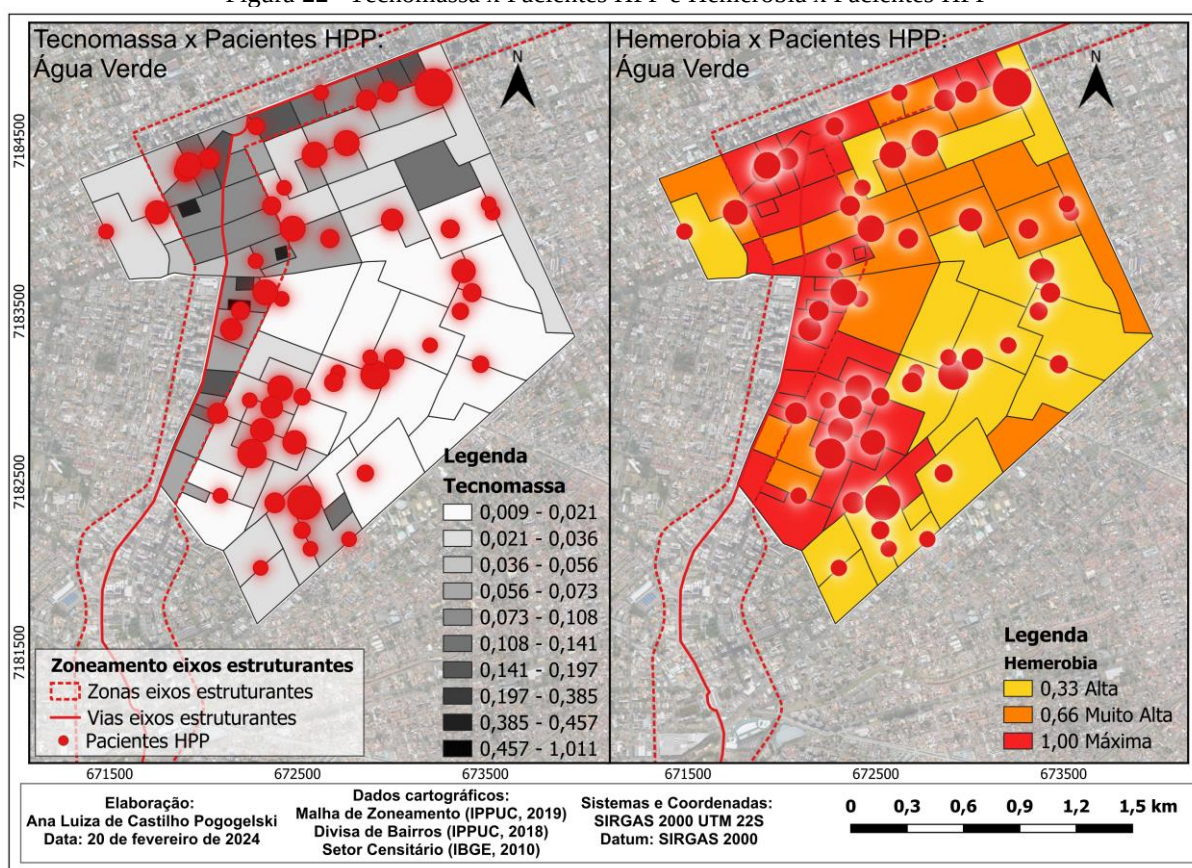


Fonte: a autora, 2024.

Foi também analisada a ICU, associada aos indicadores TECNOMASSA e HEMEROBIA, assim como a localização dos pacientes do HPP, conforme a Figura 22. No caso da TECNOMASSA, foram associadas 10 classes diferentes cobrindo a faixa de variação do indicador. As seis classes mais altas se concentraram nas zonas dos eixos estruturantes, sendo a região com mais volume construtivo por população do setor censitário. Na análise da TECNOMASSA versus TAXA_PAC, pode-se observar que a maior quantidade de pacientes se encontra nos setores classificados nas faixas mais baixas da TECNOMASSA.

No caso da HEMEROBIA, foram estabelecidas três classes: alta, muito alta e máxima, a maioria dos setores classificados como máxima estão localizados nas zonas dos eixos estruturantes e na região norte do bairro. O restante está dividido de forma equilibrada entre alta e muito alta, sendo a localização dos setores classificados como alta estão concentrados na região leste do bairro, e a classe muito alta na região norte. Na análise HEMEROBIA versus TAXA_PAC, a maior quantidade de pacientes estão localizados nos setores classificados como hemerobia máxima (Figura 22).

Figura 22 – Tecnomassa x Pacientes HPP e Hemerobia x Pacientes HPP



Fonte: A autora, 2024

4.3 ANÁLISE DE DISPERSÃO DOS INDICADORES

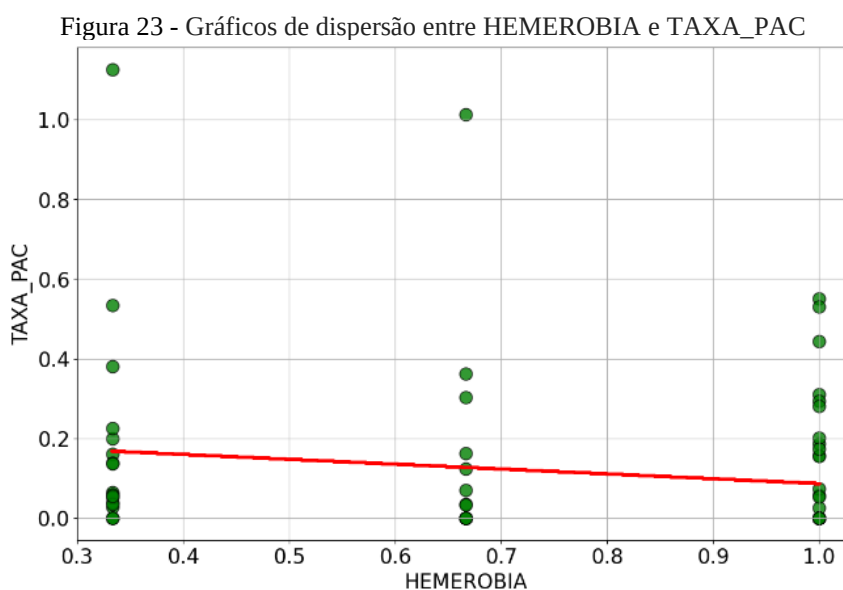
Na análise de dispersão dos valores dos indicadores, no eixo das ordenadas foi representada a variável dependente e eixo das abscissas as variáveis independentes. As Figuras 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 e 30 apresentam alguns exemplos das análises de dispersão desenvolvidas. TAXA_PAC (taxas de internações hospitalares do Hospital Pequeno Príncipe por 100 habitantes), dados populacionais do censo de 2010, relacionadas às variáveis independentes de HEMEROBIA, ARBORIZAÇÃO_VIÁRIA (árvores viárias por habitantes), BOLSA_FAMILIA_DOM (bolsa família por domicílio), BAIXA_RENDA (taxa de moradias até meio salário-mínimo por total domicílios por setor censitário), TECNOMASSA⁵ e NDVI (média dos valores correspondentes ao NDVI no setor censitário).

Todos as ilustrações mostram uma relação não linear, a maioria com pontos dispersos com concentração maior na parte inferior do gráfico, todos apresentam um ponto no qual o TAXA_PAC ultrapassa 1.0. Apesar desse ponto parecer divergente aos demais, observou-se que corresponde a um setor com maior número de pacientes, e foi mantido na amostra. Os

⁵ lembrar aqui o que é tecnomassa

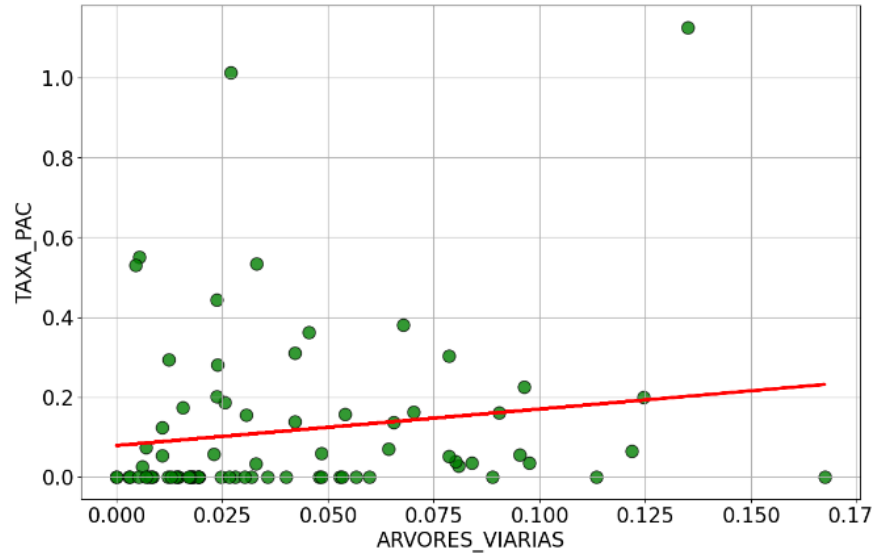
indicadores que não são categóricos, Figuras 24, 26, 27 e 28, apresentam maior dispersão. No caso da HEMEROBIA versus TAXA_PAC (Figura 23) pode-se observar um acúmulo entre três valores de HEMEROBIA, já que o indicador de hemerobia é estabelecido com base em categorias. No caso de TECNOMASSA versus TAXA_PAC (Figura 25) diferiu das demais com uma concentração de pontos na faixa inferior e à esquerda. Quando comparada com as relações entre TAXA_PAC e, BOLSA_FAMÍLIA_DOM e BAIXA_RENDA, observa-se uma relação positiva mais clara. Esse padrão pode-se se justificar pela maior concentração de renda ao longo das vias principais nos edifícios multi-familiares, que apresentam maior TECNOMASSA.

Na Figura 24 é possível observar o gráfico de dispersão para ARVORES_VIARIAS versus TAXA_PAC. Observa-se a concentração de pontos na faixa inferior a esquerda. Há três pontos que estão afastados dos demais. Esses pontos são setores censitários que ou têm mais pacientes quando comparado com o restante dos setores, ou tem mais árvores viárias, e podem ser considerados *outliers*.



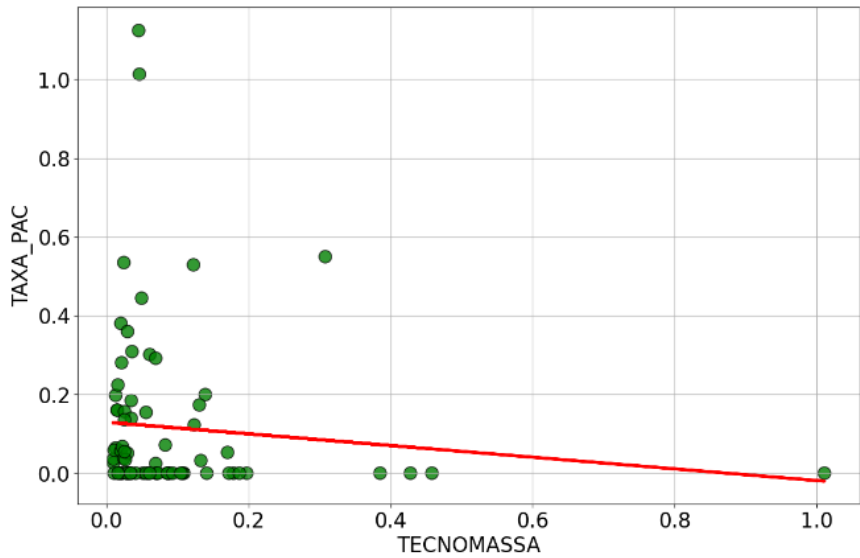
Fonte: A autora, 2024

Figura 24 - Gráficos de dispersão entre ARVORES_VIARIAS e TAXA_PAC



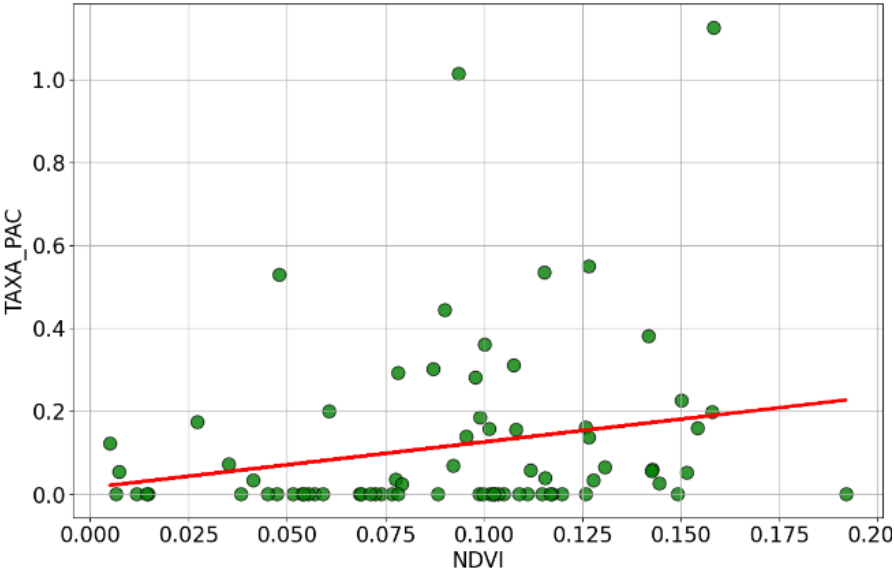
Fonte: A autora, 2024

Figura 25 - Gráficos de dispersão entre TECNOMASSA e TAXA_PAC



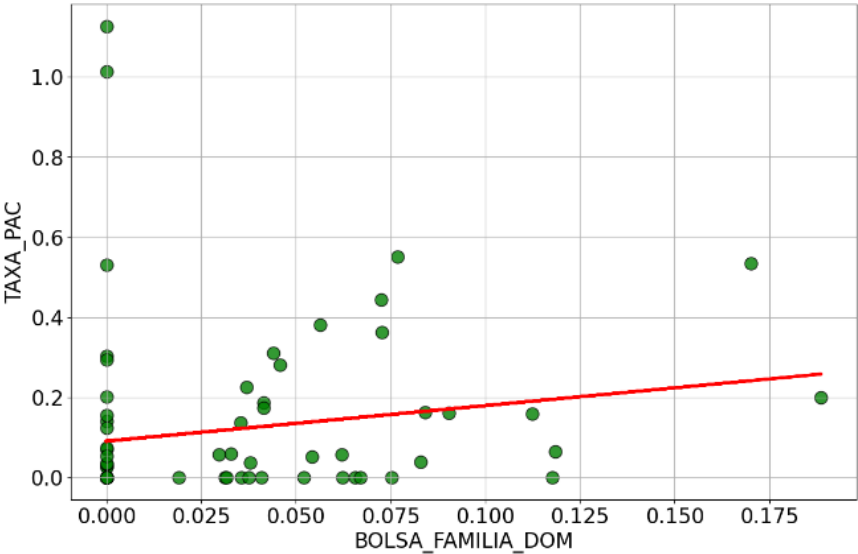
Fonte: A autora, 2024

Figura 26 - Gráficos de dispersão entre NDVI e TAXA_PAC



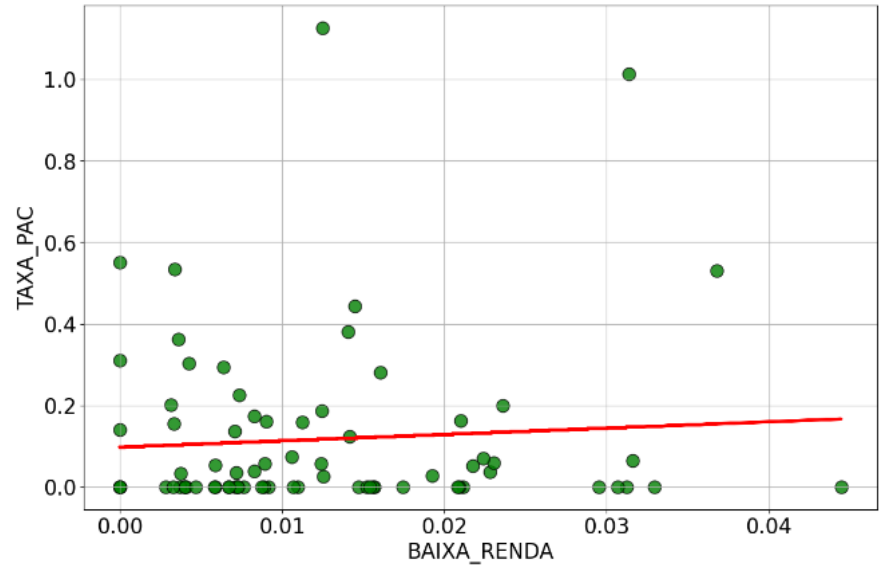
Fonte: A autora, 2024

Figura 27 - Gráficos de dispersão entre BOLSA_FAMILIA_DOM e TAXA_PAC



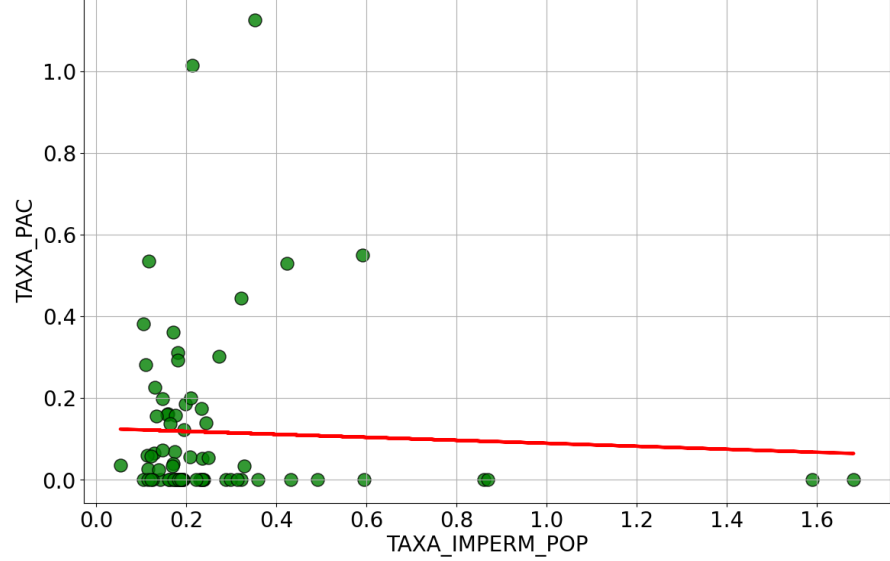
Fonte: A autora, 2024

Figura 28 - Gráficos de dispersão entre BAIXA_RENDA e TAXA_PAC



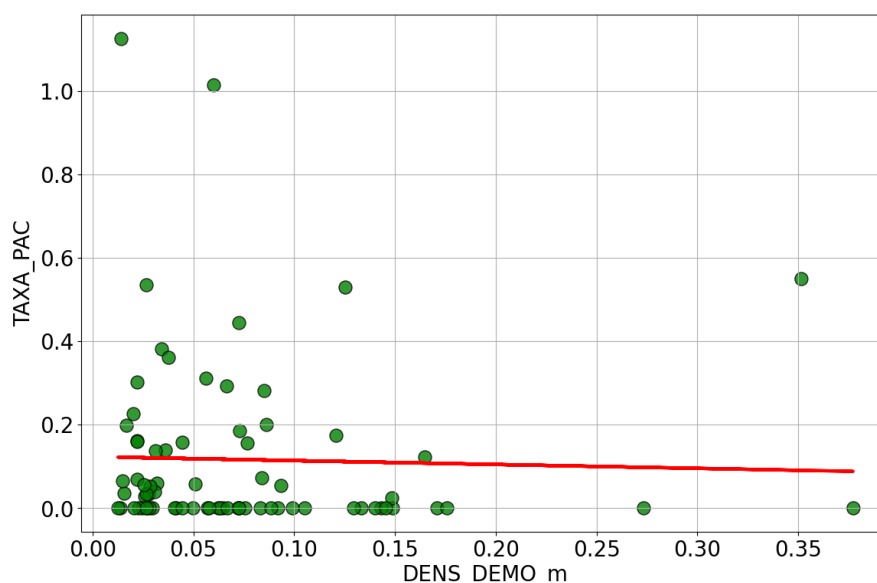
Fonte: A autora, 2024

Figura 29 - Gráficos de dispersão entre TAXA_IMPERM e TAXA_PAC



Fonte: A autora, 2024

Figura 30 - Gráficos de dispersão entre DENS_DEMO_m e TAXA_PAC



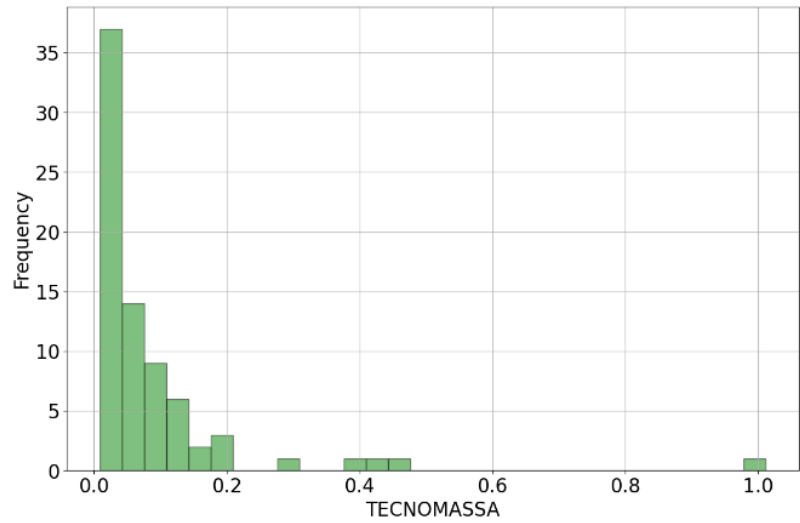
Fonte: A autora, 2024

4.4 ANÁLISE DOS HISTOGRAMAS DOS INDICADORES

Os histogramas das variáveis independentes e dependentes são apresentados nas Figuras 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38 e 39. Os eixos das abcissas representam as variáveis, e o eixo das ordenadas a frequência, que é a quantidade de vezes que o valor se repete. Todos os histogramas não apresentam a forma gaussiana. Exceto, o NDVI, conforme esperado, já que o método de cálculo implica na sua normalização. Os histogramas TAXA_PAC, BOLSA_FAMILIA_DOM, TECNOMASSA, ARVORES_VIARIAS, TAXA_IMPERM_POP e BAIXA_RENDA (31, 33, 34, 36, 37 e 38) estão assimétricos a esquerda. Em relação ao NDVI, conforme esperado, a distribuição é mais semelhante ao formato gaussiano-normal.

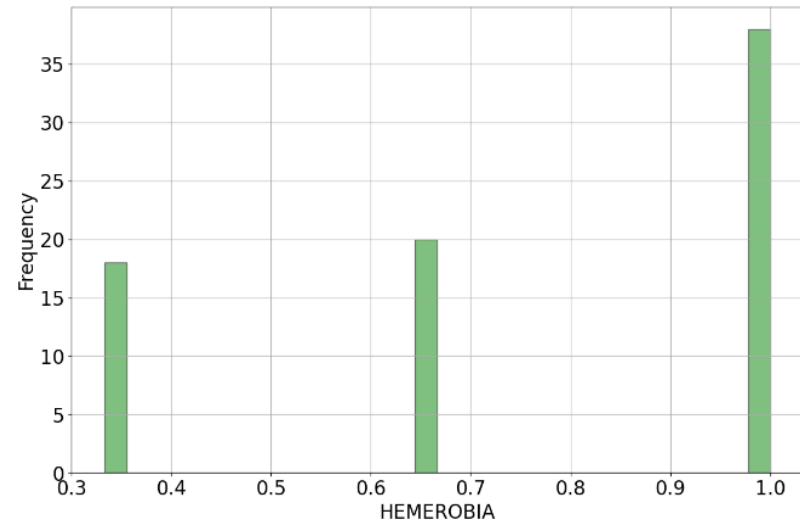
Na Figura 30, HEMEROBIA versus TAXA_PAC pode-se observar um acúmulo entre três valores de HEMEROBIA, isso se deu por conta da metodologia de classificação da hemerobia, não é realizada em escala de valores, é caracterizada de acordo com a paisagem presente no setor censitário, dessa forma havia 3 classificações no bairro água verde: alta (0,33), muito alta (0,66) e máxima (1).

Figura 31 - Gráfico de histograma do indicador TECNOMASSA



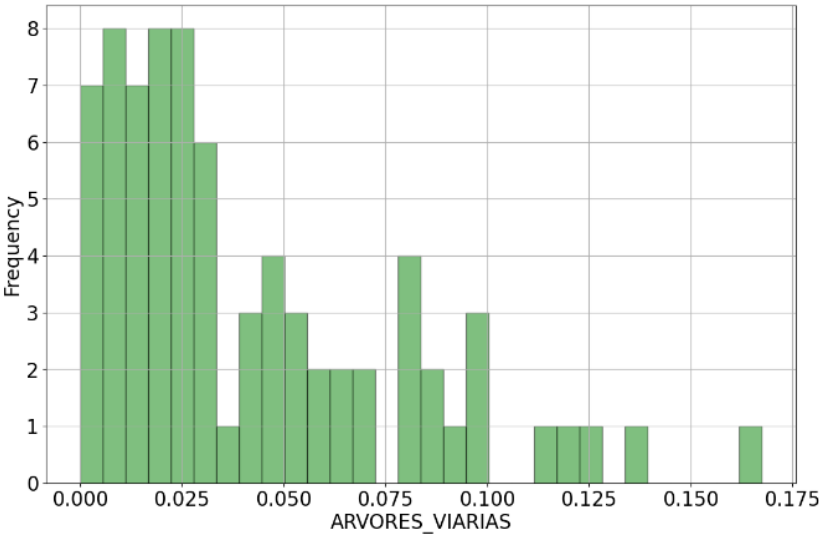
Fonte: A autora, 2024

Figura 32 - Gráfico de histograma do indicador HEMEROBIA



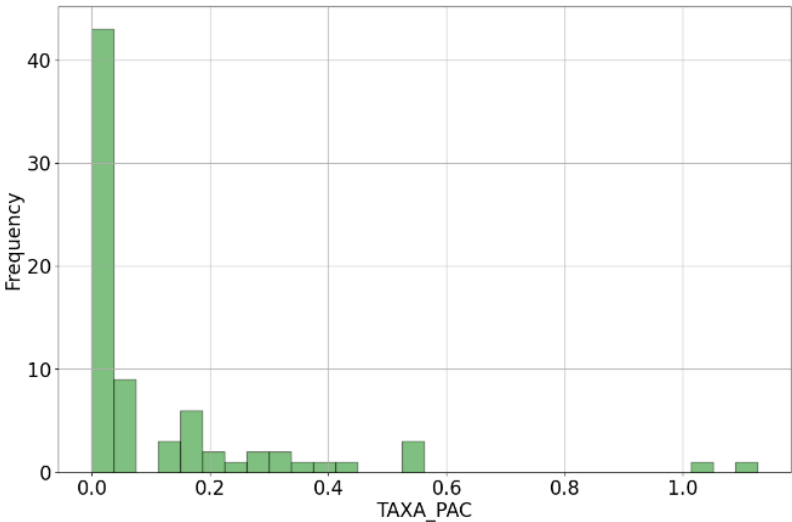
Fonte: A autora, 2024

Figura 33 - Gráfico de histograma do indicador ARVORES_VIARIAS



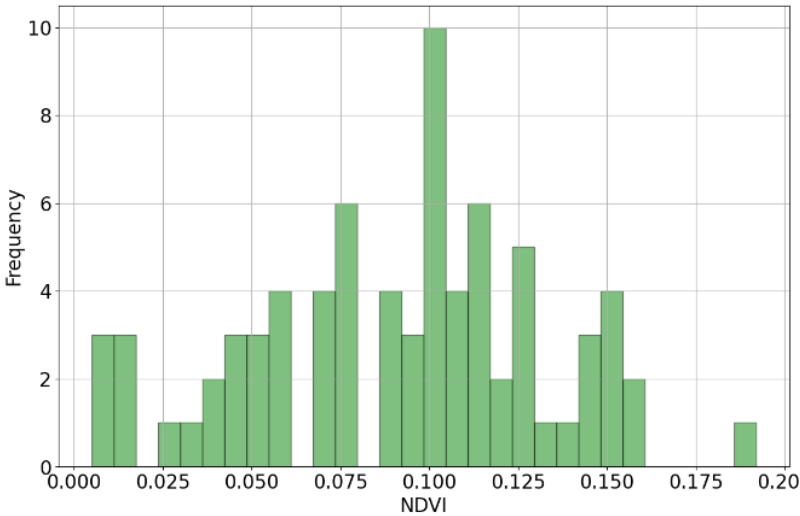
Fonte: A autora, 2024

Figura 34 - Gráfico de histograma do indicador TAXA_PAC



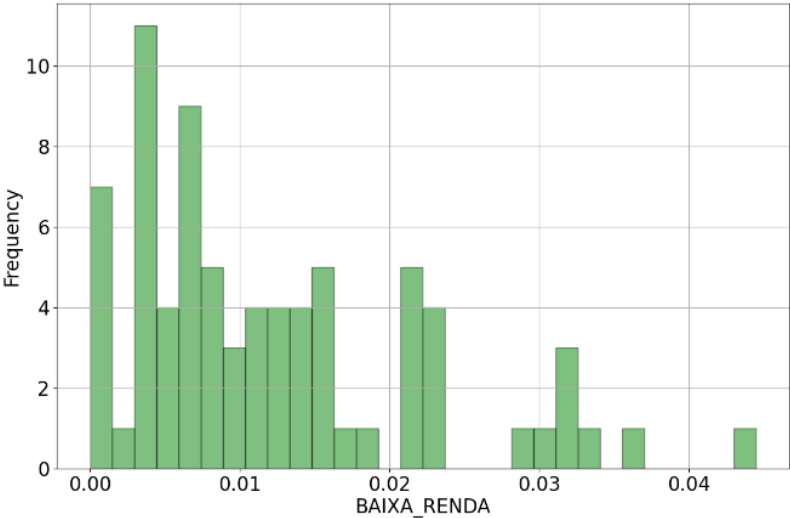
Fonte: A autora, 2024

Figura 35 - Gráfico de histograma do indicador NDVI



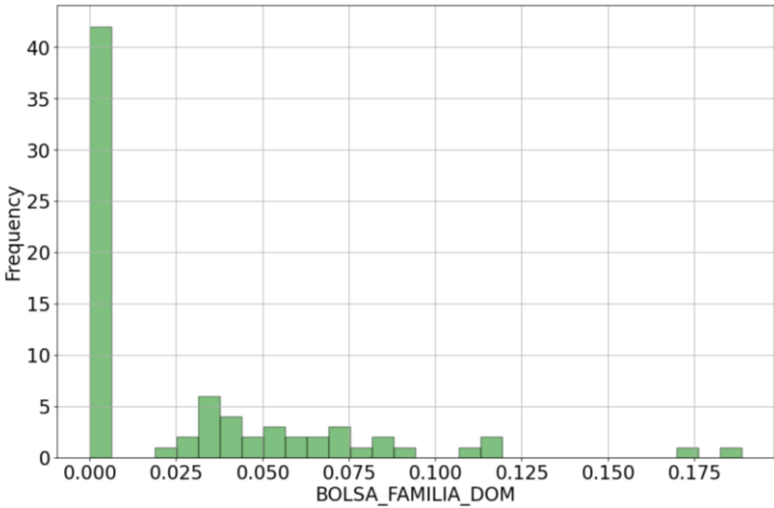
Fonte: A autora, 2024

Figura 36 - Gráfico de histograma do indicador BAIXA_RENDA



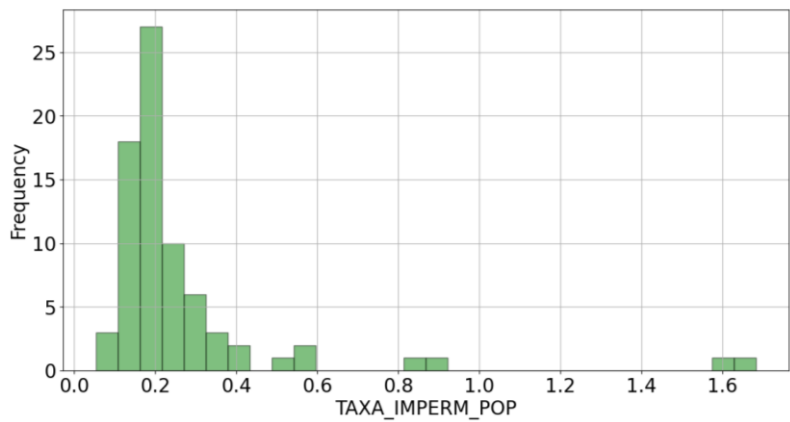
Fonte: A autora, 2024

Figura 37 - Gráfico de histograma do indicador BOLSA_FAMILIA_DOM



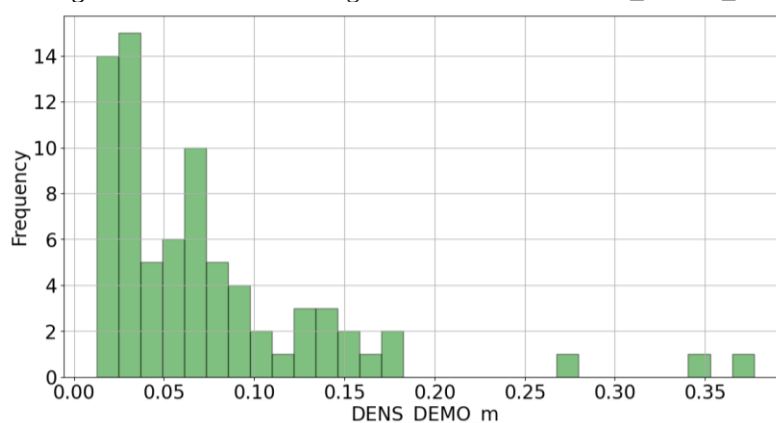
Fonte: A autora, 2024

Figura 38 - Gráfico de histograma do indicador TAXA_IMPERM



Fonte: A autora, 2024

Figura 39 - Gráfico de histograma do indicador DENS_DEMO_m



Fonte: A autora, 2024

4.5 ANÁLISE DA MATRIZ DE AUTOCORRELAÇÃO LINEAR DOS INDICADORES

A análise inicial da matriz de autocorrelação lineares (Figura 40) desempenha um papel fundamental na compreensão das inter-relações entre as variáveis de um conjunto de dados. Nesta etapa, busca-se a identificação de padrões e tendências que possam oferecer conhecimento significativos sobre a estrutura e a dinâmica dos dados em questão, nesse caso a saúde respiratória e as infraestruturas verde e cinza em contexto socioeconômico local. Ao examinar as relações entre as variáveis, busca-se detectar associações relevantes e compreender essas relações ao longo do tempo ou em diferentes contextos.

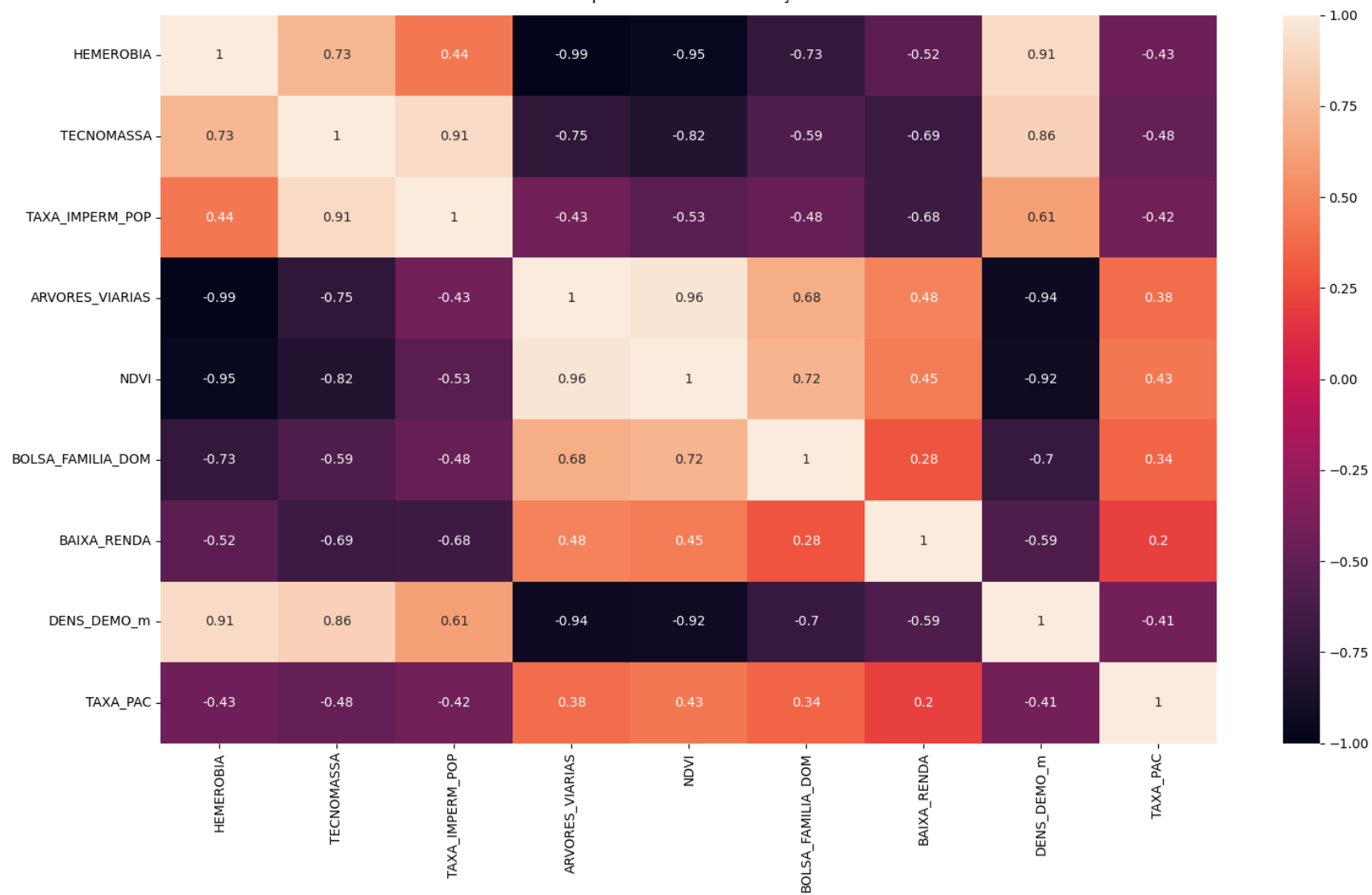
As correlações entre os indicadores do grupo de infraestrutura verde urbana (IVU), ARVORES_VIARIAS e NDVI apresentaram, conforme esperado, coeficiente de correlação de Pearson elevado e positivo. Com relação à associação dos mesmos à TAXA_PAC, o valor do coeficiente não foi tão expressivo, ligeiramente melhor para o NDVI ($r = 0,43$), e indicou uma relação positiva, ou seja, quanto maior o número de árvores e NDVIs mais elevados, mais alta a taxa de internações hospitalares por asma. Isso, reforça a conjectura apresentada anteriormente, que identificou que o número de internações por asma no HPP aumenta no período da primavera, provavelmente devido ao aumento da dispersão de pólen no ar. Ou seja, a vegetação urbana arbórea não apresentou potencial protetivo da saúde respiratória, sobretudo a asma nesse estudo tendo como objeto o bairro do Água Verde. Esse resultado agrega à resultados anteriores que utilizaram o indicador do IBGE, censo 2010, para presença de vegetação no sistema viário urbano (Pimentel da Silva et al., 2022). Esse último estudo foi realizado na escala municipal, envolvendo os municípios do Paraná, e embora tenha sido conclusivo à respeito da ação protetiva das áreas de conservação sobre saúde respiratória, não apresentou resultados expressivos para o indicador ST_TREES, dado pelo número de pessoas

vivendo em domicílios localizados em áreas urbanas com arborização viária dividido pelo número total de habitantes do município. Nesse caso, o coeficiente de correlação de Pearson (ST_TREES e morbidade por doenças respiratórias TABNET/DATASUS) foi positivo ou negativo (inverso) dependendo do grupo populacional (crianças e adolescentes, população acima de 60 anos, e população total), e apresentou valores absolutos muito baixos (menores do que 0,2). No contexto do aquecimento global, o aumento das concentrações de CO₂ na atmosfera e aumento de temperaturas, alteram a fotossíntese, e aumentam a produção de pólen pelas plantas (Rosario *et al.*, 2024).

Nessa pesquisa, de forma alternativa, ou complementar, investigou-se também um conjunto de indicadores da infraestrutura cinza (ICU, de espaços construídos urbanos) e A TAXA_PAC. Os indicadores escolhidos para representar ICU apresentaram maior facilidade de cálculo. Os indicadores HEMEROBIA e TECNOMASSA apresentaram boa correlação positiva, entre si, e não tão boa com os indicadores TAXA_IMPERM_POP e DENS_DEMO_m. Mas, esses dois últimos indicadores apresentaram coeficiente de correlação positivo elevado. Em relação a associação dos indicadores de ICU com a TAXA_PAC da asma, apresentaram valores absolutos similares às correlações entre os indicadores de IVU e TAXA_PAC da asma. Com relação ao sinal, os coeficientes foram inversos, ou seja, maior os indicadores de ICU, menores os valores de TAXA_PAC_POP. De certa forma, os ICU e IVU tendem a ser complementares para as mesmas áreas (setores censitários) – maior ICU, menor IVU, e vice-versa. Observa-se, inclusive a alta taxa de correlação inversa entre NDVI e TECNOMASSA.

A relação com o contexto socioeconômico foi representada pelos indicadores BAIXA_RENDA e BOLSA_FAMILIA_DOM, que não apresentaram uma correlação expressiva entre si, embora positivo, conforme esperado. A análise espacial desses indicadores, apresentada anteriormente, já era indicativa dessa defasagem entre os dois, possivelmente pelo componente temporal, já que os dados do BOLSA_FAMILIA_DOM são de outubro de 2023. Em termos absolutos os valores dos coeficientes de correlação dos mesmos com TAXA_PAC foram de ordem de grandeza similares das relações entre IVU e ICU com TAXA_PAC. No entanto, é interessante observar as altas taxas de correlação entre os indicadores de IVU e BOLSA_FAMILIA_DOM. A análise espacial revelou que os setores censitários com maiores concentrações de recipientes do bolsa família têm maior presença de arborização viária (ARVORES_VIARIAS) por pessoa. Esses fatores revelam uma realidade interessante do objeto de estudo que revela maiores rendas ao longo dos eixos estruturantes, onde se concentram as edificações multifamiliares e maior adensamento populacional.

Figura 40 - Matriz de autocorrelação
Mapa de Calor de correlação



Fonte: A autora, 2024

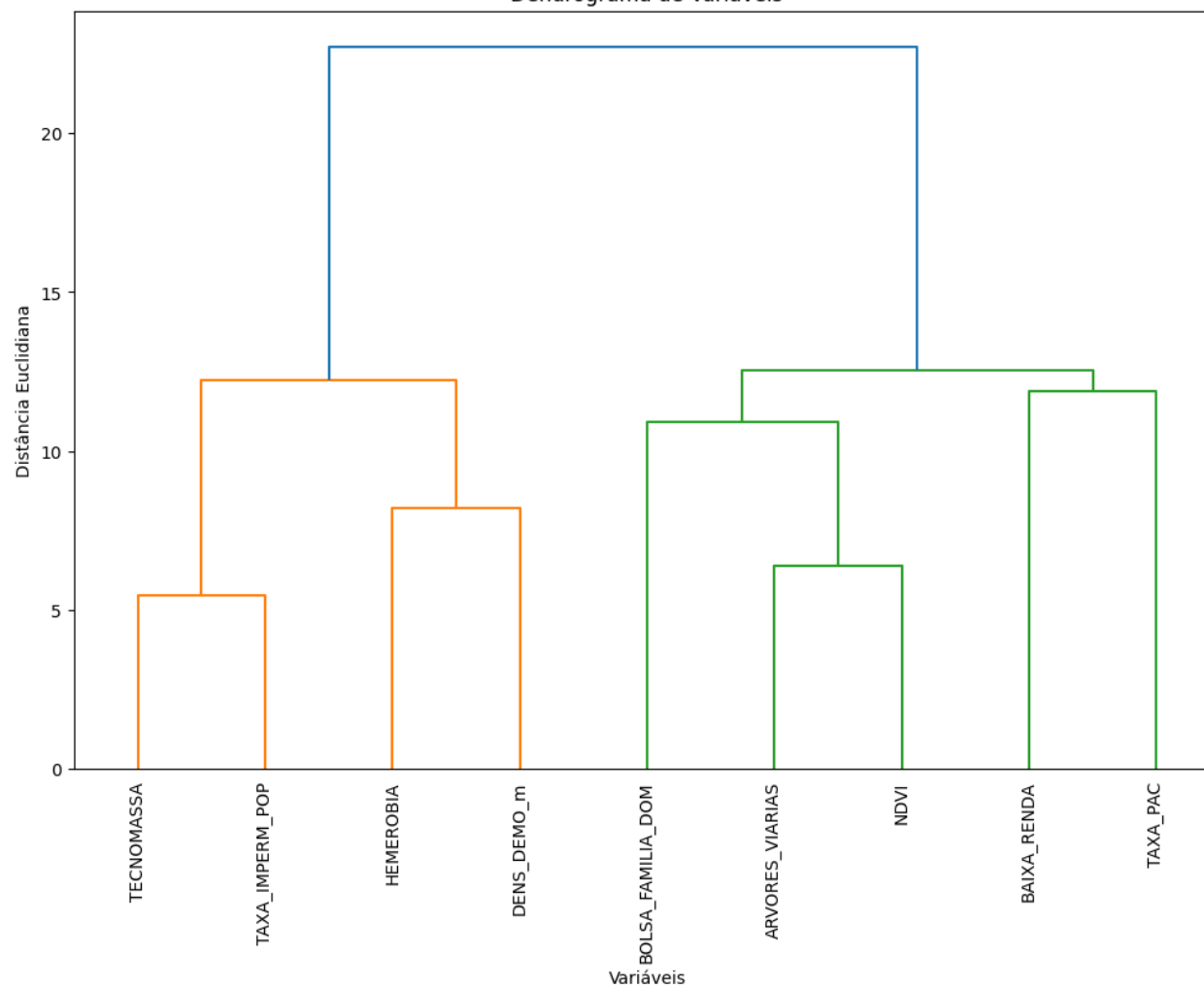
4.6 ANÁLISE DE CLUSTER DOS INDICADORES

Nesse subcapítulo, são apresentados as análises de clusters dos indicadores, a partir dos métodos: **análise de cluster pelo método do dendrograma**, **análise de cluster espacial dos indicadores** e **análise de cluster pelo método de clusterização K-means**.

4.6.1 Método do Dendrograma

Na Figura 41 é apresentado o dendrograma. As variáveis, indicadores, são representadas eixo X, e a distância euclidiana entre as variáveis, no eixo Y. Observa-se a presença de dois "ramos" distintos, identificados pelas cores laranja, verde, representativos dos clusters/agrupamentos 1 e 2, respectivamente. No cluster 1, estão agrupadas as variáveis TECNOMASSA, TAXA_IMPERM_POP, HEMEROBIA e DENS_DEMO_m, que são indicadores escolhidos para representar ICU. O cluster 2 é formado pelos indicadores: BOLSA_FAMILIA_DOM, ARVORES_VIARIAS, NDVI, BAIXA_RENDA e TAXA_PAC, revela uma proximidade entre indicadores socioeconômicos, ambientais e de saúde, sobretudo entre os indicadores ambientais ARVORES_VIARIAS e NDVI que estão no mesmo ramo, o que era esperado dado que ambos estão relacionados à IVU. Ou seja, esses indicadores constituem opções interessantes para estudo das relações entre arborização urbana, asma e fatores socioeconômicos.

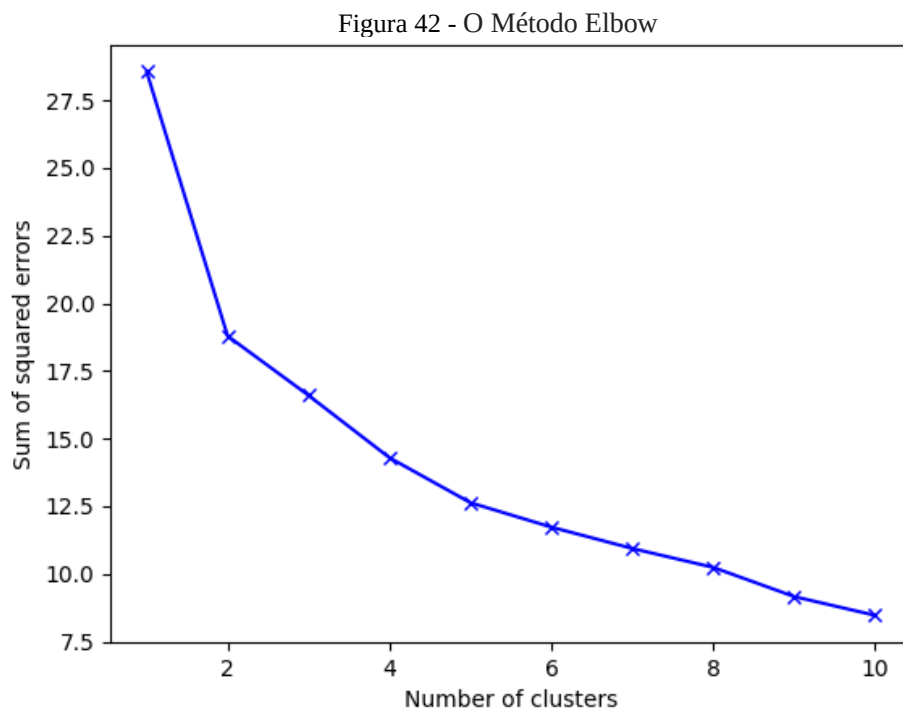
Figura 41 - Dendrograma de Variáveis
Dendrograma de Variáveis



Fonte: A autora, 2024

4.6.2 Método de clusterização K-means

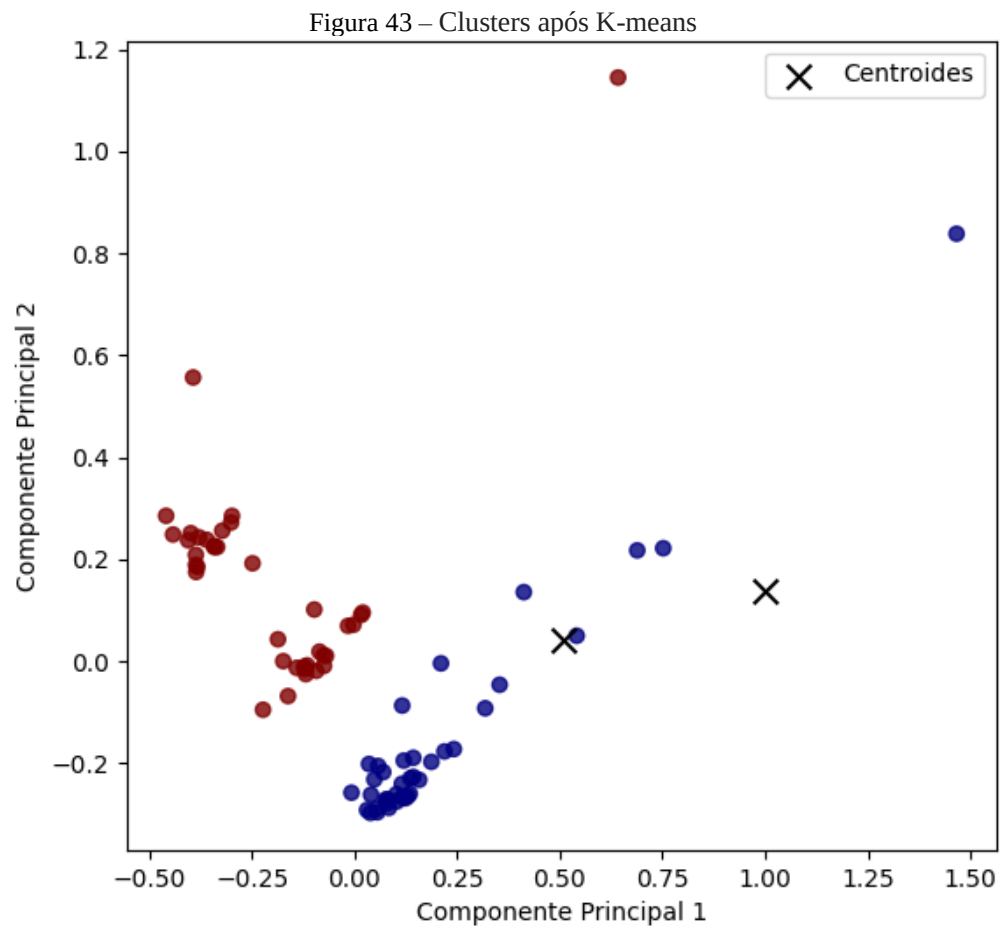
A Figura 42 (método Elbow), onde foram identificados os 2 clusters.



Fonte: A autora, 2024

Na Figura 42, é possível observar a visualização dos dados após a aplicação do algoritmo K-means e a atribuição dos pontos a diferentes clusters. Observa-se a formação de dois clusters, sendo o cluster 1 de cor azul e cluster 2 de cor vermelha. O resultado apresentado na figura, mostra que ambos os clusters tem *Outliers*, o que era esperado já que foram apresentados *Outliers* anteriormente nos gráficos de dispersão e histograma. Esses pontos afetaram a definição do centroide, que está representado como uma cruz preta na figura.

O valor de SSE (*Sum of Squared Errors*) dos dados foi igual a 11,499 sugere que os pontos estão relativamente próximos dos seus centroides, indicando uma certa coesão nos clusters formados. Já o *Silhouette score dos clusters* foi igual a 0,393 sugere que os clusters estão razoavelmente bem definidos, com pontos dentro de cada cluster mais similares entre si do que com pontos de outros clusters. Portanto, um SSE relativamente baixo (11,499) e um silhouette score positivo (0,393) indicam que os clusters encontrados pelo K-means têm uma boa qualidade em termos de compactação (baixo erro quadrático) e separação (bons limites entre clusters), indicando que os clusters são semelhantes entre si.



Fonte: A autora, 2024

Tabela 3 - Tabela de avaliação do cluster

INDICADORES	CLUSTER 1	CLUSTER 2
ARVORES_VIARIAS	Alta	Baixa
NDVI	Alta	Baixa
HEMEROBIA	Baixa	Alta
TECNOMASSA	Baixa	Alta
DENSI_DEM_m	Baixa	Alta
TAXA_IMPERM_POP	Baixa	Alta
BAIXA_RENDA	Alta	Baixa
BOLSA_FAMILIA_DOM	Alta	Baixa
TAXA_PAC	Alta	Baixa

Fonte: A autora, 2024

O Cluster 1 com valores altos de TAXA_PAC, de ARBORIZAÇÃO_VIÁRIA, NDVI, BOLSA_FAMILIA_DOM e BAIXA_RENDA, e baixas de HEMEROBIA, TECNOMASSA, TAXA_IMPERM_POP, DENSI_DEM_m. Apresenta características como menor impermeabilização do solo, possivelmente maior cobertura vegetal, se relacionando com os indicadores socioeconômicos e de saúde respiratória.

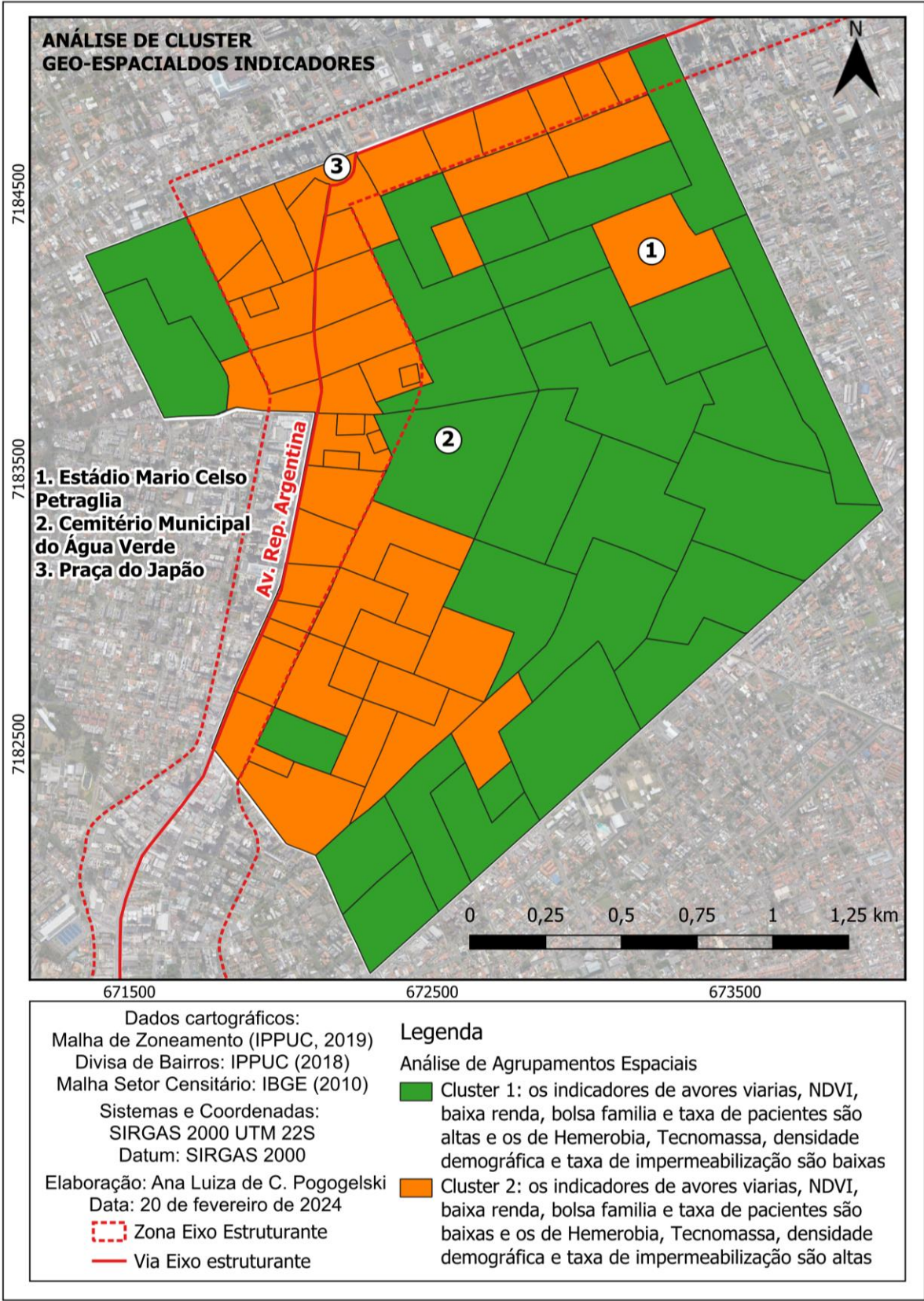
O Cluster 2, por outro lado, apresenta a HEMEROBIA, TECNOMASSA DENS_DEMO_m e TAXA_IMPERM_POP com valores elevados, ARVORES_VIARIAS, TAXA_PAC, NDVI, BOLSA_FAMILIA_DOM e BAIXA_RENDA são baixas. Portanto representa áreas com alta impermeabilização do solo, baixa cobertura vegetal, e uma combinação de alta densidade populacional com baixa relação a pacientes pediátricos com asma.

A aplicação dos métodos do dendrograma e K-means, resultaram no agrupamento das mesmas variáveis em cada cluster.

4.6.3 Método de geo-espacial dos indicadores pelo Q-GIS

A Figura 44 mostra no espaço o Cluster 1 representado pela cor verde, o Cluster 2, representado pela cor laranja. Para interpretar os clusters gerados é preciso identificar os clusters gerados no espaço com os dados dos indicadores. E comparar estatísticas descritivas agrupadas por cluster dos indicadores e então determinar se clusters tem um padrão com valores altos ou baixos (Tabela 3).

Figura 44 - Mapa de Clusters



Fonte: A autora, 2024

Tabela 4 - Tabela de avaliação do cluster

INDICADORES	CLUSTER 1	CLUSTER 2
ARVORES_VIARIAS	Alta	Baixa
NDVI	Alta	Baixa
HEMEROBIA	Baixa	Alta
TECNOMASSA	Baixa	Alta
DENSI_DEM_m	Baixa	Alta
TAXA_IMPERM_POP	Baixa	Alta
BAIXA_RENDA	Alta	Baixa
BOLSA_FAMILIA_DOM	Alta	Baixa
TAXA_PAC	Alta	Baixa

Fonte: A autora, 2024

Pode-se observar que o Cluster 1 corresponde a valores altos de TAXA_PAC, de ARBORIZAÇÃO_VIÁRIA, NDVI, BOLSA_FAMILIA_DOM e BAIXA_RENDA, e baixas de HEMEROBIA, TECNOMASSA, TAXA_IMPERM_POP, DENSI_DEM_m. Esses resultados corroboram com os resultados da análise da matriz de autocorrelação. Ademais, identifica possíveis áreas para adequações no paisagismo, e melhorar seus serviços ecossistêmicos e aumento da qualidade ambiental da paisagem.

No Cluster 2, pode-se observar que HEMEROBIA, TECNOMASSA, DENS_DEMO_m e TAXA_IMPERM_POP são as únicas que apresentam valores elevados, ARVORES_VIARIAS, TAXA_PAC, NDVI, BOLSA_FAMILIA_DOM e BAIXA_RENDA são baixas. Isso destaca a situação de que a alta Tecnomassa tende a indicar maior concentração de renda, nas moradias ao longo dos eixos estruturantes no bairro, sabe-se que a situação socioeconômica. As regiões que correspondem ao cluster 2, apresentam melhor qualidade da saúde respiratória, sobretudo a asma. Esses resultados contribuem para melhorar a gestão da saúde urbana, sobretudo em contexto de alterações do clima.

CONCLUSÕES

Atualmente, tem ganho grande destaque na literatura a proposta do aumento das áreas verdes nas cidades, de forma a constituir a chamada infraestrutura verde urbana, como medida de combate aos impactos ambientais da urbanização e, das alterações climáticas. A literatura tem demonstrado efeitos benéficos na saúde no que se refere à saúde mental, física, por constituir espaços mais adequados para as práticas de exercícios físicos. Nesta dissertação, foi desenvolvido um estudo piloto envolvendo a aplicação de elementos da ciência de dados na explicação do fenômeno saúde respiratória - infraestrutura verde e cinza urbana, que considera o contexto socioeconômico, que geralmente é relatado como um componente importante para explicar a qualidade da saúde urbana.

No estudo foram reunidos dados e calculados indicadores da infraestrutura verde e cinza urbana, assim como indicadores socioeconômicos. O indicador da saúde respiratória foi estimado a partir da morbididade por asma em pacientes pediátricos do HPP em Curitiba. O objeto de estudo e unidade piloto foi o bairro Água Verde em Curitiba, e a unidade espacial de análise, que foi o setor censitário, revelaram-se adequados para os objetivos do estudo.

Ressaltam-se as contribuições de caráter metodológico da dissertação. Foi demonstrada a possibilidade de identificação e aquisição de bases de dados na escala intra-municipal e o desenvolvimento de indicadores para explicar o fenômeno da asma pediátrica entre os pacientes do HPP (Hospital Pequeno Príncipe) e aspectos do ambiente urbano construído em contexto socioeconômico. As análises estatísticas e a visualização dos dados forneceram informações valiosas sobre a relação entre os diversos indicadores socioeconômicos, ambientais e de saúde. As análises de dispersão e os histogramas das variáveis independentes e dependentes, revelaram padrões de comportamento e distribuição que refletem a complexidade das interações entre esses elementos.

Inicialmente, a análise de dispersão, revelou uma relação não-linear entre a variável dependente (TAXA_PAC) e as principais variáveis independentes (ARBORIZAÇÃO_VIÁRIA, NDVI, TECNOMASSA, HEMEROBIA, BOLSA_FAMILIA_DOM, BAIXA_RENDA).

Os histogramas das variáveis independentes e dependentes ofereceram uma visão adicional da distribuição dos dados.

A análise da matriz de autocorrelação, representada como "mapa de calor", proporcionou uma compreensão mais aprofundada das relações lineares entre os indicadores, e que evidencia coeficientes de correlação de Pearson que variaram de acordo com diferentes

contextos socioeconômicos e ambientais. Essas informações foram fundamentais para identificar padrões e tendências que influenciam a dinâmica dos dados. Após a revisão e análise de alguns indicadores, os resultados foram refinados, e destacam-se os coeficientes mais significativos entre as variáveis remanescentes. A observação de correlações inversas entre indicadores como TECNOMASSA e BAIXA_RENDA, bem como TECNOMASSA e BOLSA_FAMILIA, revelou aspectos importantes sobre as dinâmicas socioeconômicas e ambientais do contexto estudado.

A visualização dos dados por meio de dendrograma e pelo método K-means permitiu identificar padrões de agrupamento entre as variáveis, classificadas em dois clusters distintos, que refletem diferentes aspectos da realidade local. Ambos os métodos, agruparam as mesmas variáveis em cada cluster. A proximidade entre indicadores socioeconômicos, ambientais e saúde em um cluster, e indicadores relacionados à antropização da paisagem em outro, forneceram conhecimentos valiosos sobre as interações complexas entre os diferentes aspectos do ambiente estudado. Nas análises de clusters (dendrograma, K-means e geo-espacial) houve a separação igual dos indicadores em dois clusters e sendo que no primeiro cluster estão os indicadores de TAXA_PAC, de ARBORIZAÇÃO_VIÁRIA, NDVI, BOLSA_FAMILIA_DOM e BAIXA_RENDA e no segundo cluster os indicadores de HEMEROBIA, TECNOMASSA, TAXA_IMPERM_POP, DENSIDEM_m, o que fortalece o resultado da relação entre esses indicadores.

Na busca de explicação do fenômeno em estudo, foram elaboradas três questões como norteadoras da pesquisa, que acredita-se terem sido respondidas a partir da análise dos resultados apresentada.

Quais indicadores podem ser utilizados nos estudos para explicar as relações entre a arborização urbana, asma e fatores socioeconômicos?

Todos os indicadores demonstraram, pelo menos algum potencial para explicar a morbidade pediátrica da asma do HPP. No entanto, ressalta-se que alguns apresentam maior facilidade de cálculo, ou atualização temporal. Nesse sentido, sugere-se entre os indicadores de IVU, o NDVI, e, de forma complementar, entre os indicadores de ICU, a TECNOMASSA que também apresenta maior facilidade de cálculo em relação à HEMEROBIA, que foram os dois indicadores de ICU que apresentaram melhores correlações lineares com TAXA_PAC. Com relação aos indicadores socioeconômicos, o BOLSA_FAMILIA pareceu mais interessante por sua característica dinâmica (computado mês a mês) e possibilidade de atualização.

Quais são os impactos da arborização urbana na saúde respiratória?

Para o objeto de estudo, os dados revelaram que onde há maior presença de vegetação arbórea por pessoa, foram observados maiores valores de TAXA_PAC. Isso foi realçado na análise de clusterização (métodos do dendrograma e k-means) e cluster geoespacial. Ainda, foi observado que a morbidade por asma entre os pacientes do HPP aumenta de forma significativa durante a primavera, quando se observa maior quantidade de pólen no ar.

Qual a influência do contexto socioeconômico local?

O indicador de morbidade por asma se mostrou sensível aos indicadores socioeconômicos, contudo os coeficientes de correlação lineares entre esses grupos de indicadores não foram tão elevados. Por outro lado, o mapa de calor desenvolvido para o indicador BOLSA_FAMILIA revelou a concentração dos beneficiários do Programa justamente onde se concentram os valores mais altos de TAXA_PAC.

Em resumo, a análise integrada dos dados por meio de diversas técnicas estatísticas e de visualização ofereceu uma compreensão mais profunda e abrangente da dinâmica socioambiental e da saúde respiratória do contexto estudado, que auxiliará o aprofundamento dos estudos para toda a cidade de Curitiba, assim como a definição de regras associativas com aplicação de algoritmos de mineração de dados. Essas regras possibilitam a proscrição de índices que podem auxiliar a gestão urbana com vistas à melhoria da saúde e da qualidade de vida da população. Essas informações são também importantes para orientar políticas públicas, estratégias de desenvolvimento e intervenções voltadas para a promoção da qualidade de vida e sustentabilidade ambiental em comunidades urbanas e periurbanas. O estudo demonstra a importância de uma abordagem multidisciplinar e integrada na análise complexa e interpretação de dados em diferentes contextos de pesquisa e prática.

Embora os resultados deste estudo tenham potencial relevante para impulsionar a divulgação de informações que estimulem políticas públicas de saúde específicas, são observadas algumas limitações que poderão estimular futuras investigações. Na revisão de literatura foram observados outros indicadores além dos estudados nessa pesquisa que poderão ser testados em trabalhos futuros. Na mesma linha, há várias outras possibilidades de ponderação das variáveis de estudo, que podem gerar outros indicadores. Além disso, identifica-se a possibilidade do desenvolvimento de estudos de regionalização na escala intramunicipal de dados meteorológicos e de qualidade do ar que podem compor outras variáveis independentes que poderão influenciar a saúde respiratória. Identifica-se também a possibilidade de ampliação dos dados de morbidade pediátrica da asma.

REFERÊNCIAS

- AGAY-SHAY, K. et al. **Green spaces and adverse pregnancy outcomes**. Occupational and Environmental Medicine, n.71, p.562, 2014.
- AGGARWAL, C.C. **Data Mining: The Textbook**. Springer, London, 2015.
- AHERN, J. **Green Infrastructure for Cities: The Spatial Dimension**. In: Cities of the Future – Towards Integrated Sustainable Water Landscape Mangement, (orgs.) Novotny, V. e Brown, P. IWA Publishing, London, p. 267-283, 2007.
- ALVARES, C.A. et al. **Koppen's classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift. v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- AMATO-LOURENÇO, L. F.; MOREIRA, T. C. L.; ARANTES, B. L. de; SILVA FILHO, D. F. da; MAUAD, T. **Metropolis, vegetal cover, green spaces and health**. Estudos Avançados, v. 30 n. 86, p. 113-130, 2016.
- ARBEX, M. A.; SANTOS, U. P.; MARTINS, C. L.; SALVIVA, P. H. N.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F. **A poluição do ar e o sistema respiratório**. J. bras. pneumol. v.38 n. 5, 2012.
- ARILES, L. G.; TADANO, Y. S. COSTA, S.; URBINA, V.; CAPUCIM, M. N.; SILVA, I.; BRAGA, A.; MARTINS, J. A.; MARTINS, L. D. **Negative Binomial regression model for analysis of the relationship between hospitalization and air pollution**. Atmospheric Pollution Research, n. 9, p. 333-341, 2018.
- BALDAUF, R. **Roadside Vegetation Design to Improve Local, Near-Road Air Quality**. Transportation Research Part D, v. 52, n. 11, p. 354-361, 2017.
- BELEM, A. L. G.; NUCCI, J. C. **Hemerobia das paisagens: conceito, classificação e aplicação no bairro Pici – Fortaleza – CE**. RA'EGA 21, Curitiba, v. 21, p. 204-233, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/raega.v21i0.21247>. Acesso em: 12 jan. 2023.
- BENEDICT, M. A.; McMAHON, E. T. **Green infrastructure: Smart conservation for the 21st century**. Washington, D.C.: Sprawl Watch Clearinghouse, p. 32, 2001.
- BENEDICT, Mark A.; McMAHON T. **Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities**. Washington, DC; Island Press, 2006.
- BEZERRA, Yuri Charllub Pereira et al. **Relação entre poluição do ar e internações de adultos por doenças cardiovasculares totais em São Paulo entre 2000 e 2013**. 2017.
- BONITA, R.; BEAGLEHOLE, R.; KJELLSTRÖM. **Epidemiologia Básica**, Grupo Gen; Santos Editora, World Health Organization, 2010.

BOULOMYTIS, V.T.G.; BARRON, N.J.; ANDERSON, K.; WALTON, R.; DA SILVA, L.P. **Opportunities and Challenges to Implement Nature-Based Solutions for Urban Waters in Developed and Emerging Developed Countries**. Nature-based Solutions for Circular Management of Urban Water. Circular Economy and Sustainability. Springer, Cham. 2024.

BRASIL. Conselho Nacional de Saúde. Lei 8080 de 19/09/1990. **Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços**. 81 Disponível em https://conselho.saude.gov.br/legislacao/lei8080_190990.htm. Acesso em: 28/02/2024.

BRASIL. **Health Ministry. Department of Informatics (DATASUS)**. Hospital Morbidity – By local of residence – Rio de Janeiro. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnvnrj.def>. Acesso em: 08 de março 2018.

BRITO, F.; HORTA, C. J. G.; AMARAL, E. F. L. **A urbanização recente no Brasil e as aglomerações metropolitanas**. 2018.

CAMARGOS, L. M. **Geovisualização e seu potencial na inclusão da infraestrutura azul no planejamento territorial: estudos de caso em escalas regional e local no Quadrilátero Ferrífero/MG**. 2020. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2020.

CAMILO, C. O.; SILVA, J. C. **Mineração de dados: conceitos, tarefas, métodos e ferramentas**. Instituto de Informática Universidade Federal de Goiás, 2009.

CAMPOS, M. B. **Demografia e equidade social**. Nota Técnica (IPEA). Rio de Janeiro/Brasília, 2021. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/11R8ml0qmZAV9aDfeFofSEUPo1MdYg3/view>. Acesso em: 20 de jan. 2024.

CARIÑANOS, P. CASARES-PORCEL, M. **Urban green zones and related pollen allergy: A review. Some guidelines for designing spaces with low allergy impact**. Landscape and Urban Planning, v.101, n.3, p.205-214, jun. 2011.

CORMIER N.; PELLEGRINO P. **Infra-estrutura verde: uma Estratégia Paisagística para Água Urbana**. Pais e Amb, v. 25, p. 127–142, 2008.

CÔRTEZ, S. C.; PORCARO, R. M.; LIFSCHITZ, S. **Mineração de Dados – Funcionalidades, Técnicas e Abordagens**. PUC-RioInf.MCC10, 2002.

CURITIBA. **Projeto 100 mil árvores**. Disponível em: <https://100milarvores.curitiba.pr.gov.br/> Acesso em: 01/02/2024

DE GROOT, R. S. WILSON, M. A. BOUMANS, R. M. J. **A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services.** Ecological Economics, v.41, n.03, p.393-408, 2002.

DE GROOT, R.; FISHER, B.; CHRISTIE, M.; ARONSON, J.; BRAAT, L.; GOWDY, J.; **Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation.** In: Kumar P (ed.) The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations, London: Earthscan, p. 9–40, 2010.

DE GROOT, Rudolf S. et al. **Functions of nature: evaluation of nature in environmental planning, management and decision making.** Wolters-Noordhoff BV, 1992.

DIL, G.; COSTA, B. L. C. **A Subcidadania Lgbti+ Nos Desastres Ambientais e a Força Integrativa da Exclusão.** Conpedi Law Review, v. 9, n. 1, p. 278-294, 2023.

DIMENSTEIN, M.; SIQUEIRA, K. **Urbanização, modos de vida e produção da saúde na cidade.** ECOS, v. 10, n1, 2020.

EISENMAN, T. S.; CHURKINA, G.; JARIWALA, S. P.; KUMAR, P.; LOVASI, G. S.; PATAKI, D. E.; WEINBERGER, K. R., WHITLOW, T. H. **Urban trees, air quality, and asthma: An interdisciplinary review.** Landscape and Urban Plannin, v. 187, p.47-59, 2019.

ELMQVIST, T. SETÄLÄ, H. HANDEL, S. N. PLOEG, S. V. D. ARONSON, J. BLIGNAUT, J. N. GÓMEZ-BAGGETHUN, E. NOWAK, D. J. KRONENBERG, J. DE GROMKE, C. BLOCKEN, B. **Influence of avenue-trees on air quality at the urban neighborhood scale.** Part II: Traffic pollutant concentrations at pedestrian level. Environmental pollution, v.196, p.176-184, jan. 2015.

EMBRAPA. **Mais de 80% da população brasileira habita 0,63% do território nacional.** 2017. Disponível em: [https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/28840923/mais-de-80-da-populacao-brasileira-habita-063-do-territorio-nacional#:~:text=10%2F10%2F17-,Mais%20de%2080%25%20da%20popula%C3%A7%C3%A3o%20brasileira,0%2C63%25%20do%20territ%C3%B3rio%20nacional&text=As%20%C3%A1reas%20consideradas%20urbanas%20no,%2C3%25%20da%20popula%C3%A7%C3%A3o%20brasileira](https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/28840923/mais-de-80-da-populacao-brasileira-habita-063-do-territorio-nacional#:~:text=10%2F10%2F17-,Mais%20de%2080%25%20da%20popula%C3%A7%C3%A3o%20brasileira,0%2C63%25%20do%20territ%C3%B3rio%20nacional&text=As%20%C3%A1reas%20consideradas%20urbanas%20no,%2C3%25%20da%20popula%C3%A7%C3%A3o%20brasileira.). Acesso em: 20/02/2024

EUC – Comissão Europeia. **Infraestrutura Verde—Valorizar o capital natural da Europa.** Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões, Bruxelas, p. 1-12, 2013.

FILHO, D. F. da S. F.; TOSETTI, L. L. **Valoração das Árvores No Parque Ibirapuera – Sp** Importância da Infraestrutura Verde Urbana. 2010.

FLETCHER, T. D.; SHUSTER, W.; HUNT, R. A.; BUTLER, D.; ARTHUR, S.; TROWSDALE, S. B.; SEMADENIDAVIES, A.; BERTRANDKRAJEWSKI, J.; MIKKELSEN, P. S.; RIVARD, G.; UHL, M.; DAGENAIS, D.; VIKLANDER, M. **SUDS,**

LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. Urban Water Journal, v. 12, n. 7, p. 525–542, 2015.

GALVÃO, N. D.; MARIN, H. F. **Técnica de mineração de dados: uma revisão da literatura.** Acta paul. enferm. v. 22, n. 5, 2009.

GINA - Global strategy for asthma management and prevention. **Global Initiative for Asthma (GINA) 2019.** Disponível em: https://ginasthma.org/wp-content/uploads/2019/04/wmsGINA-2017-main-report-final_V2.pdf. Acessado em: 20 fev. 2024.

GROMKE, C., & BLOCKEN, B. **Influence of avenue-trees on air quality at the urban neighborhood scale. Part I: quality assurance studies and turbulent Schmidt number analysis for RANS CFD simulations.** Environmental Pollution, v. 196, p. 214-223, 2015

GROMKE, C., & RUCK, B. **Influence of trees on the dispersion of pollutants in an urban street canyon - Experimental investigation of the flow and concentration field.** Atmospheric Environment, v. 41, p. 3287-3302, 2007.

HERZOG, C. P. **Green infrastructure as a strategy to reinstate resilience to na urban watershed in Rio de Janeiro, Brazil.** In: Sessão paralela - Intelligent Urban Fabric. 1st World Congress on Cities and Adaptation to Climate Change. Resilient Cities. 2010b.

HERZOG, C. P.; ROSA, L. Z.. **Infraestrutura Verde: Sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana.** Revista Eletrônica LABVERDE, n. 1, p. 92-115, 2010a.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/curitiba.html> Acesso em: 1 nov 2023

IBGE, 2022. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Áreas urbanizadas do Brasil 2019.** Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redesgeograficas/15789-areas-urbanizadas.html?=&t=acesso-ao-produto> > Acesso em: 10 abril de 2023.

IBGE. Brazilian Institute of Geography and Statistic. 2017. in **Available Brazilian Institute of Geography and Statistics..** Brazilian Census of 2010. Available at <http://censo2010.ibge.gov.br>. Access on November18, 2018. (in Portuguese) <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2100643>. Access 10/01/2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do Censo Demográfico de 2010.** Curitiba: IBGE, 2010 CURITIBA, 2023 Região Metropolitana de Curitiba.

INOSTROZA, L. **Tecnomasa: un puente entre la ecología urbana, los estudios metabólicos y la planificación urbana.** 2014.

IPCC, 2022: Mudança Climática 2022: **Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade. Contribuição do Grupo de Trabalho II ao Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas** [H.-O. Pörtner, DC Roberts, M. Tignor, ES Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova York, NY, EUA, 3056 pp., doi: 10.1017/9781009325844.

IPEA. **ODS - Metas Nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.** 2018.

IPPUC, 2022. IPPUC - Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. Curitiba em dados. **Mapa de arruamento (Curitiba e bairro Água verde).** Disponível em: <https://geocuritiba.ippuc.org.br/portal/apps/sites/#/geocuritiba/pages/mapoteca-mapas-arruament>. Acesso em: 12 set. 2022

JANNUZZI, P. de M. **Indicadores socioeconômicos na gestão pública.** Departamento de Ciências da Administração / UFSC, Florianópolis, 2012.

JEANJEAN, A. P. R. GALLAGHER, J. MONKS, P. S. LEIGH, R. J. **Ranking current and prospective NO2 pollution mitigation strategies: An environmental and economic modelling investigation in Oxford Street, London.** Environmental Pollution, Cidade, v.225, p.587-597, jun. 2017.

KOC, C. B.; OSMOND, P.; PETERS, A. **A Green Infrastructure Typology Matrix to Support Urban Microclimate Studies.** Procedia Engineering v. 169, p. 183-190, 2016.

KOC, C. B.; OSMOND, P.; PETERS, A. **Towards a comprehensive green infrastructure typology: a systematic review of approaches, methods and typologies.** Urban Ecosyst, v.20, p.15-35, 2017.

KONIJNENDIJK, C.C. **Evidence-based guidelines for greener, healthier, more resilient neighbourhoods: Introducing the 3–30–300 rule.** J. For. Res. n. 34, p. 821–830, 2023.

LOVASI G. S.; QUINN J. W.; NECKERMAN K. M.; PERZANOWSKI M. S.; RUNDLE A. **Children living in areas with more street trees have lower prevalence of asthma. J. Epidemiol. Community Health,** v. 62, n. 7, p. 647–49, 2008.

MS – Ministério da Saúde. **Em 2021, SUS registrou 1,3 milhão de atendimentos a pacientes com asma na Atenção Primária à Saúde,** 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2022/maio/em-2021-sus-registrou-1-3-milhao-de-atendimentos-a-pacientes-com-asma-na-atencao-primaria-a-saude-1> Acesso em: 20/02/2024.

NOWAK, D. J Five Rules for the Evolution of Cooperation. Science, v. 314, n. 5805, p. 1560 – 1563, 2006.

NOWAK, D. J. et al. **Tree and forest effects on air quality and human health in the United States**. Environmental Pollution, v.193, p.119-29, 2014.

NOWAK, D.J.; HIBARAYASHI, S.; DOYLE, M.; MCGOVERN, M.; PASHER, J. **Air Pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health**. Urban Forestry & Urban Greening, v. 29, p. 40-48, 2018.

NUNES, C.; PEREIRA, A. M.; MORAIS-ALMEIDA, M. **Asthma costs and social impact**. Asthma Research and Practice, 2017.

OLIVEIRA, F. A. C. et al. **Inventário da Arborização do campus Pato Branco da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR**. REVSBAU. Piracicaba – SP, v.4, n.1, p. 93-106, 2009.

O'NEILL, C.J.; LENARDIC, A.; GRIFFIN, W.L.; O'REILLY, S. Y. **Dynamics of cratons in an evolving mantle**, Lithos, v. 102, p. 12-24, 2008.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Relatório Mundial das Cidades**. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/188520-onu-habitat-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-ser%C3%A1-68-urbana-at%C3%A9-2050>. Acesso em: 26 fev. 2024

ONU – Organização das Nações Unidas. Transformando nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. 2015.

PEREIRA, C. R. Índice De Vulnerabilidade Social A Inundação Com Ferramenta De Planejamento Urbano. Anais do XVI SIMPURB, v. 1, 2019.

PEREIRA, D. V.; VALVERDE, M. C.; ASMUS, G. F. **Impacto das mudanças climáticas e da qualidade do ar em hospitalizações por doenças respiratórias em municípios da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)**, Brasil. Ciência e Saúde Coletiva. V 27, 2022 Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/NcDWYBLcFVvncVKGJJtVrfR/#> Acesso em: 01 fev. 2024

PIMENTEL DA SILVA, L.; DA FONSECA, M.N.; DE MOURA, E.N.; DE SOUZA, F.T. **Ecosystems Services and Green Infrastructure for Respiratory Health Protection: A Data Science Approach for Paraná, Brazil**. Sustainability, vol.14, p.1835, 2022.

POGOGELSKI, A. L. C.; ROQUE, K. C.; FONSECA, M. N.; GARCIAS, C. M.; PIMENTEL, L. **Avaliação do Grau de Alteração da Paisagem Natural da Cidade de Curitiba e o Aumento da Resiliência da Redes de Infraestrutura de Saneamento Básico**. 32 Congresso da ABES, 2022.

POTSCHIN, M. B., HAINES-YOUNG, R. H. **Ecosystem services: Exploring a geographical perspective**. Progress in Physical Geography: Earth and Environment, v.35, n.05, p.575-594, 2011.

POTSCHIN, M. B.; KLUG, H.; HAINES-YOUNG, R. H. **From vision to action: Framing the Leitbild concept in the context of landscape planning**. Futures, v. 42, n. 7, p. 656-667, 2010.

PRIETSCH, S. O. M.; ZHANG, L.; CATHARINO, A. R.; VAUCHINSKI, Larissa; RODRIGUES, Felipe E. **Mortalidade por asma em crianças brasileiras de até 19 anos de idade no período entre 1980 a 2007**. Jornal de Pediatria, Rio Janeiro, 88, 5, Out de 2012.

RISI, Jr, J.B.; NOGUEIRA, R.P.N. **As condições de saúde no Brasil**. (Coords.). 2002.

ROPPA, Cristiane et al. **Diagnóstico da percepção dos moradores sobre a arborização urbana na Vila Estação Colônia–Bairro Camobi, Santa Maria–RS**. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v. 2, n. 2, p. 11-30, 2019.

ROSARIO, C. S.; URRUTIA-PEREIRA, M.; MURRIETA-AGUTTES, M.; D'AMATO, G.; CHONG-SILVA, D. C.; GODOI, R. H. M.; FILHO, N. A. R. **Air Pollution and Rhinitis**. Front. Allergy. 2024.

RUSSO, A., & CIRELLA, G. T. **Modern compact cities: How much greenery do we need?** International Journal of Environmental Research and Public Health. 2018.

SALLES, J. M. **Valuing biodiversity and ecosystem services: Why put economic values on Nature? Évaluation la biodiversité et des services écosystémiques : pourquoi mettre des valeurs économiques sur la Nature ?**. Comptes Rendus Biologies, v.334, n.5-6, p.469-482, maio. 2011.

SANTOS, M. F. N.; ENOKIBARA, M. **Infraestrutura verde: conceitos, tipologias e terminologia no brasil**. Paisag. Ambiente: Ensaios, São Paulo, v. 32, n. 47, 2021.

SOTTO, D.; RIBEIRO, D. G.; ABIKO, A. K.; SAMPAIO, A. C. A.; NAVAS, C. A.; MARINS, K. R. C.; SOBRAL, M. C. M.; PHILIPPI JR, A.; BUCKERIDGE, M. S. **Sustentabilidade urbana: dimensões conceituais e instrumentos legais de implementação**. Estudos Avançados, v. 33, n. 97, 2019.

SUPPAKITTPAIDARN, P.; JIANG, X.; SULLIVAN, W.C. **Green Infrastructure, Green Stormwater Infrastructure, and Human Health: A Review**. Curr Landscape Ecol Rep, v. 2, p. 96-110, 2017.

TAKANO, T.; NAKAMURA, K.; WATANABE, M. **Urban residential environment and senior citizens' longevity in megacity areas: the importance of walkable green spaces**. Journal of Epidemiology & Community Health, v.56, n.12, p.913-18, 2002.

TONG, Z., BALDAUF, R. W., ISAKOV, V., DESHMUKH, P., & ZHANG, K. M. **Roadside vegetation barrier designs to mitigate near-road air pollution impacts.** Science of The Total Environment, v. 541, p. 920–927, 2016.

VAN DER BERG, M. et al. **Visiting green space is associated with mental health and vitality: A cross-sectional study in four European cities.** Health & Place, v.38, p.8-15, 2016.

VECCHIA, A.D; KLEINÜBING, T.; BUENO, R.E. **Uso de indicadores sociais na análise da relação entre poluição atmosférica e agravos respiratórios em um município de médio porte.** II Seminário de Pós-Graduação em Políticas Públicas, 2018.

WHO. World Meteorological Organization. **Urban Green Interventions And Health, Copenhagen: Who Regional Office For Europe.** Un. United Nations. Department of Economic and Social Affairs. 2017.WHO. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Urban Green Spaces And Health. Copenhagen: Who Regional Office For Europe, 2016.

Witten, I.H. and Frank, E. **Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques**, 2nd ed., Elsevier, 2005.

YANG, F. et al. **The investigation of noise attenuation by plants and corresponding noise-reducing spectrum.** Journal of Environmental Health, v.8, p.8-15, 2010.